

Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal

Jesús Pemán García, Rafael María Navarro Cerrillo,
María Aránzazu Prada Sáez y Rafael Serrada Hierro
(coordinadores)

Tomo 2



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

BASES TÉCNICAS Y ECOLÓGICAS DEL PROYECTO DE REPOBLACIÓN FORESTAL Tomo 2

Coordinadores

**Jesús PEMÁN GARCÍA
Rafael María NAVARRO CERRILLO
María Aránzazu PRADA SÁEZ
Rafael SERRADA HIERRO**



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO**

**MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO**

2021



Aviso legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Edita

©: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)
Madrid 2021
www.miteco.es

Plaza de San Juan de la Cruz, 10
28003 Madrid
ESPAÑA

Colaboran: Colegio Oficial de Ingenieros de Montes y Sociedad Española de Ciencias Forestales



**Colegio Oficial de
Ingenieros de Montes**



NIPO: 665-21-029-8
Depósito Legal: M-26573-2021
ISBN: 978-84-18508-57-8

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

Índice

Tomo 1

Bases ecológicas	1
1 La repoblación forestal	3
2 Materiales forestales de reproducción. Bases genéticas	52
3 Factores y procesos ecofisiológicos determinantes del arraigo y establecimiento de las plantas en las repoblaciones forestales	89
4 La estación forestal y su homologación ecológica en los trabajos de repoblación forestal	128
4A Anexo. Reseñas metodológicas para la caracterización ecológica de estaciones forestales	174
5 La descripción de la cubierta vegetal en los proyectos de repoblación forestal	196
Planificación estratégica	235
6 La repoblación forestal en la planificación del territorio	237
7 Criterios e indicadores bioclimáticos para la orientación y planificación estratégica de las repoblaciones forestales	285
8 Demandas sociales sobre los montes. Objetivos preferentes del proyecto de repoblación rodal a rodal: modelos de masa a conseguir ...	343
Bases técnicas	359
9 Condicionantes del proyecto de repoblación	361
10 Diseño y métodos de la repoblación	396
11 Elección de especies	435
12 Elección de los materiales forestales de reproducción	475
13 Tratamientos sobre la vegetación	575
14 Procedimientos de preparación del suelo	625
14A Preparación del suelo y economía del agua	703
15 Siembras y plantaciones	722
16 La calidad de los materiales de reproducción	781

17	Métodos de protección de la repoblación forestal	823
18	Control de la competencia en repoblaciones forestales	884
19	Cuidados culturales durante el establecimiento y el mantenimiento de la repoblación	936

Tomo 2

El proyecto de repoblación	1
20 El proyecto de repoblación	3
21 La seguridad y salud laboral	39
22 Evaluación ambiental de los proyectos de repoblación	95
23 Evaluación financiera del proyecto de repoblación	152
24 La ejecución del proyecto de repoblación forestal. La dirección de obra	178
25 Control integral y seguimiento de repoblaciones forestales	212
25A Pautas para el diseño experimental en estudios de seguimiento de repoblaciones	254
Casos prácticos	261
I Repoblación hidrológico-forestal en los montes Vallecina y Robledo (CÚP 100, GU-3034) y Bienes Comunes (GU-3029), término municipal de Retiendas, Guadalajara	263
II Restauración de zonas periféricas en el ámbito del Parque Forestal de Valdebebas-Felipe VI (Madrid)	293
III Restauración de áreas afectadas por explotaciones mineras. Mina Poderosa	303
IV Los arbustos nodriza en la restauración forestal de minas de carbón del noroeste de Palencia	317
V Restauración de dehesas de encina (<i>Quercus ilex</i> L. subsp <i>ballota</i> Desf. Samp.) en Andalucía	337
VI Plantaciones de aliso (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn) en antiguas zonas agrícolas en el monte de la Parroquia rural de Barcia y Leiján (Valdés, Asturias)	367
VII Plantaciones truferas (“Plantación de Julio”)	378
VIII Plantaciones de nogal para madera	390
IX Plantación de <i>Castanea sativa</i> var. ‘Verata’ en el valle del Ibor (Cáceres)	417
X Plantaciones bioenergéticas	429

XI	Forestación de terrenos agrícolas: plantación de pino carrasco en Huéscar (Granada) y plantación mixta de algarrobo y encina en Puerto Real (Cádiz)	445
XII	Repoblación con tres especies del género <i>Pinus</i> (<i>P. sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> subsp. <i>atlantica</i> y <i>P. nigra</i> var. <i>corsicana</i>) en una zona montañosa con riesgo de erosión en la Región Atlántica española (Tineo, Asturias)	461
XIII	Restauración de bosques de ribera: el caso de los ríos Arga y Aragón (Navarra)	469
XIV	Restauración posincendio en El Rodenal de Guadalajara (Sistema Ibérico)	493
XV	Repoblación forestal en el semiárido: monte Sierra Alhamilla (Níjar, Almería)	507
XVI	Plantación de islotes forestales y setos como infraestructura verde para ayudar la regeneración natural en paisajes agrícolas mediterráneos	523
XVII	Gestión y restauración de poblaciones de <i>Tetraclinis articulata</i> en la Región de Murcia	533

El proyecto de repoblación

Capítulo 20

El proyecto de repoblación

Jesús PEMÁN GARCÍA, Rafael SERRADA HIERRO,
Rafael M^a NAVARRO CERRILLO

1. Antecedentes

La necesidad de disponer de unas instrucciones, que establecieran con detalle los documentos de los que consta un proyecto de repoblación forestal y dieran unos criterios para su redacción, quedaba claramente expuesta en la exposición de motivos del Reglamento e Instrucciones de Repoblación forestal de 1933, donde se indicaba: “la existencia de una disposición oficial que recoja con el debido detalle lo anteriormente expuesto [los estudios que han de realizarse, los documentos que deben tener todo proyecto, etc.] es de tal necesidad que sin ella todo plan de repoblación forestal, cualquiera que sea su amplitud carecería de una idea directriz y de las indispensables garantías de un buen planteamiento y una acertada ejecución”.

No obstante, hasta esa fecha, las primeras normas repobladoras, desde 1877 hasta 1933, habían descrito con mayor o menor detalle la estructura y el contenido de los estudios y proyectos de corrección hidrológico forestal (tabla 20.1). En concreto, para los trabajos de corrección hidrológica desde 1888 se adoptaron tres niveles de estudio que apenas cambiaron en el tiempo; la cuenca hidrológica, las porciones o secciones (superficies de extensión inferior a 10000 ha) y los perímetros, correspondiéndoles a cada uno de ellos un estudio de diferente grado de detalle. Los perímetros de actuación, según las Instrucciones de 1901, se debían subdividir para los trabajos de repoblación en parcelas. Esta zonificación debía ajustarse, siempre que fuera posible, a los límites naturales del monte, con el objetivo de hacerla fácilmente identificable. La información requerida, obviamente, ganaba en precisión a medida que el estudio se realizaba en un ámbito territorial más reducido.

Hoy en día, el diseño de los proyectos de repoblación no responde a ninguna directriz general, protocolo, reglamento o instrucción aunque, desde diferentes ámbitos, se están haciendo esfuerzos para contar con un protocolo normalizado a seguir para los proyectos de restauración de los ecosistemas forestales que facilite su posible certificación (Hernández 2013).

Tabla 20.1. Contenidos de los diferentes estudios y proyectos según su grado de detalle.

Norma	Ámbito territorial, documentos y contenido
<p>Ley 11.7.1877 y Ley 18.1.1878</p> <p>Real Decreto 3.2.1888 y Real Orden 28.7.1888</p>	<p>i) Memoria general o anteproyecto Contenido: Medios de repoblación más convenientes, coste probable de los trabajos</p> <p>ii) Proyecto parcial</p> <p>i) Reconocimiento general. Ámbito: la cuenca hidrográfica</p> <p>ii) Estudio general. Ámbito: la porción montañosa (< 10000 ha) Contenido: Memoria y Planos (1:20000)</p> <p>iii) Estudio particular. Ámbito: el perímetro (< 1000 ha). Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria: 1. Medios preliminares. i) Obras de fábrica, ii) Procedimientos fortificación suelo (enfajinados, zanjas, estacadas, utilización de plantones de chopo, sauce, aliso, etc.) 2. Trabajos repoblación: i) establecimiento viveros estables y volantes, ii) elección de especies arbórea indicando el método de repoblación, iii) labores a dar al terreno, iv) especies vegetales protectoras, v) métodos de aprovechamiento de los montes para restablecer en el vuelo la debida espesura • Presupuesto de gastos: Gastos derivados de la compra o expropiación de los terrenos, de la redención de servidumbres, de la construcción de una caseta para el guarda cada 500 ha de extensión y de las atenciones preparatorias que requieran el resto de los perímetros • Plano (1:5000)
<p>Instrucciones 7.6.1901</p>	<p>i) Reconocimiento general. Ámbito: cuenca hidrográfica Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria. Propuesta de división en Secciones • Croquis general <p>ii) Estudio sección. Ámbito: Sección (< 10000 ha) Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria: se terminará con un resumen que demuestre la necesidad de la utilidad pública de los trabajos • Plano: representará los perímetros de actuación y los numerará con números romanos de color rojo <p>iii) Propuestas anuales. Ámbito: perímetro (< 2000 ha) Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reseña de los trabajos a realizar indicando la forma de ejecución (administración o contrata) • Presupuesto detallado (Gastos generales del estudio, levantamiento de planos, replanteo de los perímetros y obras, indemnizaciones personal facultativo y auxiliar que vaya a inspeccionar, jornales de los peones, materiales a adquirir) • Plano: reflejará los perímetros de actuación (1:5000) • Pliego de condiciones, si los trabajos se ejecutan mediante contrata

Norma	Ámbito territorial, documentos y contenido
<p>Instrucciones 12.7.1933</p>	<p>i) Reconocimiento general. Ámbito: cuenca hidrográfica</p> <p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria. División en Secciones. • Croquis: representará las corrientes de agua y los terrenos necesitados de repoblación forestal. Los torrentes se identificarán con una cruz roja. Delimitará las secciones. <p>ii) Estudio Sección. Ámbito: Sección (< 10000 ha)</p> <p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria: describirá la sección y contendrá los proyectos de trabajos hidroológico forestales, de repoblación arbórea, creación y mejora de pastizales, el plan general de la corrección, el plan de trabajos auxiliares, edífictos. • Planos (1:10000): contendrán los límites del cultivo agrícola y forestal, las partes rasas y las pobladas y los planos de torrentes y aludes que deban corregirse. • Presupuesto. Estado de dimensiones de la obra y unidades de trabajo, cuadro de precios unitarios y descomposición de los mismos, presupuestos parciales de cada perímetro y general de la Sección. • Pliego de condiciones. Generales económicas y facultativas. <p>iii) Propuestas anuales. Ámbito: perímetro</p> <p>Contenido: recogerá las diversas obras y trabajos a ejecutar</p> <p>iv) Revisión de proyectos en ejecución.</p> <p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memoria: describirá la marcha de los trabajos y su ajuste al proyecto, resultados logrados en los trabajos, expresión del coste de los trabajos y comparación con la presupuestada

Ante la falta de estas directrices, el proyecto de repoblación se ha redactado en los últimos tiempos de acuerdo con la estructura definida de forma general para los proyectos de obra en las diferentes normas de contratación pública, habida cuenta de que la repoblación tiene la consideración de obra. Así, la definición que hace sobre el término obra la actual Ley de Contratos del Sector Público (Ley 9/2017) no deja lugar a dudas: “Por «obra» se entenderá el resultado de un conjunto de trabajos de construcción o de ingeniería civil, destinado a cumplir por sí mismo una función económica o técnica, que tenga por objeto un bien inmueble. También se considerará «obra» la realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o de su vuelo, o de mejora del medio físico o natural”.

La actividad repobladora se ha circunscrito tradicionalmente al ámbito de la Administración. Los técnicos de la misma eran los redactores de los proyectos y durante gran parte del periodo repoblador de mediados del siglo XX fueron, también, los ejecutores de los mismos, ya que las obras se solían realizar por Administración. Sin duda, este aspecto contribuyó a que los proyectos de repoblación fueran simplificándose hasta convertirse, prácticamente, en una breve memoria valorada para la justificación de la inversión. Esto permitía redactar en poco tiempo, un mes o dos, la propuesta de inversión y poder empezar a ejecutar la obra el mismo año en que normalmente se redactaba.

Posteriormente, la generalización de la ejecución de las obras por contrata en la Administración ha exigido redactar proyectos técnicos más elaborados; aunque no siempre se ha conseguido.

Como consecuencia, los proyectos de repoblación siguen presentando, frecuentemente, un déficit importante en cuanto a su redacción y contenidos. Algunos de los aspectos que se han indicado que podrían mejorarse son los siguientes:

- Definición correcta de los objetivos. Los objetivos de la repoblación en muchos proyectos no son concretos o no se justifican, ni permiten ser evaluados.
- Análisis con detalle de los condicionantes ambientales, técnicos y económicos del proyecto. Sirva de ejemplo el escaso número de proyectos que hoy cuentan con un estudio riguroso del suelo o del clima.
- Análisis de las alternativas y justificación de las diferentes alternativas consideradas en el proyecto. Las decisiones en el proyecto suelen carecer de una justificación técnica.
- Redacción incorrecta de la Memoria. En este documento se suele incorporar, con gran frecuencia, una información de carácter descriptivo de poco o nulo interés para la toma de las diferentes decisiones del proyecto. No debe olvidarse que la Memoria es un documento de síntesis, que reúne toda la información necesaria para conocer el proyecto, por lo que parte de la información puede derivarse a los Anexos correspondientes.
- Evaluación del proyecto. Debe analizarse si las soluciones propuestas cumplen los objetivos planteados.
- Seguimiento del proyecto. Mediante los indicadores establecidos para su evaluación debe establecerse un plan de seguimiento en el tiempo para comprobar que los mismos se cumplen.

2. Conceptos

Existen numerosas definiciones del concepto de proyecto de ingeniería (Gómez-Orea y Gómez-Villarino 2007), siendo la más sencilla la que lo define como el conjunto de documentos que desarrollan y detallan los trabajos a realizar, cómo y cuándo se deben ejecutar y cuál es su coste. Todo proyecto, por tanto, debe responder a una serie de preguntas básicas: ¿Por qué hacer la obra?, ¿Cómo hacer la obra?, ¿Cuándo hacerla?, ¿Cuánto cuesta?, ¿Cuáles son los beneficios económicos de su ejecución?

En el proyecto técnico, las alternativas elegidas para la solución del problema que se plantea deben ser las óptimas que resulten de la integración de los aspectos técnicos, económicos y ambientales.

2.1. Actores que intervienen en el proyecto de obras

Los actores que intervienen en el diseño y ejecución del proyecto (figura 20.1) son:

- Promotor. Promueve y financia el proyecto. Designa al proyectista y al Director de obra para su diseño y control de ejecución. Contrata al contratista para su ejecución. Puede ser público o privado.
- Proyectista. Técnico competente que redacta el proyecto técnico. En el caso de un proyecto de repoblación, la competencia la tienen atribuida las profesiones de Ingeniero Técnico Forestal y de Ingeniero de Montes, actualmente denominadas Grado en Ingeniería Forestal y Máster en Ingeniería de Montes. En los proyectos complejos suele haber detrás de esta figura un equipo multidisciplinar, aunque el que firma el proyecto sea el técnico competente.
- Contratista. Según lo define el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, es toda persona física o jurídica que asume mediante contrato ante el promotor el compromiso de ejecutar total o parcialmente la obra con sujeción a lo establecido en el proyecto. En el caso de que no cuente con los medios suficientes podrá contratar a un subcontratista para realizar determinadas partes de la obra. En ocasiones, tanto el contratista como subcontratista, pueden contratar a un trabajador autónomo para realizar partes de la obra.

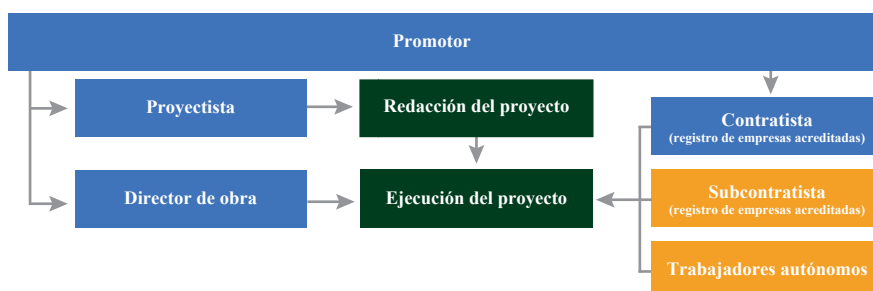


Figura 20.1. Actores que participan en la redacción y ejecución de un proyecto de obra. Estos actores se pueden completar con otros para el diseño y puesta en práctica de los principios de seguridad y salud laboral (ver capítulo 21).

- Director de obra. Técnico competente encargado del control de la ejecución de la obra según las especificaciones contenidas en el proyecto. Siempre que sea posible, el director de obra debería ser el proyectista, por garantizar al máximo que la ejecución de la obra responde a lo diseñado en el proyecto (ver capítulo 24).

2.2. Fases previas en la redacción del proyecto de obra

La complejidad de un proyecto puede requerir de unas fases previas en las cuales se vaya concretando y definiendo las alternativas posibles. Estas fases conllevan la elaboración de una serie de documentos de menor a mayor detalle, como son (Gómez-Senent 1997):

- Estudio de viabilidad. Tiene por objeto determinar si las posibles soluciones del proyecto son viables desde el punto de vista técnico, legal, económico y ambiental y bajo qué condiciones.
- Anteproyecto. Tiene por objeto definir las líneas básicas del proyecto, de manera que suministre al promotor la información necesaria para poder tomar la decisión de llevarlo a cabo o paralizarlo. Proporciona una respuesta única a todos los problemas planteados. En él quedan definidos todos los elementos básicos del proyecto.
- Proyecto detallado. Define perfectamente todos y cada uno de los elementos de la obra. Contiene todas las mediciones y cálculos detallados que se precisan para la ejecución de la obra y la determinación de su coste.

Son raros los casos en los que se realiza un estudio de viabilidad o un anteproyecto, redactándose directamente el proyecto de repoblación detallado.

2.2. Adecuación de los proyectos de repoblación a la planificación forestal

Con objeto de que los proyectos de repoblación respondan a una línea de actuación con unos objetivos y finalidades claras sería deseable que se definieran, previamente, unos Planes Marco de Actuación. Estos planes marco pueden ser, hoy en día, los Planes Forestales y/o los Planes de Recuperación de la Cubierta Vegetal promovidos por diferentes Comunidades Autónomas o los Planes Hidrológicos de Cuenca (por ejemplo, figura 20.2).

En estos documentos de planificación, que se pueden redactar con distintos ámbitos territoriales, se contemplarían los diferentes proyectos que a lo largo del tiempo cabe realizar para cumplir los objetivos que se persiguen y se valorarían los beneficios, o en caso perjuicios, que los mismos pueden ocasionar en dicho ámbito.

2.3. Obligación de redactar un proyecto técnico de repoblación forestal

La exigencia de elaborar un proyecto de repoblación puede obedecer, en el ámbito del Estado y de las Comunidades Autónomas, a los siguientes supuestos: i) la administración pública es la promotora de la obra, ii) un particular es el promotor de la obra pero la administración pública tiene la competencia, determinada por sus leyes sectoriales, de autorizar la repoblación (tabla 20.2), iii) el promotor es un particular y, aunque la administración no ha regulado la autorización de esta iniciativa, solicita la elaboración de un proyecto técnico. En este caso la necesidad de elaborar un proyecto de repoblación es discrecional, a criterio del promotor.



Figura 20.2. Estructura del Plan Forestal de Galicia (1992) en donde se visualiza la relación entre los proyectos de repoblación y los diferentes programas y subprogramas en el que se estructura.

3. Redacción del proyecto de repoblación

3.1. Pasos previos a la redacción del proyecto de repoblación forestal

Para la realización de un proyecto de repoblación forestal, como todo proyecto que se va a ejecutar sobre el territorio, es preciso realizar unos trámites previos que garanticen la disponibilidad de los terrenos y valoren las afecciones que dicho proyecto pueda ocasionar en el medio.

Asimismo, se deberá contar con las diferentes autorizaciones de las administraciones que puedan tener asignadas unas competencias sobre el área afectada por el proyecto y por la materia.

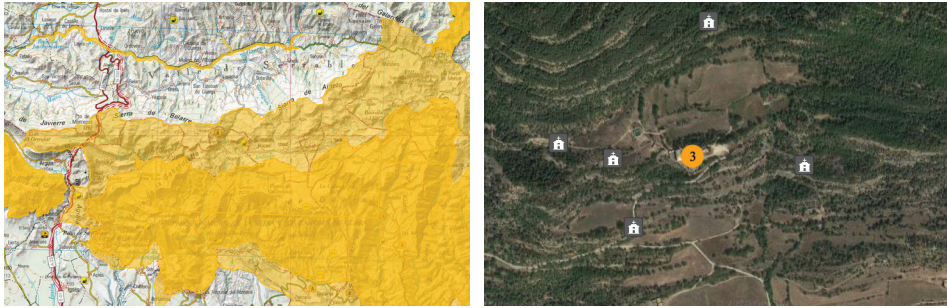
De una manera más detallada, se deberá disponer:

- Disponibilidad de los terrenos y permisos de paso. En caso de que el promotor de la obra no sea el titular del terreno se deberá contar con la autorización expresa del mismo. En el caso más corriente de que el titular sea una entidad pública municipal se deberá contar con el certificado del acuerdo plenario del ayuntamiento autorizando el proyecto. Igualmente, se deberán recabar todos los permisos de paso en las pistas y caminos que sean necesarios cuando el titular no sea de titularidad del promotor.
- Autorizaciones de las administraciones competentes en virtud del análisis de las afecciones ambientales o culturales que puede ocasionar el proyecto (figura 20.3). Es recomendable analizar si el proyecto afecta a espacios que tienen alguna singularidad natural especial (Red Natura 2000, ZEPA, LIC, Espacio Natural Protegido, etc.), cultural (Patrimonio Cultural), paisajística (Carta del Paisaje, Inventarios paisajísticos), etc. En caso de haya afección hay que analizar la compatibilidad del proyecto con esa singularidad y recabar, en caso de que proceda, la autorización pertinente.
- Informes preceptivos de otras administraciones cuando las normas sectoriales lo prevean por su afección a terrenos competencia de las mismas (dominio público hidráulico, carreteras, etc.).

Tabla 20.2. Regulación de la presentación del proyecto de repoblación en las diferentes normas forestales de carácter autonómico y provincial.

Ámbito	Norma	Regulación
Álava	Norma Foral de Montes 11/2007, de 26 de marzo	art. 55. 3) Los proyectos de forestación cuya superficie sea igual o mayor a 1 ha deberán ajustarse a las disposiciones técnicas físicas y específicas que establece el Órgano Forestal competente de la Diputación Foral de Álava, salvo que formen parte de un Plan de Ordenación o Técnico, previamente aprobada por la misma. Una vez obtenida la autorización foral no estarán sometidos a actos de control preventivo o licencia municipal.
Aragón	Decreto Legislativo 1/2017, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Montes de Aragón	art. 95. 6) La autorización de repoblaciones forestales cuya superficie supere la mínima establecida en el apartado 2 del presente artículo [10 ha] exigirá la presentación de un proyecto o memoria técnica. La redacción y dirección de obra serán realizadas por técnicos con titulación forestal universitaria.
Asturias	Ley del Principado de Asturias 3/2004, de 23 de noviembre, de Montes y Ordenación Forestal	art. 77. Los trabajos de reforestación que realicen los titulares públicos o privados de los montes cualquiera que sea su titularidad o naturaleza, así como los de los terrenos agrícolas que se reforesten, en superficies superiores a diez hectáreas, requerirán la aprobación de un proyecto técnico, cuya ejecución quedará sujeta a la inspección de la Consejería competente en materia forestal.
Guipúzcoa	Norma Foral 7/2006 de 20 de octubre, de Montes de Guipúzcoa	art. 90. 2) Cualquier titular de montes que desee realizar repoblaciones con especies forestales, deberá solicitar autorización a la Administración Forestal. Dicha solicitud deberá identificar la superficie de actuación referida al Mapa de Clases Agrícolas de Guipúzcoa, y la referencia catastral de polígono y parcela, tal como se consigna en el Registro de Explotaciones Agrarias, especificando la especie o especies a utilizar. art. 93. Las entidades locales propietarias de montes catalogados, podrán ejecutar a su costa, o en colaboración con terceros, las repoblaciones o mejoras de sus montes, sometiendo previamente sus proyectos o convenios a la aprobación de la Administración Forestal, pudiendo beneficiarse de las ayudas previstas en el artículo 96, para el fomento de trabajos forestales.

Ámbito	Norma	Regulación
Madrid	Ley 16/1995, de 4 de mayo, Forestal y de Protección de la Naturaleza de la Comunidad de Madrid	art.67. 1) Los trabajos de reforestación que realicen los titulares de los montes o terrenos forestales, así como los de los terrenos agrícolas que se reforesten y que se pretendan beneficiar de las ayudas a las que pudieran acogerse, requerirán la aprobación previa de los proyectos, la supervisión técnica de su ejecución y la inspección de la Administración Forestal de la Comunidad de Madrid, la cual podrá fijar las condiciones técnicas que estime conveniente.
Navarra	Decreto Foral 59/1992, de 17 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de montes en desarrollo de la Ley Foral 13/1990, de 31 de diciembre, de protección y desarrollo del patrimonio forestal de Navarra	art. 70. 1). En montes no catalogados, sus titulares deberán contar con la aprobación de la Administración Forestal para las repoblaciones que vayan a llevar a cabo. 2) El expediente se iniciará por el promotor de la repoblación forestal, acompañado de Memoria en la que conste la cabida, situación y límites del terreno a repoblar, las especies a implantar y el presupuesto de los trabajos. Cuando la cabida del terreno a repoblar sea superior a diez hectáreas se acompañará Proyecto suscrito por técnico competente.
La Rioja	Ley 2/1995, de 10 de febrero, de protección y desarrollo del Patrimonio forestal de La Rioja	art.54. 4) Los proyectos de repoblación forestal de montes de utilidad pública o protectores se someterán a la aprobación de la Consejería competente. art.58. La Consejería competente velará por la correcta ejecución de las repoblaciones, elección de especies y métodos de trabajo. Tanto en el trámite de aprobación de los proyectos como en la supervisión técnica e inspección a que se refieren los artículos anteriores, dicha Consejería podrá fijar las condiciones técnicas que estime adecuadas, las cuales serán de obligado cumplimiento.
Vizcaya	Norma Foral 3/1994, de 2 de junio, de Montes y Administración de Espacios Naturales Protegidos	art. 86. 1) La repoblación forestal en montes de utilidad pública y protectores se orientará, preferentemente, a la creación de bosques originarios con capacidad de regeneración, posibilitándose la conservación y mejora de las condiciones que determinaron su clasificación. 2) Los planes o proyectos técnicos a los que deberán sujetarse las repoblaciones forestales de los montes a los que se hace referencia en el apartado anterior, serán aprobados por el Departamento de Agricultura, previa consulta al titular del monte. La aprobación de tales planes o proyectos llevará implícita la pertinente autorización.



Espacios Red Natura 2000 en la Sierra de Guara y áreas próximas (fuente: IGN).

Puntos de interés cultural en el municipio de Nocito (Huesca) (fuente: SIPCA, Gobierno de Aragón)

Figura 20.3. Análisis de información cartográfica que facilita la detección de posibles afectaciones de la iniciativa repobladora.

3.2. Estructura del proyecto de repoblación forestal

En alguna comunidad autónoma, como es el caso de la Comunidad Valenciana, la estructura del proyecto de repoblación está regulada por una norma específica. En otras comunidades autónomas, la regulación viene impuesta por las normas de contratación de las Administraciones públicas, como es el caso del Estado o de la Comunidad de Navarra (tabla 20.3).

En la Ley de Contratos del Sector Público, la exigencia del contenido del proyecto de obras que detalla en su artículo 233 es para obras con un importe superior a 500.000 €, pudiéndose simplificar la misma para los proyectos de menor importe. Aunque los proyectos de repoblación raramente alcanzan este importe, la estructura propuesta en esta norma encaja en la que debería tener, con carácter general, todo proyecto de repoblación.

Siguiendo la citada ley, los documentos que debe tener todo proyecto de obra son los siguientes:

- Memoria. En donde se describa el objeto de las obras, y se recojan los antecedentes y situación previa a las mismas, las necesidades a satisfacer y la justificación de la solución adoptada, detallándose los factores de todo orden a tener en cuenta.
- Planos. Los necesarios para que la obra quede perfectamente definida.
- Pliego de prescripciones técnicas particulares. En el que se describirán las obras y se regulará su ejecución, con expresión de la forma en que esta se llevará a cabo, las obligaciones de orden técnico que correspondan al contratista, y la manera en que se llevará a cabo la medición de las unidades ejecutadas y el control de calidad de los materiales empleados y del proceso de ejecución.
- Presupuesto. Con expresión de los precios unitarios y de los descompuestos, en su caso, estado de mediciones y los detalles precisos para su valoración.
- Plan de obra.
- Estudio de seguridad y salud o Estudio básico de seguridad y salud, según corresponda (ver capítulo 21).

- Cuanta documentación venga prevista en normas de carácter legal o reglamentario. Este sería el caso, por ejemplo, del estudio de impacto ambiental si así lo exigiera la Ley 21/2013 de evaluación ambiental (ver capítulo 22).

Cuando en el contrato de ejecución de obras participan las Administraciones públicas un documento que forma parte del expediente del contrato, que no del proyecto, es el pliego de cláusulas administrativas, que regulan la relación entre la administración y el contratista, durante todo el tiempo que dura la ejecución de la obra.

Tabla 20.3. Normas que regulan la estructura de un proyecto general de obras o de repoblación forestal.

Ámbito Territorial	Norma	Regulación
Estado	Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014 (LCSP).	Describe el contenido del proyecto de obras
Comunidad Valenciana	Orden de 16 de mayo de 1996, de la Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente, por la que se aprueban directrices técnicas básicas para las actuaciones de forestación o repoblación forestal en la Comunidad Valenciana	En su Anexo I se describe la estructura del proyecto
Navarra	Ley Foral 2/2018, de 13 de abril, de contratos públicos	Describe el contenido del proyecto de obras
Vizcaya	Decreto Foral número 52/95 de 30 de mayo, sobre autorización de repoblación forestal en montes públicos no catalogados y particulares no protectores	Se describe las características del proyecto de repoblación

3.2.1. Memoria

En la memoria de un proyecto se definen las necesidades, se justifica la solución que se adopta, tanto en sus aspectos técnicos como económicos, legales o ambientales y se hace una descripción de los distintos elementos de la obra. Dado que todo este contenido puede llegar a suponer un gran volumen de información, se pueden incluir unos anejos a la misma. En ellos, de forma ordenada, se va presentando la información complementaria, los cálculos realizados, la selección de las alternativas técnicas planteadas, los cuadros justificativos de precios, el plan de calidad detallado o la información fotográfica que facilite la interpretación del problema, etc.

Por tanto, la Memoria se estructura en dos partes claramente diferenciadas, que además son encuadradas de forma independiente:

- Memoria descriptiva o Memoria sintética
- Anejos a la memoria o Memoria justificativa

3.2.1.1 Memoria descriptiva

Describe detalladamente las soluciones adoptadas, así como todos los datos de interés general del proyecto. Presenta la información de una manera sintética y clara, de modo que de su lectura rápida se comprenda la totalidad del proyecto. Aunque la estructura concreta y definitiva de la memoria varía según la tipología de cada proyecto, debe responder a una estructura general. Partiendo del esquema general propuesto por Trueba (1985), un modelo de estructura para un proyecto de repoblación forestal podría ser el siguiente:

1. Objeto del proyecto
2. Antecedentes
3. Bases del proyecto
 - 3.1 Directrices del Proyecto: objetivos, condicionantes del promotor, criterios de valor
 - 3.2. Condicionantes del Proyecto: legales, naturales, forestales y socioeconómicos
 - 3.3. Situación actual
4. Estudio de alternativas técnicas
5. Ingeniería del proyecto
 - 5.1. Ingeniería del proceso
 - 5.2. Ingeniería de las obras
6. Planificación de la ejecución: evaluación de medios, programación temporal
7. Control de calidad de la obra
8. Seguridad y salud
9. Evaluación ambiental
10. Presupuesto
11. Evaluación del proyecto

Objeto del proyecto

Se describe de la manera más precisa y breve la naturaleza de la obra, su localización y su dimensión.

Antecedentes

Hace referencia al organismo que promueve el proyecto y la razón que justifica el mismo, así como cualquier otro tipo de información administrativa o de carácter general que sirva para comprender mejor su naturaleza. Deben describirse y detallarse las razones a las que obedece este proyecto, como pueda ser la existencia de un Plan Marco que lo contemple o una norma por la cual se toma esta iniciativa o simplemente la petición del propietario del terreno. Asimismo, se describirán los estudios y trabajos previos ya existentes, cuya información pueda ser de utilidad en el proyecto, como es el caso del resultado de los proyectos de repoblación que hayan podido ejecutarse anteriormente en la zona.

Bases del proyecto

- Directrices del proyecto.** Comprende los objetivos perseguidos, así como los condicionantes impuestos por los promotores del proyecto y los criterios de valor que se establezcan. Deben definirse claramente los objetivos que se pretenden con el proyecto, ya que según los mismos, se decidirán las diferentes actuaciones a realizar (ver capítulo 8). No es suficiente con recurrir a los beneficios de carácter general que reporta toda masa forestal. Siempre debe haber un objetivo preferente y que admita valorar su grado de cumplimiento con las soluciones propuestas. Debe evitarse confundir la masa a conseguir, el medio, con el objetivo que debe proporcionarnos la misma, que es el objetivo del proyecto. En el ámbito de la restauración ecológica, se habla de determinar o establecer el ecosistema de referencia, entendiendo por tal el ecosistema objetivo que posee una estructura y funciones determinadas y que se buscan alcanzar con el proyecto (SER 2004). Una vez definidos los objetivos se deberán seleccionar los indicadores que se utilizarán para evaluar su grado de cumplimiento (tabla 20.4).

La redacción correcta de este apartado deberá permitir conocer la necesidad real del proyecto y los objetivos que se persiguen con la obra, cuyo grado de cumplimiento deberá juzgar el éxito de la misma.

Tabla 20.4. Indicadores para evaluar los objetivos de un proyecto de repoblación.

Indicador	Objetivo	Referencia
VAN, TIR, relación beneficio/coste, plazo de recuperación de la inversión	Económico	Capítulo 23
Tasa de remoción del suelo	Conservación del suelo	Capítulo 8
Índice de calidad del paisaje	Mejora de la calidad del paisaje	Capítulo 10
Toneladas de CO ₂ en biomasa	Fijación de CO ₂	Montero <i>et al.</i> (2005)
Índices de diversidad	Aumento de la biodiversidad	Capítulo 5
Índices de madurez de la vegetación	Aumento de la madurez de las agrupaciones vegetales	Capítulo 5
Número de jornales que genera el proyecto en su ejecución	Social	Capítulo 20

- Condicionantes del proyecto.** Recogerá todos aquellos factores que puedan limitar las soluciones técnicas que vayan a adoptarse. En la memoria descriptiva aparecerá un resumen de los mismos, dejando para los Anejos su descripción detallada, que abarcará los documentos, datos y cálculos que fueran necesarios. El conocimiento profundo de los condicionantes del proyecto permitirá al proyectista realizar un diagnóstico preciso del espacio donde va a desarrollarse la actuación (ver capítulo 9). Siguiendo la clasificación tradicional de los estados del monte, aplicada en los estudios de planificación forestal, estos condicionantes se pueden agrupar en:

- **Legales y administrativos.** La descripción de este apartado debe responder a identificar claramente la propiedad de la superficie objeto del proyecto, el conocimiento claro de sus límites, así como las limitaciones al uso que pueda tener. Así, deberá describirse la posición administrativa, la pertenencia, los límites del monte, enclavados, superficies o cabidas, servidumbres, ocupaciones, usos y costumbres. Debe hacerse mención a los diferentes documentos de planificación existentes sobre el territorio y que puedan restringir el uso del mismo, así como a las diferentes normas que puedan restringir algunas de las decisiones de la repoblación. En el caso de que se trate de montes de Utilidad Pública, propiedad de una Entidad de derecho público, debe hacerse constar la autorización del propietario mediante el acuerdo plenario correspondiente. Asimismo, deberá detallarse las restricciones en cuanto a uso que impongan las diferentes normas sectoriales.

El desarrollo correcto de este apartado debe permitir al proyectista el conocimiento de la superficie a repoblar, tanto en los aspectos que hacen referencia a la propiedad, sus límites, sus usos actuales (algunos pueden quedar total o parcialmente limitados) y los posibles condicionantes que puedan existir para usos futuros. También debe permitirle conocer las restricciones que las normativas existentes imponen a la realización de este tipo de obras o a las actuaciones sobre el espacio.

- **Naturales.** Deberán describirse los factores físicos y bióticos que pueden influir en las decisiones del proyecto, es decir: el clima, la fisiografía, el suelo, la vegetación, la fauna y el paisaje (ver capítulos 4, 5 y 10). En el estudio climático debe analizarse el escenario de cambio climático para valorar la posible adaptación de las especies que se elijan a las condiciones climáticas futuras. Asimismo, debe describirse el régimen de perturbaciones a las que puede estar sometido el espacio donde se va a desarrollar la actuación: incendios forestales, aludes, avenidas, procesos de erosión hídrica o eólica, movimientos en masa, etc.

La descripción correcta de este apartado debe permitir conocer al proyectista los condicionantes existentes para cada una de las decisiones del proyecto. Su análisis debe ser preciso centrándose en los factores que tienen alguna incidencia en las decisiones del mismo. Deben evitarse las referencias generalistas de carácter descriptivo.

- **Forestales.** Se describirán aquellos aspectos que se consideren más relevantes, entre los que están: las necesidades de infraestructuras de acceso o de defensa, los aprovechamientos y usos del monte, etc.

La descripción correcta de este apartado deberá permitir al proyectista conocer las diferentes infraestructuras de acceso y defensa, su estado actual, y su necesidad de mejora o nueva realización para poder ejecutar la repoblación o las posteriores labores de gestión de la masa forestal creada.

- **Socioeconómicos.** Deberán describirse aquellos aspectos que permitan conocer las expectativas de la población sobre el proyecto, la demanda de bienes y servicios sobre el medio donde se va a desarrollar la actuación, las consecuencias que sobre los usos y aprovechamientos del espacio puede tener

la ejecución del proyecto, los beneficios económicos del proyecto, etc. (ver capítulo 8).

En función de los objetivos planteados y de las características del medio antes descritas, se procederá a la definición o apeo previo de los rodales de repoblación (ver capítulo 10), que se concretará en la elaboración del mapa de apeo previo de rodales de repoblación, que tiene un carácter de mapa auxiliar en el proyecto (figura 20.4). Este apeo consiste en una zonificación previa, que se realiza de la superficie a repoblar, atendiendo a las diferentes características antes descritas. Esto puede implicar que en cada uno de los rodales la solución técnica puede ser diferente, o lo que es lo mismo, puede representar una unidad de obra distinta.

- **Situación actual.** En este epígrafe debe valorarse de forma resumida, las características que han sido descritas en el epígrafe anterior, la situación actual del espacio y su evolución en el caso de que no se ejecute el proyecto. Este aspecto es de particular interés en los trabajos de restauración o en las repoblaciones de carácter protector, donde interesa conocer la dinámica que seguirá el espacio actual sometido a los usos y procesos de degradación actuales.

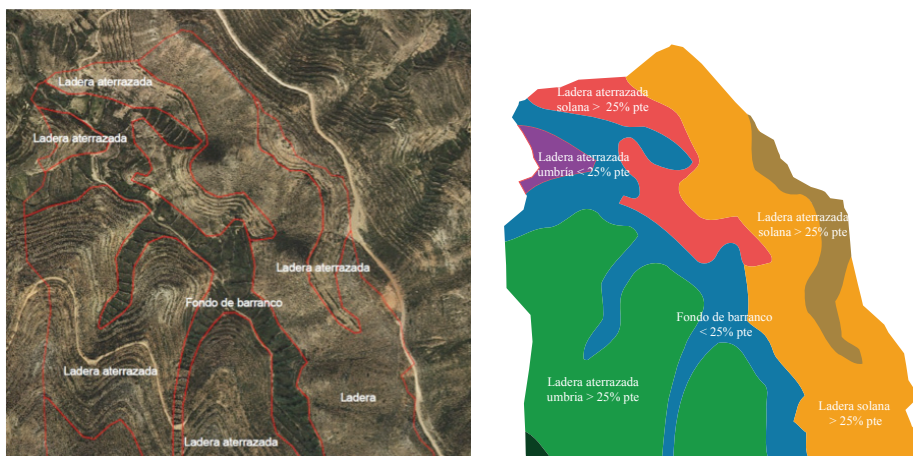


Figura 20.4. Mapa auxiliar sobre ortofotomapa de las formas del relieve y apeo previo de rodales en función de las formas del relieve, pendiente y orientación.

Estudio de alternativas de las decisiones estratégicas

Para cada uno de los rodales se debe proceder a la elección de la alternativa técnica más apropiada para cada una de las decisiones del proyecto (figura 20.5). En la Memoria sólo constarán las alternativas elegidas en cada uno de los rodales, recogándose en el Anejo correspondiente todo el proceso de selección. El proceso de elección de las alternativas en cada una de las decisiones debe ser completo y objetivo para tratar de garantizar, en lo posible, que la alternativa elegida es la óptima entre todas las posibles. En función de las alternativas elegidas en cada uno de los rodales se realizará el apeo definitivo de los rodales de repoblación, que se concretará en el mapa correspondiente; el más relevante de un proyecto de este tipo.

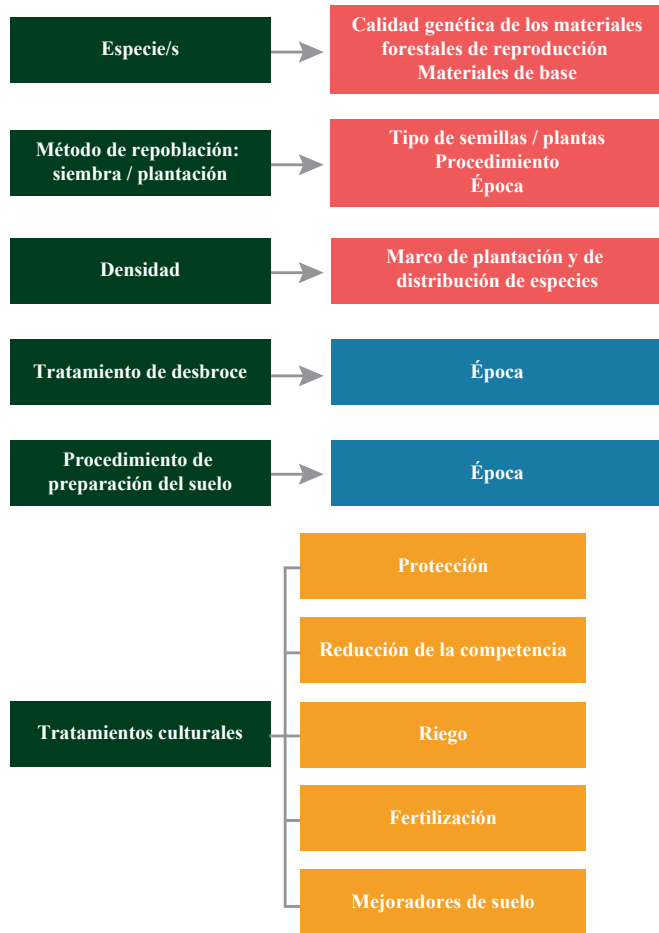


Figura 20.5. Decisiones estratégicas del proyecto de repoblación.

Ingeniería del proyecto

- La **Ingeniería del proceso** en este tipo de proyectos responderá al modelo selvícola a desarrollar, entendiendo por este último el conjunto de operaciones necesarias para obtener la masa forestal y conseguir los objetivos de ella esperados. Estas operaciones harán especial referencia a las que se precisen después de la plantación para el mantenimiento y cuidado posterior de la misma.
- La **Ingeniería de las obras** hace referencia a todas las edificaciones, infraestructuras o instalaciones necesarias para la realización del proyecto. En un proyecto de repoblación se reducirán a describir, si las hubiere, las obras de creación de infraestructuras de acceso o defensa del monte y las instalaciones de riego que pudieran contemplarse.

Planificación de la ejecución

Presenta la estimación general de los medios necesarios para la ejecución del proyecto y la programación temporal de las actuaciones para su realización. Para realizar una correcta programación de los trabajos será necesario (Pellicer *et al.* 2004): i) un estudio detallado del proyecto y de la ubicación de la obra, ii) la descomposición de la obra en actividades o trabajos elementales, iii) el análisis de las interrelaciones entre actividades, iv) el desglose del procedimiento constructivo de cada actividad, determinando los medios necesarios y sus rendimientos, v) la estimación del tiempo de cada actividad, vi) la determinación de los plazos de ejecución de cada actividad. Es importante en la planificación tener en cuenta la disponibilidad de la semilla y/o plantas de las características adecuadas, de modo que, en el momento de la ejecución de la repoblación, no falte este material tan trascendente en la cantidad y calidad proyectadas.

Para la elaboración de esta programación se pueden utilizar diferentes métodos como el diagrama de barras de GANTT o los diagramas de redes tipo PERT o CPM. Existen numerosos programas de gestión de proyectos entre los que destacan, por su difusión, CA Superproject o Microsoft Project. También existen módulos de otros programas como el módulo de tiempos de PRESTO que permite la realización del seguimiento del proyecto.

Control de calidad

Aunque no suele ser frecuente en los proyectos de repoblación, deberá elaborarse un programa de control de calidad, que se adjuntará como anejo a la memoria (ver capítulo 25). Normalmente, en los proyectos de repoblación, el control de calidad de los materiales y trabajos se recoge en el pliego de prescripciones técnicas aunque se recomienda independizarlo en un anejo por su trascendencia y la posibilidad de que sea desarrollado por una empresa externa. El programa de control de calidad deberá incluir: i) el control de los materiales, ii) el control de ejecución de los trabajos y iii) el control de la obra terminada. En la memoria se resumirán los aspectos más relevantes de cada una de estas partes.

En el control de calidad de los materiales (figura 20.6) se describirán los criterios de calidad, los documentos acreditativos exigidos, el lugar y el momento de control, así como el procedimiento estadístico que va a utilizarse para su evaluación. Tomando como ejemplo el control de las plantas a emplear en la obra, deberá detallarse: i) calidad genética exigida al material y los documentos que deben acreditarla (etiqueta y documento de acompañamiento), ii) calidad morfológica y de conformación, con la descripción del procedimiento estadístico a seguir para su aceptación o rechazo, iii) estado fitosanitario y los documentos que deben acreditarlo (pasaporte fitosanitario), iv) lugar del ensayo, normalmente en el vivero suministrador, v) control a la recepción, normalmente relacionado con el modo de transporte desde el vivero y el tiempo invertido, con los documentos que deben acreditarlo (certificado de salida del vivero) y vi) control en el lugar de acopio, indicando la periodicidad y el sistema de control (ver capítulos 15 y 16).

En el control de la ejecución de los trabajos se describirán los ensayos de control utilizados para evaluar los trabajos, su frecuencia y los criterios a seguir para su aceptación o rechazo. Finalmente, en el control de la obra terminada se describirá el tipo de ensayo a realizar para la recepción final de la obra. En las obras contratadas por las Administraciones

públicas este control se realiza finalizado el plazo de garantía y consistente en comparar los resultados obtenidos de supervivencia en las parcelas de contraste, donde los trabajos han sido dirigidos por el director de obra, con la supervivencia obtenida en el resto de la superficie de actuación.



Control de calidad de la planta en vivero antes de su salida al monte.



Control de la profundidad en un ahoyado mecanizado.

Figura 20.6. Posibles controles en diferentes fases del proyecto (fotos: J Pemán).

Seguridad y salud

En la memoria se describirá, sintéticamente, el análisis de riesgos realizados según la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales indicando si se ha elaborado un estudio de seguridad y salud (ESS) o un estudio básico de seguridad y salud (EBSS) según lo dispuesto por el Real Decreto 1627/1997. Estos estudios constituyen un documento independiente del proyecto (ver capítulo 21).

Evaluación ambiental

Si el proyecto se ajusta a los casos recogidos en la ley de evaluación ambiental, en la Memoria se indicará el resultado de la evaluación y las medidas correctoras, que en su caso, fueran necesario desarrollar. El estudio completo se redactará en documento aparte salvo que se realice un estudio muy simple que se podría adjuntar como Anejo a la memoria (ver capítulo 22).

Evaluación del proyecto

Se detallará el plan financiero, la evaluación de beneficios y el análisis financiero de la inversión. Por lo que respecta al plan financiero, cabe decir que en proyectos de repoblación promovidos por Administraciones públicas este aspecto se limitará a indicar su referencia al presupuesto de gastos aprobado en la comunidad autónoma de que se trate, por lo que indicará el programa económico y el concepto presupuestario correspondiente al que debe cargar el proyecto. En la evaluación de beneficios deberán contrastarse los indicadores seleccionados en la definición de objetivos en los escenarios con y sin proyecto. En los proyectos con objetivos productores se deberán realizar, también, los oportunos análisis de sensibilidad según los posibles escenarios de costes (con subvención, sin subvención) o productividad (ver capítulo 23).

3.2.1.2. Anejos a la memoria o Memoria justificativa

Recogen de forma ordenada, siguiendo la estructura de la memoria descriptiva, la información que sea necesaria para justificar las decisiones tomadas. Un criterio que puede utilizarse para valorar la necesidad o no de introducir una determinada información consiste en preguntarse ¿Para qué me vale esta información en la toma de decisiones del proyecto? De esta manera, si la información no se considera relevante, se debe evitar su introducción. En el otro extremo, en los anejos no debe figurar ninguna información importante que no quede recogida en la memoria descriptiva o en los otros documentos del proyecto.

La memoria queda, así, descargada de gran parte de la información y se consigue, con ello, que el lector pueda seguir los razonamientos en ella expuestos sin verse interrumpido por la inclusión de cuadros o cálculos. No deben aportar muchas explicaciones, ya que debe tenerse en cuenta que quien accede a los mismos debe ser conocedor de los temas que se exponen. Resulta conveniente indicar expresamente el apartado de la memoria al que hacen referencia, para lo cual se suelen denominar como: anejo al epígrafe de condicionantes del proyecto, etc. El número y contenido de los anejos es muy variable dependiendo de cada proyecto en concreto. La estructura de los anejos de la memoria de un proyecto de repoblación serían los siguientes:

1. Condicionantes del proyecto
2. Estudio de alternativas técnicas
3. Ingeniería de las obras
4. Planificación de la ejecución
5. Justificación de precios
6. Control de calidad
7. Evaluación del proyecto

Los anejos que merecen un comentario especial son los siguientes:

Elección de alternativas

Para cada una de las decisiones que deben adoptarse en el proyecto se debe realizar una selección de dichas alternativas. Para ello conviene desarrollar un protocolo que se componen de tres etapas o fases (figura 20.7):

- **Identificación de alternativas.** Su objetivo es detectar o identificar las alternativas que técnicamente pueden plantearse en el espacio donde va a desarrollarse el proyecto. Los criterios que deben tenerse en cuenta en esta fase son, por tanto, los condicionantes que nos limitan la viabilidad técnica, entre los que suelen estar los de carácter legal, físico (clima, suelo, fisiografía) y biótico (vegetación, fauna). Los criterios manejados en esta fase tienen un carácter determinante, bastando que uno de ellos no se ajuste a la alternativa analizada para que esta sea descartada.

Sirvan de ejemplos de posibles criterios en esta fase los que se manejan para la elección del procedimiento de preparación del suelo: pendiente, profundidad del

suelo, pedregosidad superficial, afloramientos rocosos, pedregosidad en el perfil del suelo, textura y contenido en caliza activa de los horizontes del suelo y vegetación.

- **Evaluación de alternativas.** Su objetivo es evaluar las alternativas identificadas en la etapa anterior con los criterios que el proyectista quiera optimizar para esa decisión. Entre estos criterios están los de carácter económico, social o ambiental, así como los objetivos pretendidos con el proyecto. El desarrollo correcto de esta etapa garantizará la viabilidad ambiental y económica de la solución adoptada. Como ejemplos de criterios que pueden tenerse en cuenta en esta etapa para la elección del procedimiento de preparación del suelo están: el coste económico, la profundidad de la labor, su carácter selectivo, el impacto sobre el suelo, el impacto paisajístico, su contribución al aumento de la disponibilidad de agua para la planta, la reducción de la escorrentía superficial, el riesgo de producir procesos de inestabilidad o degradación en la ladera, etc.
- **Selección de alternativas.** Su objetivo es seleccionar la alternativa óptima en función de los criterios expuestos en la fase anterior. Para ello pueden utilizarse las técnicas de decisión multicriterio.

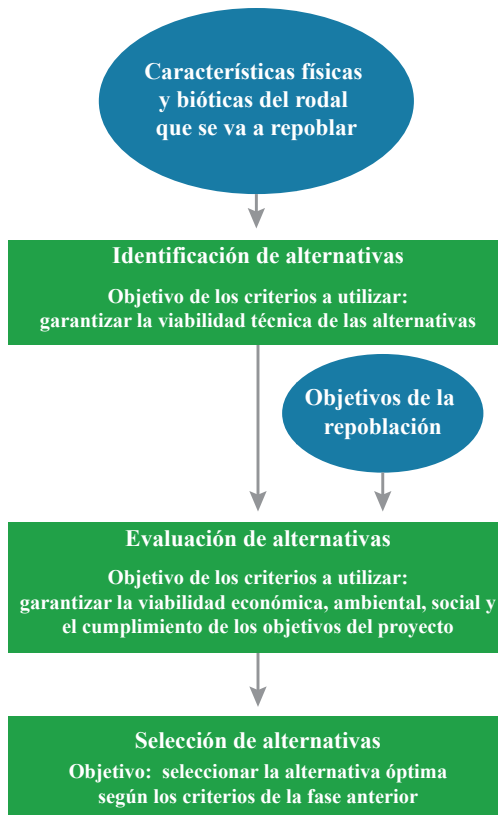


Figura 20.7. Proceso de selección de las alternativas técnicas.

Planificación de la ejecución

En él se realiza, de forma detallada, la evaluación de los medios humanos, la maquinaria y los plazos de tiempo necesarios para la ejecución de las diferentes unidades de obra así como la programación en el tiempo de la realización de las mismas, considerando el plazo de ejecución fijado para la obra. Para ello, de cada unidad de obra se deberá realizar la evaluación de los medios que precisa así como el tiempo de ejecución esperable con esos medios. Para fijar estos plazos de ejecución siempre habrá que dar cierta holgura en previsión de los días que no pueda trabajarse por condiciones meteorológicas, mantenimiento de maquinaria, imprevistos, etc. Finalmente se realizará la programación de las actividades, para lo cual será necesario establecer una prelación temporal entre las mismas, indicando su relación de dependencia técnica (desbroce / preparación del suelo / plantación o siembra), el camino crítico y las holguras de tiempo de cada una de ellas. Esta programación se puede realizar mediante los conocidos diagramas de barras GANTT o mediante los diagramas de redes PERT, CPM, etc.

Control de calidad

Se detallará el programa completo de control de calidad establecido para la ejecución del proyecto.

Justificación de precios

Con carácter general se desarrolla en tres apartados (Trueba 1985):

- **Precios básicos o simples.** Hacen referencia a los costes, ya en el monte, de la mano de obra, los materiales y la maquinaria (tabla 20.5). En ocasiones, en algunos proyectos puede hacerse referencia previamente a unos precios elementales, que son los básicos, sin la inclusión del coste de transporte al monte.
- **Precios auxiliares.** Hacen referencia a materiales elaborados en el monte y que forman parte de las unidades de obra. Es el caso típico de hormigones, morteros, etc. En proyectos de repoblaciones no suelen existir.
- **Precios de las unidades de obra.** Pueden distinguirse dos tipos:
 - **Precios de unidades simples.** Justifican el precio de cada unidad de obra, mediante combinación de los costes de mano de obra, materiales y maquinaria, con los rendimientos de los equipos. Deben acompañarse con la justificación de los rendimientos utilizados. De forma general, en su elaboración hay que tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos: las unidades de obra llevarán adscrito un número de orden que luego aparecerá en el presupuesto con lo que será fácil su localización, delante de cada unidad se indicará su unidad de medición y las unidades de obra se ordenarán en el sentido en que cronológicamente avance la obra (tabla 20.6).
 - **Precios de unidades compuestas.** Se realizan por simple agregación de las unidades simples, cuando así lo requiera la unidad de obra, por ser demasiado compleja. En proyectos de repoblación no es frecuente utilizar unidades compuestas por lo que se suele obviar estos precios.

Para la confección de estos precios se pueden utilizar, los precios simples y rendimientos, habituales en la zona del proyecto o recurrir a bases de precios o tarifarios de carácter general. En el ámbito forestal se dispone de varias bases de datos de precios o tarifarios (tabla 20.7).

Tabla 20.5. Ejemplo de precios básicos o simples de la mano de obra, materiales y maquinaria (fuente: adaptado de las tarifas Tragsa 2019).

Código	Unidad	Concepto	Precio (€)
Mano de obra			
001009	h	Peón (Régimen General de la Seguridad Social)	21,46
001007	h	Jefe de Cuadrilla (Régimen General de la Seguridad Social)	23,26
Materiales			
P08003	unidad	Planta de <i>Pinus halepensis</i> de 1 savia, en contenedor de 300 cm ³ en vivero	0,25
P08041	unidad	Planta de <i>Quercus ilex</i> de 1-2 savias, en contenedor de 300 cm ³ en vivero	0,34
P06004	unidad	Poste de madera de pino tratada en autoclave uso IV, diámetro 6 a 8 cm, altura 2 m	5,23
P06027	m	Malla anudada galvanizada cinética 200×17×30 cm	1,78
Maquinaria			
M01066	h	Retroaraña (71-100 CV)	87,07
M01057	h	Retroexcavadora de orugas hidráulica (71-100 CV)	59,15
M01038	h	Tractor de cadenas (151 – 170 CV)	79,59

Tabla 20.6. Ejemplo de Precios de unidades simples (fuente: adaptado de las tarifas Tragsa 2019).

Código	Unidad	Concepto	Rendimiento	Precio simple (€)	Importe (€)
F01175	km	Subsolado siguiendo las curvas de nivel, con tractor de cadenas (171-190 CV) con <i>ripper</i> con dos rejonés separados 2 m, labrando a una profundidad superior a 50 cm, en suelos sueltos con pendiente entre el 20 y 30%			119,01
M01039	h	Tractor de cadenas (171 – 190 CV)	1,4	85,01	119,01
F02097	millar	Plantación manual con azada sobre suelo preparado mecánicamente en pendientes < 50%, en hoyos con suelo pedregoso, de mil plantas producidas en envase rígido de 250 cm ³ de volumen (no incluye precio de la planta)			779,25
001009	h	Peón (Régimen General de la Seguridad Social)	31,443	21,46	674,77
001007	h	Jefe de Cuadrilla (Régimen General de la Seguridad Social)	4,492	23,26	104,48
PT012	millar	Colocación manual de tubo protector rígido de 60 cm de altura sin tutor			925,97
001009	h	Peón (Régimen general de la Seguridad Social)	38	21,46	815,48
001007	h	Jefe de Cuadrilla (Régimen general de la Seguridad Social)	4,75	23,26	110,49

Tabla 20.7. Bases de precios o tarifarios aplicables al ámbito forestal que pueden consultarse en la página electrónica de diferentes empresas u organismos.

Tarifas / Precios	Características
Tarifas de la empresa pública Forestal Catalana S.A.	Base de precios para la realización de obras y trabajos forestales en Cataluña. Actualizada en el año 2014. Base gratuita.
Tarifas Forestales de Navarra	Documento en formato papel cuya última actualización es el año 2019.
Tarifas Precios Forestales Extremadura	Actualizadas al año 2019. Base gratuita.
PAISAJISMO Base de Precios	Base especializada en proyectos y obras de espacios públicos urbanos, parques y jardines, tratamiento y restauración del paisaje y, en general, todo tipo de actuaciones, tanto urbanas como naturales. Últimas tarifas año 2019. Base de pago. Consulta gratuita vía Web.
Tarifas de la empresa pública TRAGSA	Base de precios, del ámbito de la agricultura y del medio ambiente, que representan los costes reales totales, tanto directos como indirectos. Últimas tarifas aprobadas en el BOE corresponden al año 2019. Cuentan con índices de actualización anuales. Base gratuita.

Evaluación del proyecto

Recogerá todos los cálculos realizados en la situación con y sin proyecto, para los indicadores definidos en el epígrafe de objetivos. Se detallará el plan financiero, la evaluación de beneficios y el análisis financiero de la inversión. Por lo que respecta al plan financiero, cabe decir que en proyectos de repoblación, promovidos por Administraciones públicas, este aspecto se limitará a indicar su referencia al presupuesto de gastos aprobado en la Comunidad, por lo que indicará el programa económico y el concepto presupuestario correspondiente al que debe cargar el proyecto. Deberán contrastarse los indicadores seleccionados en la definición de objetivos en los escenarios con y sin proyecto.

Criterios de estilo para la redacción del proyecto

La Memoria descriptiva debe ser clara y breve, para facilitar la comprensión completa del proyecto con su lectura. Debe recoger los resultados y las decisiones del proyecto debidamente justificadas. La información debe estar referida a la superficie objeto del proyecto, evitando grandes descripciones de carácter general, que aportan poca información de interés. La información que se recopile en el proyecto debe ser útil para el objeto del proyecto, por lo que debe evitarse incorporar aquella que no aporta nada al mismo.

El uso del lenguaje debe corresponderse con el tipo de documento, por lo que debe ser claro, íntegro, imparcial, ordenado, preciso, conciso y homogéneo. Debe evitarse la utilización de un lenguaje muy literario (“el objetivo de esta repoblación es aumentar la riqueza ambiental...”), impreciso (“la profundidad del suelo es media”), comenzar los párrafos con palabras poco importantes, evitar expresiones de duda, redactar en primera persona del singular o plural, etc.

En la redacción debe evitarse un uso indiscriminado de siglas, acrónimos o abreviaturas. Las siglas y los acrónimos se forman por la yuxtaposición de las iniciales de las palabras con significado léxico, denominándose sigla cuando tiene una secuencia de letras impronunciable (PEFC por Asociación para la Certificación Española Forestal) y acrónimo cuando puede ser leída como una palabra (FAO por *Food and Agriculture Organization*). Las abreviaturas acortan la escritura de un término o expresión y aunque pueden tener un carácter personal, es mejor limitarse al uso de las abreviaturas convencionales (art. por artículo). La norma de la Real Academia Española de la Lengua establece que las abreviaturas acaben en un punto, a diferencia de siglas y acrónimos. Cuando la abreviatura reduce el término a una letra, el plural se forma duplicando las letras (CC.AA. por Comunidades Autónomas). La utilización de abreviaturas debe circunscribirse a las de uso normal, no usándolas para abreviar, por ejemplo, el nombre de las especies, abreviar los títulos en las filas o columnas de las tablas o hacer más cortas determinadas expresiones. La primera vez que se utiliza una sigla o acrónimo debe escribirse, entre paréntesis, el nombre completo. Si se prevé utilizar muchas siglas y acrónimos debería adjuntarse un índice de los mismos al comienzo del texto.

El sistema de unidades que debe emplearse para la expresión de las diferentes magnitudes recogidas en el proyecto es el del Sistema Internacional salvo algunas excepciones, como la unidad de superficie que, en los proyectos de carácter forestal, suele utilizarse la hectárea (10000 m²) o la magnitud del suelo removido, producto de la erosión hídrica, que suele utilizarse el megagramo (10⁶ g). La utilización de símbolos para expresar las unidades, de magnitud o monetarias, debe realizarse conforme a lo estipulado en los códigos internacionales. El Comité Internacional de Pesas y Medidas, en su revisión del Sistema Internacional de Unidades (2006), establece los criterios para el uso de los símbolos:

- Los símbolos de las unidades se escriben en letra normal y minúscula, a excepción de los derivados de un nombre propio que comienzan por mayúscula. Como excepción a esta regla únicamente se contempla el símbolo del litro, que puede escribirse en mayúscula (L) para evitar la confusión con el valor numérico.
- Los prefijos de múltiplos o submúltiplos de las unidades, si se usan, son parte de la unidad y preceden al símbolo de la misma sin ningún espacio (Mg por megagramo).
- Los símbolos de las unidades no son abreviaciones, son entidades matemáticas, por lo que no se pone un punto tras ellos, ni se les añade una s para la formación del plural.
- En la formación de cocientes o productos de símbolos de unidades deben aplicarse las reglas normales de la división o multiplicación. En la multiplicación debe usarse el espacio o el punto centrado para separar los símbolos de las unidades, mientras que las divisiones puede usarse una línea horizontal, la barra oblicua o, mejor, la notación científica con exponentes negativos (m³·s⁻¹, m³ s⁻¹).
- No se admiten el uso de abreviaturas para los símbolos de unidades, como sec (en lugar de s por segundo) o c.c. (en lugar de cm³).

El grado de precisión en los números decimales debe corresponderse con el nivel de precisión exigible al proyecto. Debe utilizarse con un mismo criterio los signos de puntuación para representar los separadores de decimales y de millares.

La nomenclatura biológica debe ajustarse a lo estipulado por los Códigos Internacionales (Ride *et al.* 1999; Greuter y Rankin 2012). Para la formulación del nombre científico se utiliza la nomenclatura binaria, que se escribe en cursiva, en la que el primer término hace referencia al género, y se

escribe su inicial con mayúscula, y el segundo término hace referencia a la especie y se escribe en minúscula (*Pinus sylvestris*). Para la denominación de subespecies se añade al término binario una tercera palabra latina antecedita de una abreviatura (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). Para hacer referencia a todas las especies de un género se puede utilizar una expresión abreviada formada por el nombre del género seguido de la abreviatura spp. (*Pinus* spp.). Cuando se hace referencia a una especie indeterminada del género se puede utilizar una expresión abreviada formada por el nombre del género seguido de la abreviatura sp. (*Quercus* sp.). Los nombres latinos no deben ir precedidos de artículos para evitar, si no se conoce el latín, la falta de concordancia entre el género de la palabra latina y el del artículo. El nombre científico debe utilizarse completo, con la excepción de relaciones de especies en donde puede abreviarse el nombre del género, siempre que no haya motivo de confusión, por la inicial en mayúscula seguida de un punto (*Populus alba*, *P. nigra*). La utilización de nombres vernáculos o populares es posible siempre que, la primera vez que se citen, se acompañen del nombre científico entre paréntesis.

3.2.2. Planos

Los planos constituyen la representación gráfica del proyecto y lo definen en cuanto a su realización. En proyectos de repoblaciones forestales o, en general, de actuaciones sobre el medio natural, se debe hablar de mapas y planos. Los mapas son una representación geométrica de la superficie terrestre, que transforman una realidad tridimensional en otra bidimensional, mediante una proyección cartográfica. Generalmente se corresponden con escalas de menor detalle. Entre ellos estarían los mapas de situación, orientación, pendiente, vegetación o de rodales de repoblación. Por otro lado, los planos son representaciones gráficas de mayor resolución que no precisan de proyección cartográfica. Correspondería este término, a los planos constructivos de una determinada infraestructura o unidad de obra (dique, solera, escollera, etc.).

Los mapas y planos deben tener un contenido y detalle que permita con su interpretación, por un técnico con formación similar al proyectista, ejecutar el proyecto de obra. Deben recoger la localización del proyecto, los condicionantes que lo afectan y su situación actual y futura. Esta última deberá realizarse con detalle quedando claramente definidas y ubicadas las diferentes unidades de obra.

La escala de la cartografía, más recomendable, para los proyectos de repoblación forestal, es la 1:10000 cuando se trabaja a escala monte, pudiéndose utilizar escalas de mayor detalle (1:5000 a 1:2000), cuando se proyectan repoblaciones específicas (por ejemplo, la restauración de una ribera). De todas formas, la elección de la escala vendrá condicionada por las disponibilidades que de la misma exista en el mercado, aunque, en la actualidad, existen medios para no eludir el uso de una escala adecuada. En un proyecto de repoblación los mapas y planos que deben realizarse serán:

- **Mapa de localización.** Son generalmente mapas topográficos a escalas pequeñas como 1:100000, 1:50000, donde quede reflejado el entorno del proyecto, con sus principales ciudades, pueblos y líneas de comunicación.
- **Mapa de situación.** Elaborado a la escala del proyecto (1:5000, 1:10000), donde quede claramente reflejado el perímetro interior y exterior del mismo. Suelen ser mapas topográficos u ortofotomapas.

- **Mapas y planos de ejecución de obra.**

- **Mapa de apeo definitivo de rodales de repoblación.** Es el mapa básico del proyecto de repoblación al recoger el perímetro exterior e interior de cada uno de los rodales que se han diferenciado en el proyecto. El mapa del apeo previo es un mapa auxiliar que se puede incorporar en los anejos.
- **Mapa de infraestructuras auxiliares.** Incluirá además de las infraestructuras que puedan construirse la ubicación de las zonas de recepción y acopio de planta, la ubicación de parcelas de contraste, etc.
- **Otros mapas auxiliares.** Recogen los condicionantes analizados en la memoria y que han servido para la elaboración del mapa de apeo previo de rodales. Pueden ser los de pendiente, geoforma, insolación, vegetación, altimetría, características del suelo, erosión, etc. También se incluiría el mapa de apeo previo de rodales.

Debido a su carácter de auxiliares, a veces, estos mapas se incluyen como figuras en los anejos correspondientes de la memoria a una escala más pequeña (figura 20.8). La inclusión de esta información, en formatos grandes, no contribuye en absoluto a mejorar ni la comprensión de los trabajos ni su ejecución.

- **Planos de detalles constructivos.** Son planos donde se recogen los detalles de obra de algunas de las unidades de obra a realizar, como puedan ser las obras de fábrica, de los cerramientos perimetrales o de las infraestructuras que lleve adjuntas el proyecto.

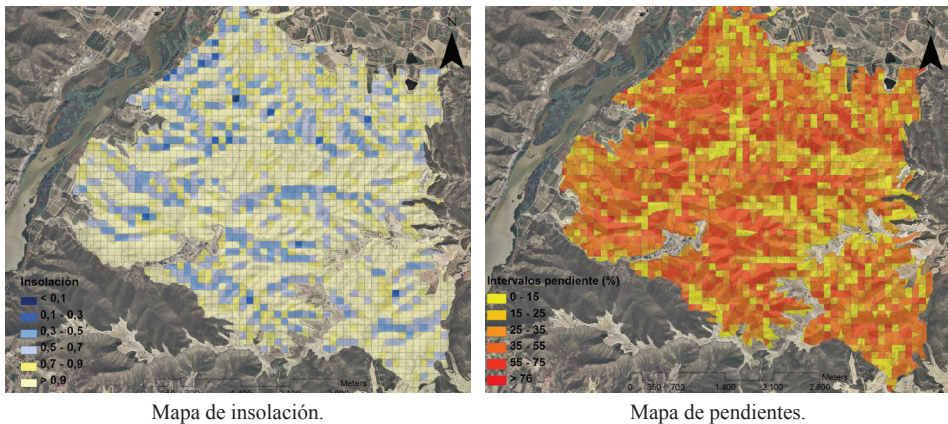


Figura 20.8. Ejemplos de mapas auxiliares.

La realización de los mapas del proyecto de repoblación forestal, hoy en día, exige la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG), gracias a la disponibilidad de la cartografía digital, mientras que para la elaboración de planos se suelen usar programas de diseño asistido por ordenador (CAD).

Criterios para la elaboración de la cartografía del proyecto

Los mapas deben estar georreferenciados y orientados. Los grafismos deben responder a los fijados en las Normas UNE sobre Dibujo Técnico. Así, por ejemplo, la ubicación y contenido de los cuadros de rotulación o carátula están descritos en las normas UNE 1-035-95 y 1-026/2. La información mínima que debe contener la carátula es: entidad que encarga el proyecto, título del proyecto, título del plano, número de identificación del mismo y de la hoja, si fuera necesario, escala, nombre del autor, firma y fecha. Los planos y mapas se plegarán según la norma UNE 1-027-1995 en formato de archivado DIN A4 (210 × 297 mm) y con margen para su encuadernación para carpetas dotadas de elementos de fijación.

La cartografía temática que se elabore debe ser clara y legible. Esto supone la elección correcta de los signos, una buena rotulación y una elección correcta de las variables visuales de color y valor. El valor representa la progresión natural que se establece entre el blanco y el negro. Cuando la variable que se pretende representar es cuantitativa (pendiente, altitud, precipitación, temperatura, etc.) se debe utilizar el valor, teniendo en cuenta que no es recomendable utilizar más de siete niveles. Cuando la variable a representar no sea cuantitativa, caso de la vegetación, se debe utilizar el color según los criterios ya aceptados o propuestos como son, en este caso, los definidos por la UNESCO (1973). Los criterios de color que se puede utilizar para representar las diferentes variables son:

- Vegetación. La gama de colores propuesta por la UNESCO (1973), basada en la realizada por Gaussen en 1924, para cada agrupación vegetal se deduce de la combinación de dos gamas que representan el grado de humedad y la temperatura. La escala para el grado de humedad varía del naranja (muy seco) al azul (muy húmedo), mientras que la de la temperatura varía del rojo (muy caliente) al gris (muy frío). El color amarillo, en ambas escalas, representa un valor medio de humedad y temperatura. Como ejemplos se pueden citar el Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre 1990), Mapa de Vegetación de Cataluña, etc.
- Altimetría. La gama de color para la representación de la altimetría, en los mapas topográficos, puede ser diferente según se quiera conseguir un efecto tridimensional, se pretenda conseguir un alto contraste o una mayor expresividad plástica (Arranz 2008). La gama tradicional de colores, más utilizada en la actualidad, es la siguiente: verde azulado (cotas bajas), verde amarillento, amarillo verdoso, amarillo, amarillo rojizo, rosa (cotas más altas).
- Insolación. Se puede utilizar la gama recomendada por la UNESCO (1973) para la representación de la humedad.
- Pendiente. Se recomienda utilizar una gama de colores similar a la de altimetría, en sus rangos de cota más bajos.

Cualquier gama de color utilizada en la representación de las diferentes variables es conveniente que tenga un grado de transparencia que permita ver la información planimétrica y altimétrica del mapa.

Todo mapa o plano debe llevar un cajetín que recoja la información básica del mismo. Esta información hace referencia a los datos del promotor (entidad, unidad, director), del proyecto (título, empresa, autor, fecha) y del plano (escala, título y número). Su ubicación depende del formato del mapa. En formatos DIN A1 se sitúa en ángulo inferior derecho del mapa, con una anchura no superior a 17 cm. En el caso de formatos DIN A3 se coloca en la base inferior del mapa con una altura de 2 cm.

3.2.3. Pliego de prescripciones técnicas particulares

Suele ser el tercer documento del proyecto y en él se recogen las exigencias de índole técnica, facultativa, económica y legal que han de regir para la ejecución del mismo. Regulan los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías mutuas entre las partes que intervienen en la ejecución, puesta en práctica y desarrollo del proyecto (Trueba 1985). Los pliegos de prescripciones técnicas pueden tener un carácter general o particular. En caso de existir, el pliego de prescripciones técnicas generales recogería todas las normas, instrucciones, recomendaciones y directrices técnicas que afecten a los proyectos del mismo tipo (Pellicer *et al.* 2004). En el ámbito de las repoblaciones forestales no hay definido ningún pliego de prescripciones técnicas generales, aunque han sido varios los intentos. El único que vio la luz fue el Decreto de 1933 sobre el Pliego de Condiciones Generales para la contratación de las repoblaciones forestales, que recogía en 60 artículos, distribuidos en 6 capítulos, aspectos relacionados con la ejecución de las obras, condiciones económicas, modificaciones del proyecto, casos de rescisión y la recepción de las obras, medición general y liquidación final.

La norma que regula la contratación del sector público (Ley 9/2017) establece que el pliego de prescripciones técnicas particulares recogerá “la descripción de las obras y se regulará su ejecución, con expresión de la forma en que ésta se llevará a cabo, las obligaciones de orden técnico que correspondan al contratista, y la manera en que se llevará a cabo la medición de las unidades ejecutadas y el control de calidad de los materiales empleados y del proceso de ejecución”.

Existen numerosos ejemplos de estructuras de pliego de prescripciones técnicas particulares (Gómez-Orea y Gómez-Villarino 2007), aplicables a obras de carácter ambiental (García-Abril *et al.* 2008) o ya adaptados a las repoblaciones forestales (Pemán y Navarro-Cerrillo 1998). El pliego se estructura jerárquicamente en capítulos y artículos o cláusulas. En los capítulos se utiliza numeración romana, mientras que en los artículos se utiliza numeración árabe. Una estructura que se ajusta a lo dispuesto en la norma de contratación, y que es habitual en los proyectos de obra civil, sería la siguiente (Pellicer 2006):

- Capítulo I: Objeto
- Capítulo II: Normativa
- Capítulo III: Descripción de las Obras
- Capítulo IV: Unidades de Obra
 - IV.1. Replanteo
 - IV.2. Materiales
 - IV.3. Ejecución
 - IV.4. Aceptación final
 - IV.5. Medición y abono
 - IV.6. Tratamiento de las disconformidades
- Capítulo V: Disposiciones generales

Objeto

Hace referencia a la finalidad del pliego que debe ser la descripción de las obras y la regulación de su ejecución. Además, debe hacer referencia a los documentos contractuales del proyecto y a la prelación de documentos del proyecto en cuanto a la resolución de posibles contradicciones entre los mismos.

Normativa

Hace referencia a la normativa que rige la ejecución del proyecto. Se relacionaran todas las normas (título, fecha de publicación y resumen) que sean de aplicación y afecten al proyecto. Como normativa se consideran todas las leyes, reglamentos, pliegos de prescripciones generales, instrucciones, recomendaciones, estudios, notas técnicas, manuales, etc., que sean de aplicación y afecten al proyecto.

Descripción de las obras

Debe ser clara y concreta evitando las contradicciones, con otros documentos del proyecto, y las omisiones. En los proyectos de repoblación la descripción debe hacerse por cada uno de los trabajos independientes (tratamientos de desbroce, preparación del suelo, siembra o plantación, instalación de tubos protectores, instalación de cierres perimetrales, etc.). La descripción debe ser la más detallada posible evitando omisiones, a veces por considerarlas obvias, que pueden llevar al fracaso en la ejecución de los trabajos.

Unidades de obra

Se relacionan las diferentes unidades de obra que conforman el proyecto y para cada una de ellas se detallan los siguientes aspectos:

- **Replanteo.** Hace referencia a la necesidad de proceder o no al mismo. Puede no aparecer en muchas de las unidades.
- **Materiales.** Se definen los materiales necesarios para la ejecución de la unidad de obra, así como los criterios de calidad exigibles. En el caso de las repoblaciones los materiales se reducen a las plantas, semillas, tubos protectores, hidrogeles, materiales que se utilicen para los cerramientos, etc.

En el caso de las plantas, por ejemplo, se debe describir la calidad genética, morfológica y de conformación, su estado fitosanitario y los requerimientos de cultivo en vivero que el proyectista considere necesario. Asimismo, deberá indicar los procedimientos que tendrá para su comprobación (muestreo estadístico, etc.) y la documentación exigible para su acreditación (etiqueta, documento de acompañamiento, pasaporte fitosanitario, certificado viverista, etc.). En el caso de que se elabore un Plan de control de calidad se referirá al mismo.

- **Ejecución.** Hace referencia a la forma en que deben ejecutarse los trabajos, las máquinas y las herramientas que deben utilizarse y las pruebas y controles a los que debe someterse la operación efectuada. Se pueden aportar cualquier elemento gráfico que ayude a interpretar correctamente las disposiciones técnicas (figura 20.9).



Mala colocación, sin aporcado; hecho que puede implicar una colocación muy profunda limitando el crecimiento radical.



Correcta colocación con aporcado.

Figura 20.9. Ejemplo de elemento gráfico que puede incluirse en el pliego de prescripciones técnicas particulares; en este caso, sobre modo de colocación del tubo invernadero (fotos: J Pemán).

- **Medición y abono.** Se establecen las normas para la medición de los trabajos así como para su valoración. En el cálculo de las mediciones hay que evitar la ausencia de alguna de las unidades de obra, así como el cálculo incorrecto de las mismas. Para ello puede indicarse el empleo de técnicas distintas o que el cálculo de las mismas se efectúe por personas diferentes.

La elección de las unidades de medición de los trabajos debe permitir realizar fácilmente el abono de las diferentes unidades de obra. Por ello se recomienda la utilización de unidades de carácter lineal para la medición de trabajos lineales (kilómetro para subsolados, acaballonados o terrazas), las unidades de carácter areal para la medición de trabajos areales (hectárea para desbroces areales, etc.) y las de carácter puntual para este tipo de trabajos (millares para hoyos manuales). Cuando se calculan superficies sobre plano debe quedar claro cuál es la superficie objeto del proyecto, delimitando nítidamente los perímetros interior y exterior del mismo.

Los rendimientos de los diferentes trabajos deben estar adaptados a las condiciones de la superficie objeto del proyecto. Los precios elementales deben estar actualizados.

- **Tratamiento de las disconformidades.** Se establecen los criterios de medición para el tratamiento de las disconformidades entre las partes.

Disposiciones generales

Hace referencia a las consideraciones que no han tenido cabida en los capítulos anteriores. Aunque son muy variadas pueden hacer referencia a los siguientes aspectos: previos a la ejecución (obligaciones del contratista, dirección de obra, obtención de licencias y permisos, servidumbres, ocupaciones, acceso y señalización de la obra, señalización,

instalaciones auxiliares, etc.), durante la ejecución (acceso del promotor, libro de órdenes, control de calidad, modificaciones de unidades de obra, plazos de ejecución, limpieza de las obras, eliminación de residuos, vigilancia, condiciones físicas adversas, aprovechamiento de materiales, uso temporal de bienes, objetos y bienes hallados, etc.) y posteriores a la ejecución (retirada de materiales y limpieza del emplazamiento, comprobación de la recepción de la obra, conservación durante el plazo de garantía, etc.).

3.2.4. Presupuesto

Es el cuarto documento del proyecto y recoge su coste económico. Para obtenerlo es preciso, primero, realizar las mediciones de las distintas unidades de obra que lo componen y determinar el precio unitario de cada una de ellas, para que luego, al combinar ambos valores, se pueda obtener el coste total del mismo. Su estructura es la siguiente:

1. Mediciones
 - 1.1. Materiales
 - 1.2. Trabajos
2. Cuadro de precios
 - 2.1. Cuadro de precios nº 1
 - 2.2. Cuadro de precios nº 2 o de precios descompuestos
3. Presupuestos
 - 3.1. Presupuestos parciales
 - 3.2. Presupuesto general
 - 3.2.1. Presupuesto de ejecución material
 - 3.2.2. Presupuesto de contratación

Estado de mediciones

Es el conjunto de operaciones que se realiza sobre cada unidad de obra para obtener su cantidad. Se realizan sobre los planos del proyecto, de ahí la importancia de que estos estén a la escala adecuada que permitan calcular con precisión las diferentes unidades. Las mediciones suelen dividirse en capítulos. Para un proyecto de repoblación, estos pueden ser:

- **Materiales.** Determina la totalidad de cada tipo de material que va a emplearse en la ejecución de las obras (plantas, semillas, tubos protectores, hidrogeles, cerramientos, fertilizantes, etc.).
- **Trabajos.** Determina el volumen de cada unidad de obra expresada en las unidades definidas en el Pliego (kilómetros de subsolado, número de hoyos, kilómetros de caminos de acceso, etc.).

Cuadro de precios

En él se definen los precios de todas y cada una de las unidades de obra que intervienen en el proyecto. Se descompone en:

- **Cuadro de precios nº 1.** Es una consecuencia del Anejo de Justificación de precios y representa el precio de cada una de las unidades simples, o compuestas en su caso, del proyecto (tabla 20.8). Se expresa en letra y cifra el precio de ejecución material de cada unidad de obra. En el caso de que exista una falta de concordancia entre el precio en cifra y letra, prevalece esta última.
- **Cuadro de precios nº 2.** Es el cuadro de precios descompuestos que tiene por objeto facilitar la liquidación de la obra en el caso de se llegue a una paralización de la misma o a una rescisión del contrato (tabla 20.9). Se realiza a partir del anejo de justificación de precios, distinguiendo las distintas partes en las que puede ser ejecutada la unidad de obra. En los proyectos de repoblación tiene su utilidad para las unidades de obra compuestas como pudieran ser la de plantación o siembra y colocación de tubos protectores. En este sentido, este cuadro permitiría distinguir entre el coste de los materiales y los trabajos de plantación o siembra.

Presupuesto

Representa el coste de realización del proyecto para el que ejecuta la obra. Se confecciona combinando los precios definidos en el cuadro de precios nº 1 a las unidades de obra definidas y cuantificadas en el estado de mediciones. Se estructura en:

- **Presupuestos parciales.** Representa el coste de una unidad constructiva. En el caso de los proyectos de repoblación, esta unidad la representan los diferentes rodales considerados. En ocasiones pueden dividirse en capítulos, representando cada uno de ellos las unidades de obra afines (desbroce, tratamiento del suelo, plantación o siembra, etc.).
- **Presupuesto general.** Comprende el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) y el Presupuesto de Contratación. El Presupuesto de Ejecución Material se calcula sumando los presupuestos parciales y representa los costes directos de ejecución de la obra. Su valor final se expresa en letra y cifra. En el caso de que exista una falta de concordancia entre una y otra prevalece el expresado en letras. Debe llevar la firma del autor y la fecha. En hoja aparte se calcula el presupuesto de contratación añadiendo al PEM los costes indirectos derivados de los siguientes conceptos: gastos generales, beneficio industrial (art. 101.2 de la Ley 9/2017). En el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones públicas, aprobado por Real Decreto 1098/2001 (art.131), se explicita los valores de ambos conceptos, indicando que los gastos generales podrán establecerse, según las circunstancias concurrentes, entre el 13 y 17% y el beneficio industrial será del 6%. Ambos costes se calculan sobre el PEM. Posteriormente, a la suma del PEM, los gastos generales y el beneficio industrial se le aplica el IVA, que en la actualidad es del 21% (RDL 20/2012, de 13 de julio).

La ejecución de los proyectos de obras, en muchas Comunidades Autónomas y en la Administración del Estado, está gravada por una tasa administrativa en concepto de Dirección de Obra. El importe de esta tasa suele ser del 4,5% del Presupuesto de Ejecución Material y se abona, por parte del contratista, con anterioridad a la firma del contrato. En ocasiones, cuando el Presupuesto afecta a varias anualidades, se debe distribuir el presupuesto total en cada una de las anualidades que comprende su ejecución. La

distribución se realiza desglosando el PEM, los gastos generales, el beneficio industrial, el IVA y el Presupuesto de ejecución por contrata para cada anualidad. Asimismo, en el caso de un Proyecto que deba abonar una tasa administrativa, esta también se desglosa en cada anualidad. El documento debe llevar la firma del autor y la fecha.

Tabla 20.8. Ejemplo de cuadro de precios 1 aplicado a una repoblación forestal (fuente: adaptado de las tarifas de Tragsa 2019).

Código	Unidad	Concepto	Importe (€)
F01175	km	Subsolado siguiendo las curvas de nivel, con tractor de cadenas (171-190 CV) con <i>ripper</i> con dos rejonos separados 2 m, labrando a una profundidad superior a 50 cm, en suelos sueltos con pendiente entre el 20 y 30%	119,01 Ciento diecinueve euros con 1 céntimo
F02097	millar	Plantación manual con azada sobre suelo preparado mecánicamente en pendientes < 50%, en hoyos con suelo pedregoso, de mil plantas producidas en envase rígido de 250 cm ³ de volumen (no incluye precio de la planta)	779,25 Setecientos setenta y nueve euros con veinticinco céntimos

Tabla 20.9. Ejemplo de cuadro de precios 2 aplicado a una repoblación forestal (fuente: adaptado de las Tarifas de Tragsa 2019).

Código	Unidad	Concepto	Importe (€)
T001	millar	Plantación manual con azada sobre suelo preparado mecánicamente en pendientes < 50%, en hoyos con suelo pedregoso, de mil plantas de <i>Pinus halepensis</i> producidas en envase rígido de 250 cm ³ de volumen y con colocación de tubo invernadero de color verde claro, doble capa, de 0,6 m de altura y microperforado	2605,22
F02097	millar	Plantación manual con azada sobre suelo preparado mecánicamente en pendientes < 50%, en hoyos con suelo pedregoso, de mil plantas producidas en envase rígido de 250 cm ³ de volumen (no incluye precio de la planta)	779,25
PT012	millar	Colocación manual de tubo protector rígido de 60 cm de altura sin tutor	925,97
P08003	millar	Planta de <i>Pinus halepensis</i> de 1 savia, en contenedor de 300 cm ³ en vivero	250,00
	millar	Tubo protector invernadero color verde claro, doble capa, de 0,6 m de altura, microperforado	650,00

Resumen de posible estructura del proyecto de repoblación

Memoria

- ▶ 1. Objeto del Proyecto
- ▶ 2. Antecedentes
- ▶ 3. Bases del Proyecto
 - 3.1 Directrices del Proyecto
 - ▶ Objetivos
 - ▶ Condicionantes del promotor
 - ▶ Criterios de valor
 - 3.2. Condicionantes del Proyecto
 - ▶ Legales
 - ▶ Naturales
 - ▶ Forestales
 - ▶ Socioeconómicos
 - 3.3. Situación actual
- ▶ 4. Estudio de alternativas técnicas
- ▶ 5. Ingeniería del Proyecto
 - 5.1. Ingeniería del Proceso
 - 5.2. Ingeniería de las obras
- ▶ 6. Planificación de la ejecución
 - Evaluación de medios, programación temporal
- ▶ 7. Control de calidad de la obra
- ▶ 8. Seguridad y Salud
- ▶ 9. Evaluación ambiental
- ▶ 10. Presupuesto
- ▶ 11. Evaluación del Proyecto

Anejos a la memoria o memoria justificativa

- ▶ 1. Condicionantes del Proyecto
- ▶ 2. Estudio de alternativas técnicas
- ▶ 3. Ingeniería de las obras
- ▶ 4. Planificación de la ejecución
- ▶ 5. Justificación de precios
- ▶ 6. Control de Calidad
- ▶ 7. Evaluación del Proyecto

Cartografía

- ▶ Mapa de localización.
- ▶ Mapa de situación.
- ▶ Mapas y planos de ejecución de obra.
 - ▶ Mapa de Apeo definitivo de rodales de repoblación.
 - ▶ Mapa de infraestructuras auxiliares.
 - ▶ Otros mapas auxiliares (pendiente, geoforma, insolación, vegetación, altimetría, características del suelo, erosión, mapa de apeo previo de rodales, etc).
 - ▶ Plano de detalles constructivos (en su caso).

Pliego de prescripciones técnicas particulares

- ▶ Capítulo I: Objeto
- ▶ Capítulo II: Normativa
- ▶ Capítulo III: Descripción de las Obras
- ▶ Capítulo IV: Unidades de Obra
 - IV.1. Replanteo
 - IV.2. Materiales
 - IV.3. Ejecución
 - IV.4. Aceptación final
 - IV.5. Medición y abono
 - IV.6. Tratamiento de las disconformidades
- ▶ Capítulo V: Disposiciones generales

Presupuesto

- ▶ 1. Mediciones
 - 1.1. Materiales
 - 1.2. Trabajos
- ▶ 2. Cuadro de Precios
 - 2.1. Cuadro de precios nº 1
 - 2.2. Cuadro de precios nº 2 o de precios descompuestos
- ▶ 3. Presupuestos
 - 3.1. Presupuestos parciales
 - 3.2. Presupuesto general
 - 3.2.1. Presupuesto de Ejecución Material
 - 3.2.2. Presupuesto de Contratación

BIBLIOGRAFÍA

- Arranz JJ (2008) Representación del relieve. Instituto Geográfico Nacional, Madrid
- Comité Internacional de Pesas y Medidas (2006) Sistema Internacional de Unidades, 8ª ed. Organización Intergubernamental de la Convención del Metro
- García-Abril A, Martínez-de Anguita P, Beneitez J., Sarmiento M (2008) Proyectos ambientales. Dykinson, Madrid
- Gómez-Orea D, Gómez-Villarino M (2007) Consultoría e Ingeniería Ambiental. Madrid
- Gómez-Senent E (1997) Cuadernos de ingeniería de proyectos. Universidad Politécnica, Valencia
- Greuter W, Rankin R (2012) Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas. Real Jardín Botánico, Madrid
- Hernández L (2013) Estándares para la certificación de proyectos de restauración de ecosistemas forestales. En: Martínez-Ruiz C, Lario F, Fernández-Santos B (eds) Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación. pp 7-11
- Montero G, Ruiz-Peinado R, Muñoz M (2005) Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid
- Pellicer E (2006) El proyecto de construcción: pliego de prescripciones técnicas particulares. En: Martínez G, Pellicer E (eds) Organización y gestión de proyectos de obras. Mc Graw Hill, Madrid, pp 268-292
- Pellicer E, Sanz-Benlloch A, Catalá J (2004) El proceso proyecto-construcción. Valencia
- Pemán J, Navarro-Cerrillo R (1998) Repoblaciones Forestales. Universidad de Lleida, Lleida
- Ride WDL, Cogger HG, Dupuis C, et al. (1999) International Code of Zoological Nomenclature. International Trust for Zoological Nomenclature, London
- Ruiz de la Torre J (1990) Memoria General del Mapa Forestal de España (1:200.000). Instituto Geográfico Nacional, Madrid
- SER (2004) The SER International Primer on Ecological Restoration. Soc Ecol Restor Int Sci Policy Work Gr 1-15.
- Serrada R (2000) Apuntes de repoblaciones forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar-Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid
- Trueba JI (1985) Teoría de proyectos: morfología del proyecto. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid
- UNESCO (1973) Clasificación internacional y cartografía de la vegetación. UNESCO, París, p 102

Capítulo 21

La seguridad y salud laboral

Jesús PEMÁN GARCÍA, Jesús FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ,
José Manuel GALLEGO MARTÍN

1. Consideraciones sobre seguridad y salud en el ámbito de los trabajos forestales

El marco normativo de la seguridad y salud viene establecido por la normativa básica, la Ley 31/95 de prevención de riesgos laborales, de aplicación a todos los sectores y actividades, y por una serie de reales decretos de desarrollo que complementan dicha ley para las diferentes actividades. En la actualidad no existe ninguna normativa de desarrollo específica para el ámbito forestal. Normalmente este tipo de actividad se excluye de la aplicación de los reglamentos existentes, como, por ejemplo, el Real Decreto 486/97 sobre lugares de trabajo, donde quedan fuera de aplicación del objeto de la norma entre otras actividades: “b) Las obras de construcción temporales o móviles.... e) Los campos de cultivo, bosques y otros terrenos que formen parte de una empresa o centro de trabajo agrícola o forestal pero que estén situados fuera de la zona edificada de los mismos”.

Estas y otras actividades excluidas del Real Decreto 486/97 han desarrollado sus propios reglamentos, exceptuando las actividades del sector primario que no cuentan con normativa específica. Debido a la inexistencia de la misma, en pro de la seguridad laboral de la actividad que nos ocupa, no queda más remedio que analizar los diferentes reglamentos existentes para determinar su aplicabilidad y ver qué herramientas nos ofrecen para la mejora en este ámbito.

El Real Decreto 1627/97 por el cual se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, define: “a) Obra de construcción u obra: cualquier obra, pública o privada, en la que se efectúen trabajos de construcción o ingeniería civil cuya relación no exhaustiva figura en el anexo I”. Si bien es cierto que los trabajos

forestales no aparecen en el anexo I, sí aparecen conceptos como el movimiento de tierras tan necesario para el desempeño de la actividad forestal.

El concepto de obra esta matizado y completado en otras legislaciones como en la Ley 9/2017 de contratos del sector público que, en su artículo 13, entiende por “obra” el resultado de un conjunto de trabajos de construcción o de ingeniería civil, destinado a cumplir por sí mismo una función económica o técnica, que tenga por objeto un bien inmueble. También considera obra “la realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o de su vuelo, o de mejora del medio físico o natural”. Bajo estas acepciones queda claro que la afectación sobre un bien inmueble o el vuelo de un terreno (por ejemplo, el arbolado) se tiene que considerar una obra. Es importante remarcar la última consideración sobre los trabajos de mejora del medio físico o natural que también tendrán consideración de obra. Para acabar de definir si se considera o no obra a los trabajos forestales, vale la pena rescatar el Informe 10/2003 “Calificación de contratos que tienen por objeto actuaciones en el ámbito de conservación de monte y trabajos silvícolas” que suele licitar el Organismo Autónomo de Parques Nacionales. En este informe se concluye: “... la Junta Consultiva de Contratación Administrativa, reiterado su criterio expuesto anteriormente, entiende que todo trabajo relacionado con la acción sobre el terreno que en la expresión del Organismo consultando pretende transformar activamente la realidad de una zona natural en la que se incluyen, además de trabajos de repoblación forestal de nueva planta, trabajos de recuperación de zonas degradadas, actuaciones infraestructurales de mejora de habitats, tienen que ser considerados como contratos de obras, mientras que las labores de mantenimiento de habitats, que no supongan la introducción de nuevos pies, alteraciones del paisaje, ni cambios en la estructura de masas vegetales, entre las que se comprenden la retirada de residuos, podas simples sobre ramas muertas o trabajos similares son propias de contratos de servicios”. Bajo estas consideraciones, las diferentes tipologías de actividades en el ámbito de la gestión del medio natural se pueden enmarcar de acuerdo con el siguiente esquema:

- Obras:
 - Maquinaria: apertura y repaso de caminos
 - Trabajos selvícolas u otras afectaciones sobre arbolado vivo o muerto
 - Reforestaciones
 - Desbroces extensivos (prevención de incendios)
 - Áreas recreativas
- Servicios
 - Reposición de marras
 - Podas
 - Jardinería
 - Desbroces manuales puntuales

Como consecuencia del razonamiento anterior, cabe considerar a la gran mayoría de trabajos forestales como obras, y como tales será de aplicación el Real Decreto 1627/97. Para el resto de trabajos no considerados obra solo queda la aplicación de la ley básica de prevención de riesgos laborales.

1.1. El marco normativo

La normativa básica establecida para diferentes ámbitos pero que son de interés para los trabajos de carácter forestal, es la siguiente:

- Prevención de riesgos laborales
 - Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
 - Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por la que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
 - Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Seguridad Social
 - Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social.
 - Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación.
- Obras de construcción
 - Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Requisitos mínimos de seguridad y salud en los lugares de trabajo
 - Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
 - Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
 - Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
 - Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.
- Riesgos relacionados con la exposición a agentes durante el trabajo
 - Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
 - Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
 - Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
 - Real Decreto 1416/2001, de 14 de diciembre, sobre envases de productos fitosanitarios.

- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Equipos de protección individual
 - Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
 - Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
 - Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Máquinas
 - Orden CTE/2780/2003, de 8 de octubre, por la que se actualizan los anexos I y II del Real Decreto 2028/1986, de 6 junio, sobre las normas para la aplicación de determinadas directivas de la CE, relativas a la homologación de tipo de vehículos automóviles, remolques, semirremolques, motocicletas, ciclomotores y vehículos agrícolas, así como de partes y piezas de dichos vehículos.
 - Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
 - Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios.

2. La siniestralidad laboral en el ámbito forestal

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, los estudios de seguridad y salud son hoy necesarios en cualquier proyecto forestal, a pesar de que el Real Decreto 486/1997 sobre lugares de trabajo, el Real Decreto 664/1997 sobre exposición a agentes biológicos durante el trabajo y el Real Decreto 486/1997 por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los centros de trabajo hayan marginado, al menos de manera explícita, este ámbito de trabajo. En este contexto, se hace más necesario, por tanto, desarrollar y profundizar sobre los riesgos a los que están expuestos los trabajadores en las obras forestales y hacer hincapié en las medidas de prevención necesarias para evitarlos.

En los siguientes apartados, se considerará como “daños derivados del trabajo” a las enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo u ocasión del desarrollo de los trabajos forestales.

2.1. Accidentes de trabajo

Se entiende por accidente de trabajo toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o a consecuencia del trabajo que se ejecute por cuenta ajena (art. 115 de la Ley General de la Seguridad Social). La norma amplía en su articulado las situaciones susceptibles de considerarse como tal, mereciendo la pena destacar, por su frecuencia, los accidentes conocidos como *in itinere*, es decir, los que sufra el trabajador al ir o al volver del lugar de trabajo. En 2017, el 72% de los accidentes de trabajo se produjeron principalmente en el monte y el 20% durante el trayecto al mismo; el resto, en otros lugares de trabajo.

El índice de incidencia de la siniestralidad de este sector es el segundo más alto después de la minería (tabla 2.1). Este índice se calcula a partir de la relación entre el número de accidentes en un período de tiempo por cada mil trabajadores de empleo medio:

$$It = (\text{n}^\circ \text{ total de accidentes} \times 1000) / \text{n}^\circ \text{ promedio de personas expuestas}$$

Tabla 21.1. Índice de incidencia y accidentes labores en el ámbito de la selvicultura y la explotación forestal que han requerido la baja laboral desde el año 2007 al 2017 (UGT-CEC 2019).

Año	Índice de incidencia ⁽¹⁾	Totales	Leves	Graves	Mortales
2007	19084	4039	3977	54	9
2008	16335	3886	3818	59	9
2009	15868	3654	3591	52	11
2010	15256	3391	3343	40	8
2011	16861	3234	3182	41	11
2012	13876	2132	2089	41	2
2013	15391	3892	3817	67	8
2014	16913				
2015	17504				
2016	16357				
2017	16351	2924	2873	44	7
2018		2921	2871	44	6

⁽¹⁾ Número de accidentes anuales multiplicado por cien mil y dividido por la medida mensual de trabajadores afiliados a la Seguridad Social con la contingencia de accidentes de trabajo cubierta.

Las principales causas del número de accidentes que ocasionaron una baja laboral en 2017 fueron debidos movimientos corporales como consecuencia de esfuerzos físicos (27%), caídas de personas como consecuencia de resbalones o tropiezos (20%), pérdida del control de equipos de trabajo o materiales (17%) o por conducción o estar a bordo de un medio de transporte o equipo de carga (15%) (tabla 21.2).

Entre el tipo de lesiones a que dan origen estas heridas están las dislocaciones, los esguinces (42%), las heridas y lesiones superficiales (36%), las fracturas de huesos (8%) y las conmociones y lesiones internas (8%) (UGT-CEC 2019). Hay que destacar, también, que no se habían evaluado los riesgos en el 26% de los accidentes.

Tabla 21.2. Causa de los accidentes laborales en 2017 que han producido una baja laboral en el ámbito de la silvicultura y explotaciones forestales (UGT-CEC 2019).

Causa	Número de accidentes
Operaciones con máquinas	17
Trabajos con herramientas manuales	49
Conducir / estar a bordo de un medio de transporte o equipo de carga	440
Pérdida de control total o parcial de equipos de trabajo o materiales	499
Caída de personas, resbalón o tropezón con caída	580
Movimiento del cuerpo sin esfuerzo físico añadido	400
Movimiento del cuerpo como consecuencia de o con esfuerzo físico	791
Sorpresa, miedo, violencia, agresión, amenaza	22
Infartos, derrames cerebrales y otras causas naturales	2
Accidentes de tráfico	31
Otras causas	41
Sin información	52
Total	2924

2.2. Enfermedades profesionales

La Ley General de la Seguridad Social (Real Decreto Legislativo 1/1994) definen a las enfermedades profesionales como aquellas contraídas a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena en las actividades que se especifiquen y que estén provocadas por la acción de determinados elementos o sustancias específicos para cada enfermedad profesional (tabla 21.3). Las enfermedades especificadas se consideran de origen laboral sin necesidad de que el trabajador lo demuestre. Las enfermedades que se contraigan como consecuencia del trabajo (hecho que debe demostrarse) y que no estén contempladas en la normativa como enfermedades profesionales serán consideradas, a efectos legales, como accidentes de trabajo.

Las lesiones catalogadas como enfermedades profesionales no se hacen patentes hasta que haya transcurrido un período más o menos largo, como ocurre, entre otros, con los trastornos auditivos, la enfermedad de los dedos blancos o los dolores osteo-musculares.

Tabla 21.3. Enfermedades profesionales reconocidas en el ámbito forestal (Real Decreto 1299/2006).

Agente	Subagente	Actividad
Grupo 2. Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos		
A. Hipoacusia o sordera provocada por el ruido	<p>1. Sordera profesionales de tipo neurosensorial, frecuencias de 3 a 6 kHz, bilateral simétrica e irreversible. Trabajos que exponen a ruidos continuos cuyo nivel sonoro diario equivalente (según legislación vigente) sea igual o superior a 80 decibelios A, especialmente</p>	<p>2A0108</p> <p>Talado y corte de árboles con sierras portátiles</p>
B. Enfermedades osteoarticulares o angioneuróticas provocadas por las vibraciones mecánicas	<p>1. Afectación vascular</p>	<p>2b0101</p> <p>Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras</p>
E. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo	<p>2. Afectación osteoarticular</p>	<p>2B0201</p> <p>Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras</p>
	<p>1. Arrancamiento por fatiga de las apófisis espinosa</p>	<p>2E0101</p> <p>Trabajos de apaleo o de manipulación de cargas pesadas</p>

Agente	Subagente	Actividad
<p>F. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo: parálisis de los nervios debidos a la presión</p>	<p>3. Síndrome del canal de Guyon por compresión del nervio cubital en la muñeca</p>	<p>2F0301</p> <p>Trabajos en los que se produzca un apoyo prolongado y repetido de forma directa o indirecta sobre las correderas anatómicas que provocan lesiones nerviosas por compresión. Movimientos extremos de hiperflexión y de hiperextensión. Trabajos que entrañen compresión prolongada en la muñeca o de una presión mantenida o repetida sobre el talón de la mano, como ordeño de vacas, grabado, talla y pulido de vidrio, burilado, trabajo de zapatería, leñadores, herreros, peleteros, lanzadores de martillo, disco y jabalina</p>
	<p>4. Síndrome de compresión del ciático popliteo externo por compresión del mismo a nivel del cuello del peroné</p>	<p>2F0401</p> <p>Trabajos en los que se produzca un apoyo prolongado y repetido de forma directa o indirecta sobre las correderas anatómicas que provocan lesiones nerviosas por compresión. Movimientos extremos de hiperflexión y de hiperextensión. Trabajos que requieran posición prolongada en cuéllas, como empedradores, soladores, colocadores de parquet, jardineros y similares</p>
<p>G. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo</p>	<p>1. Lesiones del menisco por mecanismos de arrancamiento y compresión asociadas, dando lugar a fisuras o roturas completas</p>	<p>2G0101</p> <p>Trabajos que requieran posturas en hiperflexión de la rodilla en posición mantenida en cuéllas de manera prolongada como son: Trabajos en minas subterráneas, electricistas, soladores, instaladores de suelos de madera, fontaneros</p>
<p>Grupo 3. Enfermedades profesionales causadas por agentes biológicos</p>		
	<p>1. Enfermedades infecciosas o parasitarias transmitidas al hombre por los animales o por sus productos y cadáveres</p>	<p>3B0123</p> <p>Trabajos forestales</p>
		<p>3B0130</p> <p>Personal de conservación de la naturaleza</p>

Responsabilidad derivada del accidente de trabajo

(Fernández-Pallares 2013)

"El Código Penal (Ley Orgánica 10/1995) tipifica como delito la infracción de las normas de prevención de riesgos laborales cuando, estando legalmente obligado a ello, el empresario no facilite los medios necesarios para que los trabajadores desempeñen su actividad con las medidas de seguridad e higiene adecuadas, de forma que pongan así en peligro grave su vida, salud o integridad física. La pena que establece es de seis meses a tres años de prisión y multa de seis a doce meses. Cuando se considere que este delito se ha producido por imprudencia grave, será castigado con la pena de inferior grado. Cuando en la comisión de estos delitos estén implicadas personas jurídicas, se impondrá la pena a los administradores o encargados del servicio que hayan sido responsables de los mismos y a quienes, conociéndolos y pudiendo remediarlos, no hubieran adoptado las medidas para ello (artículos 316-318). Es decir, solo las personas físicas pueden ser procesadas, aunque la persona jurídica podría ser condenada como responsable subsidiaria. Si el accidente laboral conlleva la muerte del trabajador, podría imputarse el cargo de homicidio imprudente. En sentido, el Código Penal establece que:

- Si la imprudencia es tipificada como grave, será castigado con la pena de prisión de uno a cuatro años. Conllevará, además, la pena de inhabilitación especial para el ejercicio de la profesión, oficio o cargo por un período de tres a seis años.
- Si la imprudencia es tipificada como menos grave será castigado con la pena de multa de tres meses a dieciocho meses.

Si el accidente de trabajo fuese considerado como delito por parte del órgano judicial competente, el trabajador o sus herederos podrían reclamar una indemnización por daños y perjuicios en el mismo proceso. La indemnización se determina conforme al baremo de accidentes de circulación, a falta de uno específico para accidentes laborales (Ley 35/2015, de 22 de septiembre). Según este baremo, tienen derecho a indemnización los daños por muerte, secuelas y lesiones temporales. En cada uno de estos daños se pueden reparar los perjuicios personales básicos, particulares y patrimoniales. Los responsables penales son directamente responsables de la indemnización por daños y perjuicios. La persona jurídica será, también, responsable solidaria del pago de la indemnización a la víctima si el patrimonio del responsable penal no fuera suficiente para cubrir el importe de la misma.

El accidente laboral puede ser también motivo de sanción administrativa. Las sanciones correspondientes a las infracciones en materia de prevención de riesgos laborales consisten en una multa que oscila en función de la gravedad de la misma. Estas multas están tipificadas en el Texto Refundido sobre la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social (Real Decreto Ley 5/2000). Si, como consecuencia del accidente sufrido por el trabajador, se derivan prestaciones de la Seguridad Social para éste o para sus herederos (por incapacidad temporal, permanente, etc.), éstas se verán incrementadas en un porcentaje comprendido entre el 30 y 50%. Ahora bien, no todo accidente de trabajo conlleva la imposición de este recargo de prestaciones. Para ello, la lesión deberá producirse por causa de máquinas, artefactos o en instalaciones, centros o lugares de trabajo que carezcan de los dispositivos de precaución reglamentarios, o éstos se tengan inutilizados o en malas condiciones, o cuando no se hayan observado las medidas generales o particulares de seguridad e higiene en el trabajo. Asimismo, deberán tomarse en consideración las características relativas a la edad, sexo y demás condiciones del trabajador. Esta responsabilidad se impone sobre el empresario infractor, es decir, sobre aquél que haya incumplido las obligaciones preventivas y que no necesariamente debe ser el empleador del trabajador accidentado.

3. Los riesgos laborales

Tradicionalmente se han distinguido, atendiendo a la naturaleza u origen de los agentes y factores de riesgo, las siguientes categorías (Millán 1996): i) riesgos provocados por agentes mecánicos, ii) riesgos ocasionados por agentes físicos, iii) riesgos provocados por agentes químicos, iv) riesgos originados por agentes biológicos, v) riesgos provocados por la carga de trabajo y vi) riesgos ocasionados por factores psicológicos y sociales. El concepto de seguridad hace referencia a los riesgos provocado por los agente mecánicos mientras que el de salud al resto de los riesgos.

3.1. Riesgos provocados por agentes mecánicos

Hacen referencia al ambiente mecánico del trabajo, es decir, a los riesgos provocados por los espacios de trabajo, las máquinas y las herramientas manuales.

- Espacio de trabajo. Partiendo de que el monte es el espacio de trabajo, los riesgos que cabría considerar en este apartado serían producto de caídas al mismo o distinto nivel, choque con objetos móviles o inmóviles, etc.
- Herramientas manuales. Los principales riesgos asociados a la utilización de herramientas manuales son: golpes y cortes en manos ocasionados por las propias herramientas durante el trabajo, golpes en diferentes partes del cuerpo por despido de la propia herramienta o del material sobre el que se esté trabajando, esguinces por sobreesfuerzos o gestos violentos, lesiones en ojos o cara por partículas proyectadas. Las principales causas que originan estos riesgos son: el abuso de la herramienta para la realización de cualquier operación, el uso de herramientas inadecuadas, defectuosas, de mala calidad o mal diseñadas, el uso de herramientas de forma incorrecta, herramientas abandonadas en lugares peligrosos, herramientas transportadas de forma peligrosa y herramientas mal conservadas.
- Máquinas. Los principales riesgos asociados a las máquinas son: los vuelcos, atropellos, atrapamientos, aplastamientos y la proyección de partículas.

3.2. Riesgos ocasionados por agentes físicos

Hacen referencia al ambiente físico del trabajo, es decir, a los riesgos provocados por: el ruido, las vibraciones, las radiaciones, la iluminación, el calor, el frío, la electricidad, los incendios y las explosiones. En las repoblaciones forestales, los que tienen una mayor relevancia son: i) el ruido, ii) las vibraciones, iii) el calor y el frío e iv) los incendios y las explosiones.

3.2.1. Ruido

El ruido produce lesiones fisiológicas o psicológicas, siendo la más grave de todas ellas la sordera profesional. Según lo dispuesto por el Real Decreto 286/2006, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria equivalente ($L_{Aeq,d}$) y a los niveles de pico (L_{pico}) (tabla 21.4).

En las repoblaciones forestales los niveles de ruido que pueden constituir un riesgo para el trabajador son los que corresponden al empleo de algunas máquinas como es el caso de las ahoyadoras y motodesbrozadoras (tabla 21.5), y al empleo de tractores con diferentes aperos (figura 21.1).

Tabla 21.4. Valores límite de exposición sonora que dan lugar a una acción que establece el Real Decreto 286/2006.

Herramienta	Exposición diaria equivalente (LAeq,d) dB (A)	Nivel de pico (Lpico) dB(C)
Límite	87	140
Valor superior que da lugar a una acción	85	137
Valor inferior que da lugar a una acción	80	135

Tabla 21.5. Niveles equivalentes de presión sonora de algunas máquinas motorizadas utilizadas en la repoblación forestal.

Herramienta	Nivel equivalente de presión sonora (LAeq,T) dB(A)
Motodesbrozadoras Sthil FS 510 CEM	117
Ahoyadora Sthil BT 131	100



Operario con motodesbrozadora (foto: J Pemán).



Operario con ahoyadora (foto: J Armó).

Figura 21.1. Ejemplos de maquinaria que requiere el uso de protectores acústicos.

En el caso del uso de máquinas, el ruido al que está expuesto el trabajador debe considerar el nivel de pico, que corresponde al momento de máxima aceleración de la motodesbrozadora o ahoyadora cuando está haciendo la operación, y el nivel continuo, cuando la máquina está al ralentí en el período de desplazamiento del operario. Los valores registrados en la tabla 21.5 indican claramente la necesidad de dotar a los operarios de esta máquinas del EPI correspondiente que reduzca su exposición al ruido.

La exposición al ruido puede ocasionar hipoacusia, alteraciones del sueño, excitabilidad, pérdida de capacidad de atención y reacción, etc. Para atenuar el ruido, los usuarios de estas máquinas deberán ir provistos de protectores auditivos.

3.2.2. Vibraciones

De acuerdo con lo establecido por el Real Decreto 1311/2005, la evaluación del riesgo derivado de la exposición a vibraciones mecánicas debe realizarse determinando el valor del parámetro A(8), que representa el valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de 8 horas. Conocidos el valor de la aceleración eficaz de la vibración a que está sometido el trabajador y el tiempo de exposición a la misma, puede calcularse el valor de A(8). El cálculo de este parámetro se hará de manera diferente según se trate de vibraciones mano-brazo o de cuerpo entero. Stihl ofrece una calculadora *online* para la estimación de la vibración diaria a la que el trabajador está expuesto (STIHL 2019). Los valores que dan lugar a una acción y los valores límite admitidos son (Real Decreto 1311/2005):

- Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo: valor que da lugar a una acción $2,5 \text{ m s}^{-2}$ y 5 m s^{-2} valor límite.
- Vibraciones transmitidas al cuerpo entero: valor que da lugar a una acción $0,5 \text{ m s}^{-2}$ y $1,15 \text{ m s}^{-2}$ valor límite.

En las repoblaciones forestales los niveles de vibración que pueden constituir un riesgo para el trabajador son los que corresponden al empleo de algunas máquinas como es el caso de las ahoyadoras y motodesbrozadoras (tabla 21.6). Normalmente la eliminación de este riesgo se afronta en el origen dotando a las máquinas de los dispositivos que disminuyan el mismo y realizando un correcto mantenimiento. En este sentido, es esencial el correcto mantenimiento de los sistemas de amortiguación, *silentblocks*, que separan el motor de la parte de sujeción. Si las vibraciones superan el umbral podrá utilizarse unos guantes antivibratorios (Antón y Muñoz 2012).

Producen principalmente déficits en el aparato circulatorio, acolchando los dedos de las manos, hinchazones, dolores en las articulaciones, etc.

Tabla 21.6. Niveles de vibración de algunas máquinas herramientas utilizadas en la repoblación (<https://www.stihl.es/informacion-sobre-la-directiva-para-vibraciones-2002-44-CE.aspx>).

Máquina	Carga de vibración diaria A(8) transmitida al sistema mano-brazo (m s^{-2})	Características de la medición
Motodesbrozadoras Stihl FS 510 CEM	2 ⁽¹⁾	Empuñadura izquierda
	2 ⁽¹⁾	Empuñadura derecha
Ahoyadora Stihl BT 131 90 mm	1,7 ⁽²⁾	Empuñadura izquierda
	2 ⁽²⁾	Empuñadura derecha

⁽¹⁾ Considerando 3,5 h de tiempo diario de exposición.

⁽²⁾ Considerando 3 h de tiempo diario de exposición.

3.2.3. Calor y frío

Los efectos del calor o el frío son, lógicamente, producto de las condiciones termohigrométricas del lugar de trabajo que, en nuestro caso, es el monte. Estos efectos

son variables: desde el estrés térmico (golpes de calor), que puede provocar fiebre, pérdidas de conciencia o hipotensión, hasta los principios de congelación originados por unas condiciones de bajas temperaturas. Para el caso de las altas temperaturas, se ha definido unos niveles de alerta en función del concepto de sensación térmica según la temperatura ambiental, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento (tablas 21.7 y 21.8).

Tabla 21.7. Niveles de riesgo por altas temperaturas (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007).

Categoría del peligro	Sensación térmica (°C)	Síndrome que produce
Extremo peligro	> 55	Golpe de calor, insolación inminente
Peligro	40 a 55	Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física
Precaución extrema	32 a 40	Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física
Precaución	27 a 32	Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física

En el caso de las bajas temperaturas, si la temperatura central del cuerpo humano desciende por debajo de los 35 °C, se produce una situación en la que el organismo no es capaz de generar el calor necesario para garantizar el mantenimiento adecuado de las funciones fisiológicas. Cuando el flujo de calor cedido al ambiente es excesivo, la temperatura del cuerpo desciende y existe riesgo de sufrir estrés por frío. Los efectos clínicos de la exposición al frío son inmediatos: entumecimientos, escalofríos, disfunción neuromuscular, congelaciones, etc. La consecuencia más grave de la exposición al frío es la hipotermia (tabla 21.9).

La determinación del enfriamiento local por convección se puede consultar en Molowny y Luna (2015).

3.2.4. Incendios y explosiones

En los incendios cabe valorar tanto el riesgo de que tenga lugar un incendio forestal en el monte o que se produzca un incendio por el manejo de sustancias inflamables, por ejemplo, la gasolina utilizada como carburante de las máquinas. En cuanto a las explosiones, el riesgo hace referencia tanto a las producidas por el manejo de explosivos comerciales, como por la concentración de ciertos vapores o gases inflamables.

3.3. Agentes químicos

Hacen referencia a los contaminantes químicos que están presentes en el aire en forma de gases, vapores o aerosoles producto del desarrollo del propio trabajo (tratamientos con fitocidas o insecticidas). La importancia de estos agentes en cuanto a la seguridad y la salud se mide en función de su toxicidad. En el ámbito de la repoblación forestal el uso de fitocidas y el polvo podría ser los causantes de problemas respiratorios.

Tabla 21.8. Sensación térmica en función de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Al valor obtenido por la temperatura y humedad relativa habrá que sumar o restar las unidades según la velocidad del viento (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007).

Temp. (°C)	Humedad relativa (%)															Velocidad viento (km h ⁻¹)												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	< 12,5 a 12,5	12,5 a 21,5	21,5 a 36	36 a 50	> 50		
	20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	0	-1	-3	-4	-4
21	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	0	-1	-3	-4	-4
22	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	23	24	0	-1	-2	-3	-4	
23	20	20	20	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	25	25	0	-1	-2	-3	-4	
24	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	0	-1	-2	-3	-4	
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	27	27	27	27	27	28	28	0	-1	-2	-3	-4	
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	0	-1	-2	-3	-3	
27	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	31	33	0	-1	-2	-3	-3	
28	26	26	26	26	27	27	28	28	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	34	36	0	-1	-2	-3	-3	
29	26	26	27	27	27	28	29	29	29	29	30	30	31	33	33	34	35	35	37	38	40	40	0	0	-1	-2	-3	
30	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	0	0	-1	-2	-2	
31	28	28	29	29	29	30	31	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	50	50	0	0	-1	-2	-2	
32	29	29	29	29	30	31	31	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	51	55	55	0	0	-1	-1	-1	
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	54	55	55	0	0	0	-1	-1	
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55				0	0	0	0	0	
35	31	32	32	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55						0	0	0	0	1	
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55							0	0	0	1	1	
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55									0	0	0	1	2	
38	33	34	35	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55										0	0	0	1	2	
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55											0	0	1	2	2	
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55												0	0	1	2	3	
41	35	36	38	40	41	44	45	49	50	55													0	0	1	2	3	
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55													0	0	1	2	3	
43	37	38	40	42	44	47	49	53	55														0	0	1	2	3	
44	38	39	41	44	45	49	52	55															0	0	1	2	3	
45	38	40	42	45	47	50	54	55															0	0	1	2	3	

Tabla 21.9. Consecuencias de las bajas temperaturas en el trabajador. sensación térmica combinando la temperatura y la velocidad del viento (t_{wc}) (amarillo: riesgo 1 - frío molesto; naranja: riesgo 2 - muy frío, riesgo de congelación de la piel; rojo: frío intenso, riesgo de congelación profunda en 10 minutos) (Monroy y Luna 2015).

Velocidad del viento en el suelo (km h^{-1})	Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)					
	5	0	-5	-10	-15	-20
5	3,3	-2,6	-8,4	-14,3	-20,1	-26,0
10	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1
15	0,8	-5,6	-12,0	-18,3	-24,7	-31,1
20	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6
25	-0,5	-7,2	-13,8	-20,5	-27,1	-33,8
30	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8
35	-1,5	-8,3	-15,2	-22,0	-28,8	-35,7
40	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5
45	-2,2	-9,2	-16,2	-23,2	-30,2	-37,2
50	-2,5	-9,6	-16,6	-23,7	-30,8	-37,8
55	-2,8	-9,9	-17,0	-24,2	-31,3	-38,4

3.4. Agentes biológicos

Para los trabajos forestales en el monte, cabría considerar que estos agentes hacen referencia al ambiente biológico del trabajo referido a las especies de la flora y fauna que están presentes en el mismo y que pueden ocasionar algún daño al trabajador (Sanz 1982; Rivera y Obón de Castro 1991; Valledor de Lozoya 1994). Los daños más relevantes son: las picaduras, los arañazos ocasionados por el roce con la vegetación espinosa y las intoxicaciones producidas por la ingestión o el contacto con plantas tóxicas (tabla 21.10).

Las enfermedades que pueden ocasionar los contaminantes biológicos, como bacterias, protozoos, virus, hongos y gusanos parásitos, son muy numerosas (Culver 2014).

3.5. Carga de trabajo

Hace referencia a los riesgos provocados por la realización del trabajo en una posición inadecuada o por una cantidad de trabajo que exija al trabajador un sobreesfuerzo físico o psíquico que supere su capacidad. Los efectos que pueden producir en el trabajador son la fatiga física o psíquica.

Cuando la carga de trabajo hace referencia a la manipulación manual de cargas, debe tenerse en cuenta que toda carga superior a 3 kg puede entrañar un potencial de riesgo dorsolumbar; por ello, debe realizarse una evaluación del mismo. Existen diferentes ecuaciones que pretenden evaluar el manejo de cargas en el trabajo, siendo una de las más utilizadas la ecuación del NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*). Este método determina el límite de peso recomendado a partir de una ecuación en la que

Tabla 21.10. Riesgos biológicos producidos por la acción de los animales (Sanz 1982, Valledor de Lozoya 1994).

Especie	Daños y hábitat	Síntomas
Insectos		
Procesionaria (<i>Taumatopoea pytiocampa</i>)	Frecuente en pinares. Forman bolsones típicos en la parte aérea. Cuando se desplazan forman largas hileras.	Dermatitis, conjuntivitis, alergias respiratorias, rinitis
Lagarta cola parda (<i>Euproctis chryorrhoea</i>)	Defoliadora de frondosas. Mediada la primavera cuando las orugas ya son adultas, es cuando desarrollan pelos urticantes.	Irritación, lesiones eritematosas, urticaria, erupciones vesiculosas
Pulgas (<i>Pulex irritans</i>)	Parásito del hombre y otros animales domésticos.	Dolor vivo, instaniáneo, prurito, eritema y ligero edema. A veces náuseas, vómitos, dolor abdominal, fiebre, cefalea, etc. Pueden producir reacciones anafilácticas
Abejas (<i>Apis mellifica</i>) y avispas (<i>Vespa vulgaris</i>)	Pican si se les perturba en sus colmenas	
Arácnidos		
Araña negra mediterránea (<i>Latrodectes tredecimguttatus</i>)	Plantas o arbustos en lugares soleados, muros, pedregales.	Dolor y síntomas locales. A veces, no son perceptibles, aunque posteriormente se presentan dolores por todo el cuerpo, ardor o escozor en la planta de los pies, calambres y espasmos musculares, rigidez de la pared abdominal, retención urinaria, etc. Mortalidad: muy baja
Escorpión amarillo o alacrán (<i>Buthus occitanus</i>)	Zonas áridas y calurosas de la Península. Comportamiento nocturno, el día lo pasa bajo las piedras o en sus madrigueras.	Cuando permanecen fijas durante días pueden producir picor y dolor local, esquimosis e incluso alguna úlcera necrótica. Pueden ser transmisores de enfermedades infecciosas.
Garrapatas (géneros <i>Dermacentor</i> , <i>Amblyomma</i> , <i>Ixodes</i>)	Son ectoparásitos de mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Están entre la hierba y la vegetación esperando el paso de algún animal para instalarse en el y parasitarle.	
Miriápodo		
Escolopendra (<i>Scolopendra cingulata</i> , <i>S.morsitans</i>)	Comportamiento diurno. Por el día están bajo las piedras, troncos, en la corteza.	Dolor y síntomas locales. A veces, no son perceptibles, aunque posteriormente se presentan dolores por todo el cuerpo, ardor o escozor en la planta de los pies, calambres y espasmos musculares, rigidez de la pared abdominal, retención urinaria, etc. Mortalidad: muy baja
Víboras		
Víbora hocicuada (<i>Vipera latasti</i>)	Toda la Península a excepción del N de Galicia, Cordillera Cantábrica, Pirineos y País Vasco.	Dolor intenso, edema local, cefalea, vómitos, taquicardia e hipertensión arterial. Mortalidad: muy baja (1%), si se asiste por un médico durante las primeras 24 h.
Víbora áspid (<i>Vipera aspis</i>)	País Vasco y Pirineos	
Víbora europea (<i>Vipera berus</i>)	Galicia, Cordillera Cantábrica y Pirineos	
Víbora de Seoane (<i>Vipera seoanei</i>)	Galicia, Cordillera Cantábrica, y País Vasco.	

intervienen siete factores, así como el índice de riesgo asociado a partir del cociente entre la carga levantada y el límite de peso recomendado (Nogareda y Canosa 1998). En esta ecuación del NIOSH, la constante de carga, entendida como el peso máximo recomendado para un levantamiento bajo condiciones óptimas, con un buen asidero de la carga y levantando la carga menos de 25 cm, quedó fijado en 23 kg.

En la repoblación forestal, la manipulación manual de cargas hace referencia a la carga de la bandeja de plantas y de la herramienta por parte del obrero plantador. Las bandejas de 70 alveolos de 200 cm³, cuando el sustrato está a capacidad de campo, pueden llegar a alcanzar los 25 kg de peso (figura 21.2).



Figura 21.2. Obrero plantador con bandeja de 70 alveolos que puede exceder el límite de la carga manual tolerable (foto: J Pemán).

3.6. Factores psicológicos y sociales

Hacen referencia a aquellas condiciones que se encuentran presentes en una situación laboral y que están directamente relacionadas con la organización, el contenido del trabajo y la realización de la tarea y que tienen capacidad para afectar tanto al bienestar y salud del trabajador como al desarrollo del trabajo (jornada de trabajo, turnos, ritmo, tipo de dirección, niveles de información, etc.). Los efectos que pueden producir en el trabajador son la insatisfacción o el estrés, de los que pueden derivarse comportamientos que pueden producir accidentes.

4. La prevención de los riesgos laborales

La normativa de prevención establece una serie de obligaciones para empresas y trabajadores con objeto de que no se produzcan accidentes laborales o enfermedades profesionales. Según la Ley 31/1995, la política en materia de prevención tendrá por objeto la promoción de la mejora de las condiciones de trabajo dirigida a elevar el nivel de protección de la seguridad y la salud de los trabajadores. Los principios que inspiran las medidas de prevención a aplicar por el empresario, son los siguientes:

- Evitar los riesgos.
- Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.

- Combatir los riesgos en origen.
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de puestos de trabajo, con el objetivo de reducir el trabajo monótono y repetitivo y los efectos del mismo en la salud.
- Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
- Planificar la prevención.
- Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

La acción preventiva en la empresa debe planificarla el empresario, a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores, que se realizará teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad. Esta evaluación va dirigida a estimar la magnitud de los riesgos que no han podido evitarse, de manera que el empresario pueda tomar una decisión sobre las medidas preventivas que se deben adoptar. La evaluación del riesgo debe responder a la pregunta siguiente: ¿es segura la situación de trabajo analizada? En este proceso de evaluación cabe distinguir las siguientes etapas:

- **Análisis del riesgo.** Se compone de una identificación del peligro y una estimación del riesgo, mediante la valoración conjunta de la probabilidad y las consecuencias de que se materialice el peligro (tabla 21.11).
- **Valoración del riesgo.** Con el valor del riesgo obtenido y con la comparación con el riesgo tolerable se emite un juicio. Si de este juicio se concluye que el riesgo no es tolerable, hay que controlar el riesgo. La valoración del riesgo se realiza a partir de la estimación de la severidad del daño (ligeramente dañino, dañino, extremadamente dañino) y la probabilidad de que ocurra el daño (baja, media, alta). Un método sencillo de evaluación consistiría en cruzar los diferentes niveles de estas variables (tabla 21.11).

Tabla 21.11. Niveles de riesgo en función de la probabilidad y las consecuencias (INSHT 1998).

Probabilidad	Consecuencias		
	Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
Media	Tolerable	Moderado	Importante
Alta	Moderado	Importante	Intolerable

Cuando de la evaluación realizada resulte necesaria la adopción de medidas preventivas, deberán ponerse de manifiesto las situaciones en que sea necesario:

- Eliminar o reducir el riesgo mediante medidas de prevención en origen, organizativas de protección colectiva, de protección individual o de información o formación de los trabajadores.

- Controlar periódicamente las condiciones, la organización y los métodos de trabajo y el estado de salud de los trabajadores.

La documentación que se debe elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral será la siguiente:

- Evaluación de los riesgos para la seguridad y salud en el trabajo y planificación de la acción preventiva.
- Medidas de protección y de prevención a adoptar, y en su caso, material de protección que deba utilizarse.
- Resultado de los controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores.
- Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores.
- Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que hayan causado al trabajador una incapacidad laboral superior a un día de trabajo.

Las obligaciones de los trabajadores en materia de prevención son las siguientes:

- Velar, según sus posibilidades y mediante el cumplimiento de las medidas de prevención, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional.
- Usar adecuadamente las máquinas, herramientas y materiales.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección.
- No modificar ni anular, y utilizar correctamente, los dispositivos de seguridad.
- Informar de inmediato cualquier situación que entrañe riesgos.
- Cooperar con el empresario para que éste pueda garantizar unas condiciones de trabajo seguras.
- Recibir formación adecuada en materia preventiva.

La evaluación inicial de riesgos deberá realizarse en todos y cada uno de los puestos de trabajo, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo existentes o previstas y las condiciones particulares del trabajador que las desarrolle.

La labor de difusión del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) realiza una labor de difusión de los conocimientos y requerimientos necesarios para facilitar la aplicación de las normas en materia de prevención de riesgos laborales. Un buen ejemplo son la colección de Notas Técnicas de Prevención (NTP), las fichas de divulgación normativa (FDN) o las Guías técnicas (GT). La colección de NTP obedece al propósito del INSHT de facilitar a los agentes sociales y a los profesionales de la prevención de riesgos laborales herramientas técnicas de consulta. Estos documentos no son vinculantes, ni de obligado cumplimiento. Pretenden facilitar la aplicación técnica de las exigencias legales. Las FDN son documentos informativos que recogen, de manera

sencilla, los conceptos técnicos y legales del tema tratado y facilitan las fuentes o caminos que deben seguirse para obtener la información adicional que se precise. Las publicaciones de interés para la prevención de riesgos laborales en los trabajos forestales son las siguientes:

- Agentes físicos
 - NTP 1036: Estrés por frío (I). Año 2015
 - NTP 1037: Estrés por frío (II). Año 2015
 - Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido
 - FDN-9: Ruidos emitidos por las máquinas. Año 2013
 - NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos. Año 1991
 - NTP 950: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): incertidumbre de la medición. Año 2012
 - NTP 951: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias. Año 2012
 - NTP 952: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (III): ejemplos de aplicación. Año 2012
 - NTP 960: Ruido: control de la exposición (I). Programa de medidas técnicas o de organización. Año 2012
 - Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas
 - NTP 792: Evaluación de la exposición a la vibración mano-brazo. Evaluación por estimación. Año 2008
 - NTP 839: Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo. Año 2009
 - NTP 922: Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (I). Año 2011
 - NTP 923: Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (II). Año 2011
 - NTP 963: Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos. Año 2013
 - NTP 1068: Vibraciones: alternativas para evaluar el riesgo de vibraciones. Estimación
 - NTP 378: Recipientes metálicos para líquidos inflamables
- Agentes biológicos
 - NTP 1020: Riesgos biológicos en silvicultura, explotación forestal y jardinería: prevención
- Agentes químicos
 - NTP 883: Productos fitosanitarios: medidas preventivas en los equipos de aplicación. Año 2010
 - NTP 1067: Pulverizador de productos fitosanitarios: requisitos de inspección
 - NTP 1047: Pulverizador de productos fitosanitarios: seguridad
 - NTP 1033: Productos fitosanitarios: prevención de riesgos durante su uso. Año 2015
 - NTP 1005: Inspección de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios. Año 2014

- Carga de trabajo
 - Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la Manipulación manual de cargas
 - NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH. Año 1998
 - NTP 964: Carga física en jardinería: principales riesgos y sus consecuencias para la salud. Año 2013
 - NTP 965: Carga física en jardinería: métodos de evaluación y medidas preventivas. Año 2013
- Maquinaria
 - FDN-25 Tractores: comercialización y uso. Año 2011
 - NTP 259: Tractor agrícola: prevención del vuelco. Año 1989
 - NTP 1086: Tractor agrícola: estabilidad frente al vuelco
 - NTP 1087: Tractor agrícola: prevención del riesgo de vuelco
 - NTP 868: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (I). Año 2010
 - NTP 869: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (II). Año 2010
 - NTP 1038: Dispositivos de sujeción de equipos de trabajo y cargas diversas sobre vehículos de transporte: seguridad. Año 2015
 - NTP 774: Sistemas anticaídas. Componentes y elementos. Año 2007
- Equipos de protección individual
 - Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual
 - FDN-7: Selección y uso de los Equipos de Protección Individual. Año 2010
 - NTP 227: Calzado de seguridad contra riesgos mecánicos: Guías para la elección, uso y mantenimiento
 - NTP 813: Calzado para protección individual: especificaciones, clasificación y marcado. Año 2008
 - NTP 228: Cascos de protección: Guías para la elección, uso y mantenimiento. Año 1989
 - NTP 747: Guantes de protección: requisitos generales
 - NTP 882: Guantes de protección contra riesgos mecánicos. Año 2010
 - NTP 748: Guantes de protección contra productos químicos. Año 2006
 - FDN-13: Comercialización de los protectores auditivos tipo orejeras. Año 2010
 - NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos. Año 2003
 - NTP 980: Protectores auditivos: orejeras dependientes del nivel. Año 2013
 - NTP 929: Ropa de protección contra productos químicos. Año 2012
 - FDN-17: Selección de pantallas faciales y gafas de protección. Año 2009
- Señalización
 - Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo
- Obras de construcción
 - Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción

5. La seguridad y salud en los proyectos de obra

El análisis de la seguridad y salud de las repoblaciones forestales debe realizarse atendiendo a lo dispuesto en el RD 1627/1997, como proyecto de obra que es. En dicho análisis conviene hacer referencia especial a diferentes aspectos, como son: i) los actores ii) los estudios que deberán acompañar al proyecto y que son competencia del promotor y iii) el plan de seguridad que deberá elaborar la empresa que ejecuta el proyecto.

5.1. Los actores

A los actores que participan en el proyecto de obra (ver apartado 20.2 del capítulo 20), el Real Decreto 1627/1997 les asigna unas competencias y responsabilidades en materia de seguridad y salud, a la vez que incorpora otros actores que pueden participar tanto en la fase de elaboración del proyecto como en su fase de ejecución para coordinar la aplicación de las medidas de prevención y seguridad establecidas (figura 21.3).

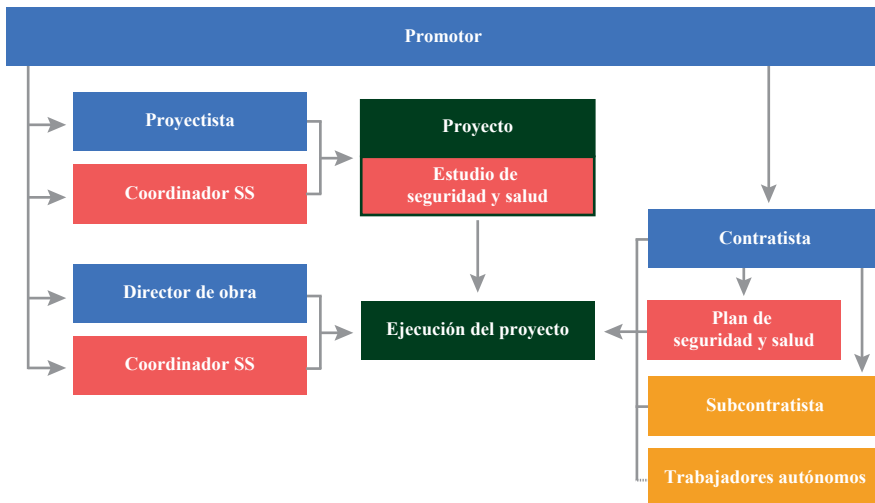


Figura 21.3. Actores que participan en la elaboración y ejecución de un proyecto de obra.

Las competencias que se establecen para los diferentes actores son las siguientes:

- **Promotor.** Nombra al proyectista y al director de obra y contrata a una empresa para la ejecución del proyecto. Está obligado a que, en la fase de redacción del proyecto, se elaboren los estudios de seguridad y salud que correspondan según lo establecido por la normativa vigente. Para ello puede designar, también, a un coordinador de seguridad y salud en el proyecto. Realizará el aviso previo, a la autoridad laboral, de apertura del centro de trabajo y velará para que el contratista haga la comunicación de apertura de centro de trabajo, incluyendo su plan de seguridad y salud.
- **Proyectista.** Deberá redactar el proyecto y el estudio de seguridad y salud que corresponda al proyecto, tomando en consideración los principios generales de prevención establecidos en la normativa vigente.

- **Coordinador de seguridad y salud.** Deberá ser un técnico competente, designado por el promotor, cuya función será coordinar, durante la elaboración del proyecto o durante su ejecución, la aplicación de los principios generales de la prevención en materia de seguridad y salud. La norma establece su necesidad en fase de proyecto cuando intervengan varios proyectistas y en la fase de ejecución cuando intervenga más de una empresa o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos. Se considera técnico competente aquel que posea la titulación académica y profesional habilitante. Dichas titulaciones son las de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, de acuerdo con sus competencias y especialidades. Sus funciones, según establece la ley, son:
 - Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad en la ejecución de la obra (artículo 10 LPRL).
 - Coordinar las actividades de la obra para garantizar que el contratista y subcontratistas, si los hubiera, apliquen de manera coherente y responsable los principios de prevención.
 - Aprobar el plan de seguridad y salud redactado por el contratista.
 - Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
 - Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.
 - Remitir una copia a la inspección de trabajo, en el plazo de 24 horas, si se efectúa una anotación en el libro de incidencias, referida a un incumplimiento o paralización de los trabajos.

Está facultado para suspender la obra cuando concurren circunstancias de riesgo grave e inminente para los trabajadores.

- **Director de obra.** Es el técnico competente encargado de la dirección y control de la ejecución de la obra según lo especificado en el proyecto de la misma. En la fase de ejecución del proyecto, en la figura del Director de obra se integran las funciones del coordinador de seguridad y salud en el caso de no existir este último.
- **Contratista.** Es la empresa que asume, mediante contrato ante el promotor, el compromiso de ejecutar total o parcialmente la obra con sujeción a lo establecido en el proyecto. En el caso de que no cuente con los medios suficientes, podrá contratar a un subcontratista para realizar determinadas partes de la obra. En ocasiones, tanto el contratista como el subcontratista, pueden contratar a un trabajador autónomo para realizar partes de la obra. El contratista tiene como obligaciones:
 - Elaborar el plan de seguridad y salud y darlo a conocer a los subcontratistas o trabajadores autónomos que contractualmente dependen del mismo.
 - Realizar la notificación de apertura del centro de trabajo a la autoridad laboral.
 - Vigilar el cumplimiento de la normativa de prevención de seguridad y salud
 - Cumplir con las instrucciones recibidas por la dirección de obra y, si existiera, por el coordinador de seguridad y salud.

5.2. Los estudios

En general, los estudios de seguridad (que se destinan a prevenir los riesgos mecánicos) y salud (que tienen por objeto el resto de los riesgos) deben abarcar el conjunto de agentes productores de riesgo para los trabajadores. Según las características del proyecto de obra, el promotor deberá redactar uno de los dos estudios siguientes:

- Estudio de seguridad y salud. Es el más completo y se redacta cuando en la obra se da alguno de los siguientes supuestos:
 - El presupuesto de ejecución por contrata sea igual o superior a 450.000 €.
 - La duración estimada sea superior a 30 días laborales, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.
 - El volumen de mano de obra estimada en número de jornales sea superior a 500.
- Estudio básico de seguridad y salud. Es más sencillo y se redacta cuando en la obra no se da ninguno de los supuestos anteriores.

5.2.1. El estudio de seguridad y salud

Según establece la normativa, este documento deberá contener, como mínimo, los siguientes documentos: i) memoria, ii) pliegos de condiciones, iii) planos, iv) mediciones y v) presupuesto.

5.2.1.1. Memoria

Al igual que para la elaboración de la memoria técnica del proyecto, para la redacción de la memoria de este estudio se deberá disponer de un conocimiento preciso del proyecto en cuanto a las actividades que suponga su ejecución y los medios que se precisen para la misma, así como de las características del lugar donde van a desarrollarse. Todo ello deberá ser descrito de forma detallada en el memoria, conjuntamente con la identificación de los riesgos laborales que pueden ser evitados y de las medidas preventivas que sean necesarias implementar para los de los que no puedan eliminarse. Su estructura deberá abarcar los siguientes aspectos:

- Objeto del estudio
- Características de las obras
 - Descripción del lugar de trabajo
 - Definición de los procesos, puestos de trabajo y tareas
 - Definición de la maquinaria prevista
 - Definición de las herramientas previstas
 - Plazo de ejecución de las obras
 - Personal previsto
 - Presupuesto del proyecto
- Identificación de riesgos
 - Riesgos que pueden evitarse y medidas preventivas
 - Riesgos que no pueden evitarse y medidas preventivas
- Servicios sanitarios

A continuación, se desarrollan los apartados más relevantes.

- **Descripción del lugar de trabajo.** Para los trabajos forestales en el monte no es de aplicación el Real Decreto 486/1997. Dado, por tanto, que no están regulados, se propone que la descripción que se haga de los mismos abarque todos los elementos que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores. Así, entre otros, pueden detallarse los siguientes aspectos:
 - Clima. Se detallarán los valores medios de temperaturas, así, como sus valores máximos y mínimos. Si se conoce, se indicarán los períodos de tiempo con temperaturas < 0 °C y superiores a 30 °C. Se hará referencia a la precipitación media mensual y su distribución en cuanto a número de días de lluvia, número de días de helada y la frecuencia de fenómenos tormentosos.
 - Suelo. Se definirá la pedregosidad superficial existente, ya que influye en la adherencia de las máquinas.
 - Geoforma y fisiografía. En especial, deben detallarse los siguientes aspectos:
 - Pendientes medias y máximas del monte.
 - Altitud media y máxima, con especial atención los desniveles acusados.
 - Exposición dominante.
 - Topografía local (cumbre, puerto, divisoria, ladera, morrena frontal, barranco, fondo de cauce, vaso de embalse, etc.)
 - Relieves cársticos; deben señalarse, en particular, las torcas o dolinas.
 - Inestabilidad de taludes o laderas donde se hayan producido movimientos de masas, como desprendimientos, colapsos, vuelcos, desplomes, vuelco por flexión, corrimientos, resbalamientos, flujos, avalanchas, reptación, coladas de tierra, etc.
 - Procesos de erosión existentes.
 - Vegetación. Se describirá el tipo de vegetación existente, densidad, grado de cobertura del suelo y altura del estrato superior. En el caso de que la vegetación presente en el lugar de las obras, o próxima a las mismas, sufriera alguna plaga o enfermedad, debería describirse, con objeto de valorar su posible repercusión sobre los trabajadores (por ejemplo, por urticarias producidas por la procesionaria). Asimismo, deberán reseñarse las plantas y los hongos venenosos presentes en la zona de trabajo y las plantas que puedan ocasionar arañazos, pinchazos, etc. En el caso de la vegetación arbórea, se deberá describir, además del estado sanitario de la misma, su vigor y la existencia o no de árboles colgados o caídos en el suelo.
 - Hidrología. Se describirá la existencia o no de cursos permanentes o temporales de agua, fuentes y manantiales. De todos ellos se indicará la potabilidad del agua.
 - Fauna. Se describirá la fauna que, en principio, pudiera atentar contra la salud de los trabajadores.
 - Infraestructuras. Se describirá el acceso al monte (tipo de vías, estado y tipo de vehículos que pueden transitar por ellas) y las vías de tránsito dentro del mismo para el desarrollo de las obras y en caso de emergencia.

- Asimismo, se indicará la proximidad o no de líneas de alta tensión.
- Riesgos naturales. Se tratará de estimar el nivel de riesgo existente en la zona de las obras por alguno de estos factores:
 - Aludes
 - Incendios forestales
 - Avenidas
 - Movimientos en masa
- **Definición de los procesos, puestos de trabajo, tareas y uso de máquinas y herramientas.** Deberá detallarse, con precisión, los diferentes procesos que se desarrollarán en el proyecto, identificándose los puestos de trabajo que cabe desempeñen los trabajadores en el desarrollo de los mismos y las tareas dentro de cada puesto. Este análisis debe realizarse hasta un nivel en el que la identificación de riesgos para cada una de las tareas definidas sea relevante indicando las herramientas o máquinas que van a utilizarse en cada una de ellas. (tabla 21.12).
- **Identificación de riesgos.** En los diferentes trabajos de monte, la identificación de los riesgos que debe plantearse se fundamentará, en primer lugar, en la relación de los accidentes que se han producido en actividades similares, completándolos con otros que pueden tener una probabilidad alta de producirse si no se previenen a tiempo. La identificación debe hacerse por puesto de trabajo, incluyendo todas las tareas que se realizan en el mismo. Para llevar a cabo esta identificación, se debe responder a las siguientes preguntas: ¿existe una fuente de daño?, ¿quién puede ser dañado? y ¿cómo puede ocurrir el daño? (tabla 21.13).
- **Medidas preventivas.** Para cada uno de los riesgos identificados que no han podido eliminarse, se deberán definir, para cada puesto de trabajo, unas medidas tendentes a la disminución o eliminación de los mismos (tabla 21.13).

5.2.1.2. Pliego de condiciones

En su redacción se deberá tener en cuenta las normas aplicables al tipo de obra que se trate y las prescripciones que se deben de cumplir en relación a la utilización y la conservación de máquinas, útiles, herramientas, sistemas y equipos preventivos. Atendiendo al contenido que deben tener los pliegos de condiciones según establece la norma, su estructura podría desarrollar los siguientes aspectos:

- Normativa legal de aplicación
- Definiciones y funciones de las figuras participantes en el proceso
- Condiciones técnicas de la maquinaria y de las herramientas
- Medios de protección colectivos e individuales
- Señalización
- Formación e información a los trabajadores
- Actuación en caso de accidente
- Libro de incidencias

Tabla 21.12. Principales procesos, puestos de trabajo y tareas en una repoblación forestal

Proceso	Puesto de trabajo	Tareas	Herramientas maquinaria
Fase: Transporte medios			
Transporte personal y herramientas	Conductor	Movimiento por carretera y/o pista	Vehículo con o sin remolque
Transporte maquinaria	Conductor	Carga de maquinaria Transporte por carretera y/o pista Descarga	Camión góndola
Transporte consumibles	Conductor	Movimiento por carretera y/o pista Manipulación de consumibles	Vehículo con o sin remolque
Descarga plantas caja del camión	Peón	Subida a la caja del camión Carga manual de bandejas Transporte de bandejas al lugar de acopio Desplazamiento sin carga	
Fase: Infraestructuras			
Marcado	Peón auxiliar	Movimiento por el monte Señalamiento	Utensilios marcaje
Apertura pista o calle	Conductor	Movimiento por el monte del vehículo Movimiento de tierra	Tractor
Fase: Tratamientos sobre la vegetación			
Tratamiento manual	Peón u oficial con herramienta	Desplazamiento por el monte de la herramienta Desbroce Mantenimiento de la herramienta	Motodesbrozadora, azada, zapapico
Tratamiento mecanizado	Conductor	Enganche del apero Subida a la cabina Desplazamiento por el monte Desbroce Bajada de la cabina Operaciones de mantenimiento en aperos Desenganche del apero	Tractor de ruedas o cadenas con diferentes aperos (desbrozadoras, vertederas, gradas, destocadoras)

Proceso	Puesto de trabajo	Tareas	Herramientas maquinaria
Fase: Preparación del suelo			
Tratamiento manual	Peón u oficial con herramienta	Desplazamiento monte con herramienta Ahoyado	Azada, zapapico, pico, ahoyadoras
Tratamiento mecanizado	Conductor	Enganche del apero Subida a la cabina Desplazamiento por el monte sin hacer la labor Labor Operaciones de mantenimiento en aperos Desenganche del apero	Tractores de ruedas o cadenas con diferentes aperos (<i>ripper</i> , arados), retroexcavadoras, retroarañas
Fase: Plantación			
Plantación manual	Peón plantador con herramienta y bandeja de plantas	Desplazamiento en el monte con planta y herramienta Realización de cata Colocación de la planta Desplazamiento con bandeja vacía a punto de acopio	Azada, barrón, plantamon, tubo plantador
	Peón auxiliar distribuidor de planta	Desplazamiento con bandeja de plantas por el monte Colocación de planta en punto de plantación Desplazamiento con bandeja vacía a punto de acopio	
Plantación mecanizada	Conductor	Enganche del apero Subida a la cabina Desplazamiento por el monte y/o pista Realización de la labor Bajada de la cabina	Tractores de ruedas o cadenas con diferentes aperos (plantadora de reja, tubo plantador)
	Plantador	Subida al apero Elección de la planta Colocación de planta Bajada del apero	
	Peón auxiliar control plantación	Desplazamiento por el monte detrás de la plantadora Colocación correcta de la planta	Azada

Proceso	Puesto de trabajo	Tareas	Herramientas maquinaria
Fase: Tratamientos culturales			
Colocación manual de protectores individuales	Peón colocador protector	Desplazamiento con protector por el monte Colocación del protector Aporcado Desplazamiento en vacío a zona de acopio de tubos	Azada
	Peón colocador tutor	Desplazamiento con tutor y herramienta por el monte Clavado del tutor Sujeción del protector al tutor Desplazamiento en vacío a zona de tutores	Maza
Tratamientos manual con herbicidas	Peón	Manipulación de fitocidas Carga de la mochila Desplazamiento por el monte con mochila Aplicación de fitocidas	Mochila pulverizadora
Tratamientos mecanizado con herbicidas	Conductor	Enganche del apero Manipulación de fitocidas Desplazamiento por el monte sin aplicación Aplicación de fitocidas Desenganche Lavado de la atomizadora	Tractor de ruedas con atomizadora
Colocación de acolchados o <i>mulch</i>	Peón	Desplazamiento con <i>mulch</i> por el monte Colocación Enterramiento Desplazamiento vacío a zona de acopio de tubos	Azada

Tabla 21.13. Riesgos y medidas preventivas en el puesto de trabajo del plantador (1: desplazamiento en monte con plantas y herramienta; 2: realización de cata con herramienta manual; 3: colocación de plantas; 4: desplazamiento con bandeja vacía a punto de acopio).

Riesgo	Tarea	Medida preventiva
Agentes mecánicos		
Caidas al mismo nivel	1,4	EPI (calzado)
Caidas a distinto nivel	1,4	Señalización de desniveles y cortados. EPI (calzado)
Golpes con objetos inmóviles: rocas, troncos, etc.	1,4	Trabajar con buena visibilidad. EPI (calzado)
Golpes con herramienta	2,3	EPI (guantes, calzado)
Agentes físicos		
Exposición a altas y bajas temperaturas	1,2,3,4	Descanso y buena hidratación para evitar golpes de calor. Dietas altas en calorías para evitar el frío. Usar ropa adecuada para protegerse del frío. EPI (chaqueta, pantalón, guantes, calzado)
Agentes químicos		
Exposición al polvo: terrenos recientemente incendiados	1,2,3,4	EPI (protectores respiratorios)
Agentes biológicos		
Picaduras y mordeduras	1,2,3,4	Vacunas que resulten necesarias según el riesgo (tétanos, hepatitis B, etc.). Evitar contacto directo con el ganado, heces, orinas o secreciones. Limpiar y desinfectar las heridas en la piel. Aplicar repelentes de insectos, garrapatas
Cargas de trabajo		
Sobreesfuerzos	1,2,3,4	No levantar pesos superiores a 23 kg. Flexionar las piernas para la elevación de las cargas. Procurar mínima flexión de la espalda. Descansos. EPI (guantes, calzado).

5.2.1.3. Planos

Desarrollarán los gráficos y esquemas necesarios para la mejor definición y comprensión de las medidas preventivas definidas en la memoria. Si fuera necesario se adjuntarán los planos donde quedarán recogidos los dispositivos de seguridad, como la ubicación de las diferentes señales, las áreas con riesgos naturales, las infraestructuras de servicio, los puntos peligrosos, los caminos de acceso más convenientes para el personal y la maquinaria, la ubicación del botiquín o del almacén con sustancias inflamables o tóxicas, las áreas de descanso, los manantiales con agua potable, etc.

5.2.1.4. Mediciones y Presupuesto

En las mediciones se recogerán todas las unidades o elementos de seguridad y salud en el trabajo que hayan de ser definidos o proyectados. En el presupuesto se recogerá el conjunto

de gastos previstos para la aplicación y ejecución del estudio de seguridad y salud. Deberá detallarse diferenciando el número de unidades y su precio unitario, pudiendo figurar partidas alzadas sólo en los casos de elementos u operaciones de difícil previsión. El presupuesto de todas estas acciones debe ser considerado como parte integrante de la ejecución material de la obra y no de forma independiente a la misma. Su importe total deberá consignarse, por tanto, en el presupuesto del proyecto de obra.

5.2.2. Estudio básico de seguridad y salud

Su estructura es más sencilla que el anterior debiendo describir, de forma detallada:

- Los riesgos laborales que pueden ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello.
- La relación de riesgos laborales que no puedan eliminarse, especificándose las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos, valorando su eficacia, cuando se propongan medidas alternativas.

5.2.3. Plan de seguridad y salud

Corresponde al contratista la elaboración del plan de seguridad y salud que complemente el estudio que sobre la materia figure en el proyecto. Por tanto, en él se deberá analizar, estudiar, desarrollar y complementar las previsiones contenidas en el estudio que figure en el proyecto, en función de su propio sistema de ejecución de obra. Asimismo, podrá incluir medidas alternativas a las que figuren en el estudio, con la debida justificación técnica, siempre que no implique disminución de los niveles de protección previstos en el estudio. Un ejemplar del mismo deberá estar siempre en el lugar de trabajo para consulta del director de obra.

Este plan deberá ser aprobado antes del comienzo de la obra por el coordinador de seguridad y salud o, en caso de que no existiese, por el director de obra. En el caso de proyectos promovidos por las Administraciones públicas, esta aprobación debe realizarse de forma explícita.

El objetivo del plan es crear los procedimientos para conseguir una obra sin accidentes ni enfermedades provisionales. Se estructura, al igual que en los estudios, en i) memoria, ii) pliego de condiciones, iii) planos y iv) presupuesto. Una posible estructura del mismo es la propuesta por Morales (2004):

- Memoria
 - Objeto del Plan
 - Características de la obra
 - Procesos y unidades de obra
 - Evaluación de riesgos
 - Instalaciones provisionales para los trabajadores
 - Protección colectiva a emplear
 - Equipos de protección individual
 - Señalización de riesgos

- Prevención asistencia en caso de accidente
- Formación e información en seguridad y salud
- Conjunto de medidas preventivas propias de la empresa
- Planes de emergencia y evacuación
- Pliego de Condiciones
 - Ámbito de aplicación
 - Condiciones técnicas de los medios de protección
 - Condiciones técnicas de la maquinaria
 - Condiciones de seguridad de los medios auxiliares
 - Plan de emergencia
 - Condiciones técnicas de servicios de higiene
 - Organización de la seguridad
 - Obligaciones de las partes implicadas
 - Libro de incidencias
- Presupuesto
 - Protecciones colectivas
 - Protección individual
 - Instalaciones provisionales para los trabajadores
 - Asistencia sanitaria
 - Personal de seguridad y salud
- Planos
 - Ordenación general de la obra
 - Protecciones colectivas
 - Interferencias con líneas, conducciones o colindantes
 - Situación e itinerario al centro médico más próximo

5.3.1. Plan de emergencia

Además de las medidas preventivas para los riesgos antes comentados, la Ley 31/1995, establece la necesidad de que se adopten medidas de seguridad de los trabajadores en caso de emergencia (artículo 20). Estas medidas se concretan en un plan de emergencia en donde se “analizarán las posibles situaciones de emergencia y se adoptarán las medidas necesarias en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación de los trabajadores, designando para ello al personal encargado de poner en práctica estas medidas y comprobando periódicamente, en su caso, su correcto funcionamiento”. Aunque, para determinadas actividades, el Real Decreto 393/2007 por el que se aprueba la norma básica de autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia, exige la redacción de un plan de autoprotección para atender estas situaciones, las actividades en el monte no quedan reguladas por esta norma, por lo que el empresario quedará obligado a redactar el plan de emergencia.

Este plan debe recoger el conjunto de medidas implantadas para evitar la materialización de una situación de emergencia y minimizar, así, las consecuencias de la misma. La puesta en práctica de estas medidas de emergencia responden al protocolo conocido como PAS –Proteger, Avisar, Socorrer–. El término “proteger” hace referencia a hacer segura la zona del accidente para evitar que se pueda generar otro; “avisar”, hace referencia a dar a conocer el accidente a los servicios de emergencias. Cumplidas las anteriores actuaciones, procede “socorrer” a las víctimas.

Esta información debe recogerse debidamente y difundirse a todos los trabajadores para evitar que ante estas situaciones de emergencia se produzcan respuestas improvisadas, desorganizadas y caóticas. Ello contribuirá a mejorar la eficacia en la respuesta y la reducción del tiempo de evacuación, si fuera el caso.

Plan de emergencia

Actuaciones en caso de emergencia en zonas forestales

Teléfonos de emergencia
Emergencia 112
Oficina de la empresa
Mutua de la empresa

A. Nos preparamos para una emergencia

En este apartado queremos remarcar una serie de medidas que tenemos que ejecutar para estar preparados por si nos vemos involucrados en una emergencia, para disminuir los daños a las personas, a los medios materiales y al medio ambiente.

- Antes que nada, hay que tener claro quién será la persona que decidirá las actuaciones ante la emergencia:
Decidirá las actuaciones ante una emergencia el máximo responsable o, en su defecto, quién haya sido designado para ello.
- Habrá que evaluar, antes de empezar cualquier trabajo y en reunión con todos los trabajadores que tengan que compartir vehículo o puesto de trabajo, las variables siguientes:
 - Conocimiento de las zonas próximas de cobertura de móvil.
 - Conocimiento de la dirección de los centros de asistencia próximos (se adjunta listado).
 - Disponer, al inicio de la jornada, de teléfono móvil operativo y a plena carga.
 - Definir un punto de reunión en caso de emergencia (normalmente cerca del estacionamiento del vehículo).
 - Aparcar siempre el vehículo encarado en posición de salida.
 - Evaluar el acceso de los servicios de asistencia al puesto de trabajo (estado de los accesos, etc.).
 - Definir un punto sencillo e inequívoco de encuentro con el servicio de asistencia (punto kilométrico de una carretera).

- Evaluar los factores de riesgo específicos del puesto de trabajo (desniveles, vallado de caza, hielo, viento, árboles muertos, tráfico de personas, estado de los accesos, infraestructuras en mal estado, etc.); tomar las medidas preventivas más adecuadas.
- Tener un conocimiento previo de los accesos (cartografía de la zona, etc.) y ser capaces de comunicar la posición geográfica del puesto de trabajo a los servicios de asistencia.
- Botiquín. Todo centro de trabajo y puesto de trabajo dispondrá de botiquín (edificios y vehículos). Cualquier carencia de *stock* será comunicada por el trabajador usuario a su superior jerárquico. Éste efectuará, de forma periódica, la gestión para la revisión y aprovisionamiento, haciendo la solicitud correspondiente al servicio de prevención. El contenido del botiquín se relaciona en la siguiente tabla.

Producto	Cantidad	Producto	Cantidad
Agua oxigenada	250 ml	Vendas de malla 5 m × 5 cm	4 paquetes
Alcohol	250 ml	Vendas de malla 5m × 7 cm	4 paquetes
Algodón hidrófilo 100%	25 g	Apósitos adhesivos	20 unidades
Compresas esterilizadas	5 sobres	Apósitos adhesivos 5 × 1,25	
Guantes de látex		Esparadrapo 1,25 × 5 m	
Pinzas	1	Esparadrapo 2,5 × 5 m	
Tijeras	1	Venda 4 m x 7 cm	
Pomada yodada	50 ml	Suero fisiológico 5 ml	6

B. Qué hacer en caso de emergencia

En caso de que se produzca una situación de emergencia, habrá que tener en cuenta y seguir los siguientes puntos:

1. Mantener la calma y actuar con sentido común.
2. En caso de accidente, actuar de acuerdo con el conocimiento de primeros auxilios de que se disponga.
3. En caso de ser necesaria asistencia médica, decidir entre evacuar al accidentado directamente con medios propios o pedir asistencia externa para ello.
4. En caso de evacuar con medios propios al accidentado a un centro asistencial, habrá que comunicarlo a todos los trabajadores que compartan puesto de trabajo.
5. En ningún caso podrán quedarse en el puesto de trabajo trabajadores sin teléfono móvil o realizando trabajos de riesgo.
6. Consultar en el documento adjunto los centros de asistencia próximos. Prioritariamente nos dirigiremos al centro de asistencia de la mutua, o concertado con ésta, más próximo (la gravedad del accidente será la que nos condicionará la elección del centro de asistencia).
7. En caso de incendio, actuar de acuerdo con los conocimientos adquiridos sobre extinción de incendios.

8. En caso de que se produzca un incendio y se decida evacuar el puesto de trabajo, comunicarlo y reunir en todos los compañeros para la evacuación. Utilizar los accesos que se alejen del incendio o transcurran por zonas ya controladas.
9. En caso de fuertes lluvias, mantener especial atención en las zonas inundables y evitar atravesar cursos de agua con fuerte caudal.
10. En caso de objeto de mordedura o picadura de un animal, procurar identificarlo.
11. En caso de riesgo grave e inminente, suspender los trabajos, proteger la zona de peligro (señalizarla, eliminar la fuente de riesgo –por ejemplo, un conato de incendio–), avisar de la situación de riesgo a los compañeros y a terceros, comunicarlo al superior jerárquico, y así sucesivamente hasta resolver la actuación a llevar a cabo.
12. En caso de necesitar asistencia externa o ayuda (bomberos, ambulancias, policía, etc.), llamar al teléfono de emergencias 112.
13. En caso de accidente con vehículo en carretera, señalar adecuadamente la zona del siniestro mediante los triángulos de señalización.
13. Si es posible, situar los vehículos fuera de la calzada con las luces intermitentes en funcionamiento.
15. En caso de encontrarnos con una tormenta eléctrica, seguir las siguientes recomendaciones para evitar sufrir un accidente por descarga de un rayo.

B.1. Tormenta eléctrica

- Si se realizan actividades al aire libre, conviene prestar atención a los partes meteorológicos durante la temporada en qué las tormentas son más frecuentes (generalmente de mayo a septiembre) y no trabajar en media o alta montaña con riesgo claro de tormenta.
- En caso de ver rayos, si el viento aumenta o si se escuchan truenos, dirigirse a un lugar seguro (por ejemplo, en el interior del vehículo).
- El mejor lugar para refugiarse a la intemperie durante una tormenta es un vehículo cerrado. Se debe apagar el motor, bajar (o sacar) la antena de la radio y desconectarla, cerrar las ventanas y las entradas de aire. En caso de caída de un rayo, el vehículo se cargará solo por el exterior mientras que el interior quedará intacto. Este fenómeno es conocido como “Jaula de Faraday”. Se tiene que evitar tocar las partes metálicas del vehículo, especialmente al salir de un vehículo que ha recibido una descarga.
- Nunca se debe echar a correr durante una tormenta y menos con la ropa mojada; existe peligro de crear turbulencia en el aire y una zona de convección que puede atraer el rayo.
- Aislarse del suelo y del contacto con charcos de agua o zonas mojadas. Salir inmediatamente y alejarse de ríos, balsas, lagos y otras masas de agua.
- Retirarse de todo lugar alto (cumbres, divisorias de agua, etc.) y refugiarse en zonas bajas no propensas a inundarse.
- Nunca refugiarse bajo un árbol o una roca o elementos prominentes solitarios. Un árbol solitario, por su humedad y verticalidad, aumenta la intensidad del campo eléctrico. En cambio, un bosque, aunque sea pequeño, puede ser un buen refugio. Guarecerse debajo de los árboles de menor porte.

- Alejarse de terrenos abiertos y claros, como praderas, cultivos, etc. En estas zonas una persona sobresale lo suficiente del terreno como para atraer fácilmente un rayo.
- Alejarse y no refugiarse en pequeños edificios aislados como graneros, barracas, etc.
- No refugiarse en la boca de una cueva ni al abrigo de un saliente rocoso; el rayo puede producir chispas a través de estas aberturas; algunas son, incluso, canales naturales de drenaje por sus descargas. Solo ofrecen seguridad las cuevas profundas y anchas, con unas dimensiones mínimas de un metro, tanto en profundidad como en anchura.
- Apagar *walkie-talkies* y teléfonos móviles; las radiaciones electromagnéticas pueden atraer los rayos.
- Deshacerse de todo material metálico (mochilas con carcasa, palas, azadas, rastrillos, paraguas, herramientas, entre otros) y depositarlos a más de 30 metros de distancia. Los rayos aprovechan su buena conducción.
- Alejarse de la maquinaria mientras dure la tormenta (tractor, motosierra, desbrozadora, etc.). Tampoco se debe seguir trabajando sobre andamios u otras estructuras metálicas.
- Alejarse de infraestructuras u objetos metálicos, como vallas metálicas, puntos geodésicos, líneas telefónicas e instalaciones eléctricas, railes de tren, etc. Lo más peligroso de un tendido eléctrico son sus apoyos, puesto que por su toma de tierra se descargan rayos que han caído incluso a kilómetros. La proximidad de grandes objetos metálicos es peligrosa incluso cuando no se esté en contacto con ellos, puesto que la ola de choque producida por el rayo calienta el aire, que puede producir lesiones en los pulmones.
- La posición de seguridad más recomendada es de cuclillas, lo más agachado posible, con las manos en las rodillas, tocando el suelo solo con el calzado. No debemos echarnos en horizontal sobre el suelo.
- Si notamos cosquilleo en el cuerpo, se nos eriza el cabello o vemos brillar y hacer chispas un objeto de metal hay que adoptar inmediatamente la posición de seguridad, porque la descarga de un rayo es inminente.
- Si se va en grupo, es aconsejable dispersarse unos metros y adoptar la posición de seguridad.
- Si se va conduciendo y sorprende por una tormenta, conviene disminuir la velocidad y no pararse en zonas por las que pueda discurrir gran cantidad de agua.

B.2. Accidentes producidos por animales o insectos

Dentro de los trabajos forestales, los accidentes causados por la fauna son bastante comunes. Por ello, se dan una serie de recomendaciones que hay que seguir en función de la especie. Los animales más peligrosos, es decir aquellos que pueden comportar ingresos hospitalarios o situaciones de emergencia relevantes son: la víbora, el escorpión, la araña (viuda negra o reclusa parda), la escolopendra y las abejas en caso de personas sensibilizadas. Otros, como la garrapata, el mosquito, la mosca negra o la procesionaria del pino, no comportan situaciones de emergencia relevantes y tendrán que ser tratados según las especificaciones recibidas en el proceso de formación y según la documentación librada en su día.

- Mordeduras de víbora. Son las más peligrosas que podemos recibir, puesto que el veneno actúa sobre el sistema nervioso produciéndose fuertes dolores, seguidos de parálisis de

los miembros, inflamación, vómitos, diarreas e incluso pérdida del conocimiento. Para prevenirlas, hay que utilizar guantes de protección siempre que se remuevan piedras o se trabaje en zonas pedregosas. En caso de mordedura, se desinfectará la herida con antisépticos y se trasladará inmediatamente al herido en reposo al centro hospitalario más próximo. El herido no tendría que andar, ya que se aceleraría la circulación del veneno. No se deben efectuar incisiones en la herida. No se tiene que succionar el veneno a no ser que tengamos un succionador específico que evite su ingestión. Hay que conocer qué hospitales o centros asistenciales próximos tienen el antídoto contra el veneno de la víbora. Por ello, habrá que asegurarse de esta disponibilidad mediante llamada por teléfono previo a la elección del centro de salud.

- Picadura de un escorpión. La simple picadura de un ejemplar no suele ser peligrosa, excepto en aquellos trabajadores que sufran alergias. Debe limpiarse la zona de lesión con agua fría o con agua oxigenada y desinfectarse con algún antiséptico no coloreado. No se recomienda utilizar alcohol o amoníaco. El miembro afectado tiene que permanecer en reposo. Para aligerar los efectos de la picadura, se puede sacar el aguijón, desinfectar y aplicar hielo a la zona. Se tendrá que visitar al médico inmediatamente. Éste, según la afectación, administrará analgésicos locales, antihistamínicos o antibióticos para controlar posibles complicaciones. Hay que recordar que la empresa no puede suministrar medicamentos, ya que sólo pueden ser suministrados bajo prescripción médica.
- Picadura de una escolopendra. Se encuentra en lugares oscuros y pedregosos y tiene gran actividad por la noche, dedicando el día a descansar en espacios rocosos. La escolopendra puede inocular el veneno que tiene situado detrás de la cabeza. Su ataque deja dos punzadas que causan inflamación en la zona afectada y mucho dolor. Sus efectos son: necrosis de la zona afectada, espasmos musculares, irregularidades en el pulso e inflamación en los ganglios linfáticos. Este tipo de picaduras se puede tratar de forma parecida a cómo se hace con una picadura de escorpión, procurando que la zona afectada se mueva lo menos posible. Una vez desinfectada la herida, se procederá a enfriar la zona aplicando paños fríos. Hay que visitar al médico tan pronto como sea posible.
- Picadura de una araña. En España, por ser perjudiciales para la salud, destacan la viuda negra y la araña marrón. La picadura de estas arañas puede ser peligrosa, puesto que su veneno produce necrosis de la zona afectada. Por ello, hay que aplicar, tan pronto como sea posible, compresas frías o hielo. Se debe acudir al médico rápidamente y, si es posible, con el arácnido.
- Picaduras de una abeja o una avispa. Normalmente, si la picadura es simple, será suficiente extraer el aguijón con ayuda de unas pinzas desinfectadas. Si las picaduras son múltiples o afectan al interior de la boca, puede haber serio peligro para el trabajador. En este caso, debe llevarse al herido a un centro médico. Hay que tener presente la sensibilidad de la persona a la picadura de estos insectos, puesto que si es sensible habrá que administrarle rápidamente el tratamiento correspondiente.

Se tiene que extraer con cuidado el aguijón si está clavado y aplicar una gasa o ropa limpia empapada en agua fría. En caso de picadura en el interior de la boca, hay que dar a la víctima hielo para lamer o pequeños tragos de agua fría. No debe rascarse ni frotar la zona afectada. Se debe llevar al afectado a un centro sanitario para que le apliquen

un preparado farmacéutico a base de amoníaco. En casos graves, en su traslado deben vigilarse las constantes vitales de la víctima.

- Mordedura de otros animales. Se considerará grave si las mordeduras son producidas por un animal desconocido o venenoso o si la víctima es especialmente sensible al veneno inyectado. Se tiene que limpiar la herida con agua y jabón. Hay que cortar la hemorragia, si la hay. Se debe aplicar una solución comercial desinfectante a base de pomada yodada. Hay que cubrir la herida con un apósito estéril o ropa limpia. Se tiene que trasladar a la víctima a un centro sanitario para profilaxis antitetánica y vacunación antirrábica, si hiciera falta. Si es posible, se ha de comprobar si el animal está vacunado correctamente.

C. Qué hacer en caso de accidente

La persona accidentada comunicará el accidente a su responsable. El procedimiento variará en función de la franja horaria en que suceda.

- Dentro de horario laboral
El accidentado tendrá que contactar con su superior; éste lo notificará inmediatamente al área de prevención. Esta será la responsable de autorizar la asistencia del trabajador al centro médico mediante el documento de “solicitud de asistencia sanitaria”. Será el área de prevención quién indicará a qué centro se debe desplazar el trabajador y hará las gestiones para que sea recibido.
- Fuera el horario laboral
Se elegirá el centro asistencial más próximo del listado adjunto, priorizando en cada caso los siguientes aspectos:
 - Tipo de centro médico (ordenado por prioridad)
 1. Centro propio de la Mutua
 2. Centro concertado
 3. Centro público
 - En cuanto a la especialidad médica, se escogerá centro médico que disponga de la especialidad específica de acuerdo con la lesión.
 - Distancia del lugar del accidente al centro médico.

En caso de accidente grave, muy grave (según el aviso de baja de la mutua de accidentes), mortal o cuando se prevea la hospitalización del accidentado, el mando directo o, en su defecto, cualquier compañero que esté presente acompañará al accidentado en todo momento, asegurando la asistencia sanitaria si fuera posible, o llamará al 112 para solicitar la asistencia al lugar del accidente. Una vez el accidentado esté adecuadamente atendido, avisará al mando intermedio, que se presenciará y acompañará al accidentado en todo momento e informará a la familia.

6. Equipo de protección individual (EPI)

Según establece el Real Decreto 773/1997, se entiende por equipo de protección individual (EPI) “cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud”. Según determina la norma, “deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse de una manera suficiente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas de organización del trabajo”.

Estos equipos deberán proporcionar una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso, sin suponer por sí mismos u ocasionar riesgos adicionales ni molestias innecesarias. Por lo tanto, deberán responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo, deberán tener en cuenta las condiciones anatómicas, fisiológicas y el estado de salud del trabajador y deberán adecuarse al portador tras los ajustes necesarios. Para la elección correcta del equipo debe considerarse:

- Las características que tienen que reunir los mismos para garantizar su función, de acuerdo con la naturaleza y magnitud de los riesgos que deban proteger, así como los factores adicionales de riesgo que puedan constituir los propios equipos de protección o su utilización.
- Las características de los diferentes equipos que existen en el mercado.

El Real Decreto 1407/1992 establece que los EPIs pueden clasificarse en tres categorías en función del riesgo frente al que protejan. En el marco de una repoblación forestal son de interés los siguientes:

- Categoría I. La constituyen los EPIs destinados a proteger frente a riesgos de efecto gradual: agresiones mecánicas superficiales, productos de mantenimiento poco nocivos, agentes atmosféricos ni excepcionales ni extremos.
- Categoría II. Es la categoría más indefinida, en ella se incluyen los EPIs que no entran ni dentro de la categoría I ni de la categoría III: protecciones auditivas, la mayoría de la ropa y el calzado de protección.
- Categoría III. Destinados a proteger frente a riesgos de mayor magnitud, riesgos que pueden provocar la muerte o daños irreversibles para la salud: equipos de protección respiratoria, agresiones químicas, caídas en altura, riesgos eléctricos.

Las exigencias esenciales de sanidad y seguridad aplicables al diseño y a la fabricación de los EPIs se definen en el Real Decreto 1407/1992. Los EPIs deberán llevar el marcado CE, por el que el fabricante declara que éstos se ajustan a las condiciones establecidas en la norma.

El EPI dependerá de las partes del cuerpo que quiera protegerse, es decir cabeza, oído, ojos y cara, vías respiratorias, manos y brazos, pies y piernas, piel, tronco y abdomen, o protección total y de los riesgos a que esté sometida cada una de ellas. A modo orientativo, en la tabla 21.14 se recogen los elementos con los que debe contar el EPI según las diferentes tareas que pueden desarrollarse en una repoblación forestal (figura 21.4). Cuando el trabajador vaya a emplear una máquina o una herramienta (motodesbrozadora, ahoyadora, etc.), esté deberá utilizar el EPI recomendado por el fabricante, complementado con el que exija el entorno donde vaya a estar situada la máquina, para que, de esta manera, se tengan en cuenta todos los factores de riesgo.

Previamente a la adquisición de algún EPI será necesario, como así lo recomiendan las guías técnicas de los mismos, completar su lista de control, en donde quedan recogidos e inventariados todos los riesgos y acciones externas a tener en cuenta. En función de la lista que se elabore, que debe figurar en el pliego de condiciones para la adquisición del EPI, se estudiarán los diferentes modelos existentes en el mercado.

Tabla 21.14. EPI recomendado para cada puesto de trabajo en un proyecto de repoblación forestal.

Puesto de trabajo	EPI recomendado
Conductor para el transporte de herramientas y obreros	Calzado de trabajo, mono trabajo, guantes ⁽¹⁾ , protectores auditivos ⁽²⁾
Conductor de máquina para apertura de vías	Calzado de trabajo, mono trabajo, guantes ⁽¹⁾ , protectores auditivos ⁽²⁾
Peón auxiliar para el marcado de vías	Calzado de trabajo, mono trabajo, guantes. En presencia de máquinas debe portar chaqueta o chaleco reflectante.
Obrero con motodesbrozadora	Casco, gafas y/o pantalla protección facial, protectores auditivos, chaqueta y pantalón antiproyecciones, guantes, calzado de protección
Conductor de tractor	Calzado de trabajo, mono trabajo, guantes ⁽¹⁾ , protectores auditivos ⁽²⁾
Obrero plantador	Calzado de protección, mono trabajo, guantes (valorar protector lumbar). En presencia de máquinas debe portar chaqueta o chaleco reflectante.
Peón auxiliar descarga de planta, colocación de protectores individuales, tutores, acolchados	Calzado de trabajo, guantes, mono trabajo. En presencia de máquinas debe portar chaqueta o chaleco reflectante.
Obrero que apliquen fitocidas	Mono de protección, calzado de trabajo, protección ocular, guantes, mascarilla buconasal o semimáscara
Conductor de camión	Calzado de trabajo, mono trabajo, guantes ⁽¹⁾ , protectores auditivos ⁽²⁾

⁽¹⁾ Para las operaciones de mantenimiento de la máquina y/o de trabajo.

⁽²⁾ Si la cabina no está insonorizada.



Plantador con chaleco reflectante, mono de trabajo, guantes y calzado de seguridad.



Plantador solo con calzado de montaña.

Figura 21.4. Ejemplos de diferentes EPIs para un mismo puesto de trabajo (fotos: J Pemán).

6.1. Calzado

Deben utilizarse cuando existan para los pies riesgos de tipo mecánico (choque, aplastamiento, pinchazos, cortes), térmico u otros riesgos propios del movimiento en el monte, como pueden ser los esguinces o luxaciones. Son necesarios para cualquier tarea forestal que se desarrolle en el monte. El tipo de calzado que debe utilizarse varía en función del tipo de tarea, y puede ser (Hernández-Castañeda 2008) (tabla 21.15):

- Calzado de trabajo. Consistirán en unas botas que garanticen la máxima adherencia a la superficie de trabajo, de gran flexibilidad, que protejan bien el pie a la altura del tobillo y los dedos, que sean cómodas (almohadillado en la zona maleolar, lengüeta rellena) e impermeables. Este tipo de calzado será de uso general para todos los trabajadores. Va marcado con las letras OB.
- Calzado de protección. Consistirá en unas botas que incorporen un tope o puntera de seguridad que garantice una protección suficiente frente al impacto con una energía equivalente de 100 J en el momento del choque y frente a la compresión estática bajo una carga de 10 kN. Es el recomendado para los trabajadores que porten máquinas o carguen peso elevado. Va marcado con las letras PB.
- Calzado de seguridad. Calzado que incorpora elementos para proteger al usuario de riesgos que puedan dar lugar a accidentes. Está equipado con tope de seguridad para proteger la parte delantera del pie (dedos), diseñado para ofrecer protección contra el impacto cuando se ensaya con un nivel de energía de, al menos, 200 J y contra la compresión cuando se ensaya con una carga de, al menos, 15 kN. Va marcado con las letras SB.

Tabla 21.15. Especificaciones sobre el calzado de uso profesional o de seguridad dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 20346	Equipo de protección individual. Calzado de seguridad	1993
EN ISO 20345	Equipo de protección individual. Calzado de seguridad	2012
EN ISO 20347	Equipo de protección individual. Calzado de trabajo	2012
EN ISO 17249	Calzado de seguridad resistente al corte por sierra de cadena	2014

6.2. Guantes

Deben utilizarse cuando existan riesgos para las manos de tipo mecánico (abrasión, corte, pinchado), térmico o químico. Son, junto con el calzado, el EPI más frecuente, ya que debe utilizarse en prácticamente cualquier tarea (tabla 21.16). A la hora de elegirlos debe tenerse en cuenta:

- La sensibilidad al tacto y la capacidad de asir, muy importante para el manejo de las plantas, herramientas o maquinaria guiada a mano.
- La máxima protección frente al riesgo existente.
- La transpiración.

Un guante de protección frente a riesgos mecánicos debe tener un nivel de prestación 1 o superior para al menos una de las siguientes propiedades: resistencia a la abrasión, al corte por cuchilla, rasgado y perforación (Lara 2010). Los niveles de prestación sirven para comparar productos diseñados para ofrecer un mismo tipo de protección y dar una idea del grado de resistencia o comportamiento del equipo frente al riesgo (tabla 21.17).

En la mayor parte de los trabajos en el ámbito de la repoblación forestal, el guante debe proteger, sobre todo, de la abrasión y, en menor medida, de la perforación y el rasgado. Para la manipulación de productos fitosanitarios el guante debe tener al menos un nivel de prestación 5, que garantiza una resistencia a la permeación superior a 240 minutos.

Tabla 21.16. Especificaciones sobre los guantes de uso profesional o de seguridad dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN)

Código	Título	Año
EN ISO 388	Guantes de protección contra riesgos mecánicos	2004
ENISO 381-4	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionada a mano. Parte 4: Método de ensayo para guantes protectores contra sierras de cadena	2000
EN ISO 381-7	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionada a mano. Parte 7: Requisitos para guantes protectores contra sierras de cadena	2000
EN ISO 374-1	Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 1: terminología y requisitos de prestaciones para riesgos químicos	2016
EN ISO 374-2	Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 2: determinación de la resistencia a la penetración.	2016

Tabla 21.17. Nivel de prestación de los guantes para la protección frente a riesgos mecánicos.

Nivel prestación	Resistencia a la abrasión (ciclos)	Resistencia al corte ¹	Resistencia a la perforación (N)	Resistencia al rasgado (N)
1	100	1,2	20	10
2	500	2,5	60	25
3	2 000	5,0	100	50
4	8 000	10	150	75
5		20		

¹. valor del índice de corte con cuchilla según la EN ISO -388.

6.3. Monos de trabajo, chaquetas y protectores de piernas

En la mayoría de los puestos de trabajo tan solo será necesario un mono de trabajo que permita el trabajo cómodo, a excepción del caso de aplicador de productos fitosanitarios, que debe llevar un mono de protección. Existen seis tipos de trajes frente a la protección

química, siendo el Tipo 1 el de mayor protección (tabla 21.18). En el caso de la aplicación manual de fitocidas el traje recomendado es del Tipo 6, por estar en contacto el obrero con bajos volúmenes del producto y exposición a pequeñas salpicaduras.

Tabla 21.18. Especificaciones sobre la ropa de protección contra productos químicos dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 943-1:2015+A1: 2019	Ropa de protección contra productos químicos, líquidos y gaseosos, incluyendo aerosoles líquidos y partículas sólidas. Parte 1: requisitos de prestaciones de los trajes de protección química, ventilados y no ventilados, herméticos a gases (Tipo 1) y no herméticos a gases (Tipo 2)	2019
EN ISO 14605:2005+A1	Ropas de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa con uniones herméticas a los líquidos (tipo 3) o con uniones herméticas a las pulverizaciones (tipo 4), incluyendo las prendas que ofrecen protección únicamente a ciertas partes del cuerpo (Tipos PB [3] y PB [4]).	2009
EN ISO 13982-1:2005/A1	Ropa de protección para uso contra partículas sólidas. Parte 1: Requisitos de prestaciones para la ropa de protección química que ofrece protección al cuerpo completo contra partículas sólidas suspendidas en el aire. (Ropa de tipo 5).	2011
EN ISO 13034:2005+A1	Ropa de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa de protección química que ofrece protección limitada contra productos químicos líquidos (equipos del tipo 6).	2009

6.4. Protectores auditivos

Deben utilizarse cuando existan niveles de ruido que provoquen un efecto nocivo en los oídos para el trabajador. Los protectores auditivos pueden ser (García-González 2013):

- Pasivos. Se trata de orejeras o tapones que poseen una respuesta acústica que depende de su diseño y de las características físicas de los materiales utilizados. Estos protectores son los de uso más frecuente y su atenuación acústica permanece constante al variar el nivel de ruido, siempre y cuando no cambie la frecuencia o el espectro de ruido presente.
- No pasivos. Incorporan un sistema electrónico o elemento mecánico que los hace comportarse acústicamente de una forma específica. Entre éstos se encuentran las orejeras dependientes del nivel de ruido, las orejeras con reducción activa del ruido o las orejeras con entrada eléctrica de audio. También hay modelos que poseen más de una función, como los de entrada eléctrica de audio (para conectarse a un sistema de comunicación).

Los más utilizados en el ámbito forestal son los pasivos, como los tapones o las orejeras. El protector auditivo deberá elegirse de modo que reduzca la exposición al ruido a un límite admisible, sin mermar la percepción del habla o de señales de peligro (tabla 21.19).

Los protectores auditivos los suelen utilizar los obreros que trabajan con la motodesbrozadora o la ahoyadora, en cuyo caso llevan acopladas unas orejeras al casco, o los conductores de las máquinas cuando éstas no están dotadas de una cabina insonorizada (figura 21.1). En ese caso suelen llevar tapones. Existen modelos de protectores que llevan asociados equipos de sonido lo que permite y garantiza la comunicación con los diferentes obreros que están en el tajo. La elección del equipo debe realizarse según el grado de atenuación acústica requerido (ISO 4869). Entre los métodos recogidos en la norma está el SNR que ofrece el valor de reducción simplificada de nivel de ruido

Tabla 21.19. Especificaciones sobre los protectores auditivos dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 352 - 1	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: orejeras	2003
EN ISO 352 - 2	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: tapones.	2003
EN ISO 352 - 3	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 3: orejeras acopladas a cascos de protección	2003
EN ISO 352 - 4	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 4: orejeras dependientes del nivel.	2001 y 2006
EN ISO 352 - 5	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 5: orejeras con reducción activa del ruido	2003 y 2006
EN ISO 352 – 6	Protectores auditivos. Requisitos generales y ensayos. Parte 6: orejeras con entrada eléctrica de audio.	2003
EN ISO 352 – 7	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 7: tapones dependientes del nivel.	2004
EN ISO 50332-1	Equipos para sistemas acústicos: Cascos y auriculares asociados con equipos de sonido portátiles. Método de medición del nivel máximo de presión acústica y límites considerados. Parte 1: método general para “un equipo completo”	2014
EN ISO 50332-2	Equipos para sistemas acústicos: Cascos y auriculares asociados con equipos de sonido portátiles. Método de medición del nivel máximo de presión acústica y límites considerados. Parte 2: adaptación de equipos y auriculares si ambos se suministran por separado o si se suministran como equipo completo pero con conectores normalizados entre ambos que permitan asociar componentes de distintos fabricantes o con un diseño diferente.	2014

6.5. Protectores oculares y faciales

Deben utilizarse si existen riesgos para los ojos y la cara, tanto mecánicos (impactos, partículas proyectadas, astillas) como térmicos (tabla 21.20). Los diferentes modelos se pueden clasificar en:

- Protectores oculares o gafas de protección. Su finalidad es proteger la parte externa del globo ocular y zonas anatómicas próximas. Según la montura existen los siguientes diseños: i) gafas de montura universal, ii) gafas de cazoletas, iii) gafas de montura integral, iv) gafas adaptables al rostro y v) gafas suplemento.
- Protectores o pantallas faciales. Extienden la protección a toda la cara. Entre los diferentes modelos de pantallas están, entre otras, las siguientes: de soldador, de malla, de plástico, de tejido anticalórico.

Para los riesgos mecánicos por impactos de partículas a media energía, los elementos de protección idóneos son las gafas de montura integral o las pantallas. En el caso de impacto por partículas de alta energía solo son aptas las pantallas. El grado de resistencia mecánica de estos protectores se marca mediante tres símbolos (tabla 21.21).

El uso de protectores oculares en la aplicación de fitocidas exige en el campo de uso de la montura el número 5 y en el uso de pantallas faciales el 3 (Calderón y Campos 2016).

Tabla 21.20. Especificaciones sobre los protectores oculares y faciales dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 166	Protección individual de los ojos. Especificaciones	2002
EN ISO 167	Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo ópticos.	2002
EN ISO 168	Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo no ópticos	2002
EN ISO 1731	Protección individual de los ojos. Protectores oculares y faciales de malla.	2007

Tabla 21.21. Protectores oculares y faciales de malla dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN) (Los símbolos F, B y A se refieren a cada elemento del protector: montura, ocular, etc. El nivel asignado al protector será el más bajo de los elementos que lo conformen).

Símbolo de resistencia mecánica	Campo de uso	Requisito relativo a la resistencia mecánica
S	Básico	Solidez incrementada
F	Partículas a gran velocidad	Impacto de partículas a baja energía
B		Impacto de partículas a media energía
A		Impacto de partículas a alta energía

6.6. Equipos de protección respiratoria

No es habitual en los trabajos en monte, aunque deben utilizarse en el caso de aplicación de ciertos fitocidas (tabla 21.22). Estos protectores tendrán como función el filtrado de partículas.

Para la aplicación de fitocidas se recomienda el uso de semimáscara con filtro para productos químicos del tipo A2-B2-P3 (Calderón y Campos 2016).

Tabla 21.22. Especificaciones sobre los protectores respiratorios dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 133	Equipos de protección respiratoria. Clasificación.	2002
EN ISO 134	Equipos de protección respiratoria. Nomenclatura de los componentes.	1998
EN ISO 136/AC:2004	Equipos de protección respiratoria. Máscaras completas. Requisitos, ensayos, marcado.	2004
EN ISO 140/AC:2000	Equipos de protección respiratoria. Medias máscaras y cuartos de máscara. Requisitos, ensayos, marcado	2000
EN ISO 143/A1:2006	Equipos de protección respiratoria. Filtros contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado.	2006

7. Señalización

La necesidad de señalar, en la superficie objeto de la repoblación, surge por la imposibilidad de eliminar o reducir suficientemente los riesgos aplicando las medidas de prevención o control. Tiene por finalidad advertir a los trabajadores expuestos a un riesgo y orientales o guiarlos sobre las pautas de comportamiento que deben seguir ante cada situación. Hay que tener presente que la señalización, por sí misma, no es una medida preventiva o de protección, ya que no elimina el riesgo al que está sometido el trabajador, por lo que debe estar combinada con éstas.

En los trabajos de repoblación forestal, la señalización puede dirigirse a un sinfín de situaciones, entre las que se pueden citar: señalar los riesgos de caídas a distinto nivel de los operarios por la presencia de desniveles acusados en el terreno, caídas al mismo nivel ante la existencia de superficies inestables (pedreras, canchales, etc.), riesgos de vuelco de tractor por existencia de fuertes desniveles o por no realizar el laboreo adecuado a la pendiente del terreno, zona con riesgo de incendios forestales, zona con riesgo de explosiones por almacenarse sustancias inflamables (combustible de las máquinas) o zonas con nivel freático superficial, manantiales y fuentes con agua no potable, etc. La señalización, cuando se opte por ella, puede hacerse mediante la utilización de señales en forma de panel o mediante un color de seguridad. Las señales pueden ser (figura 21.5):

- Señal de prohibición. Es una señal que prohíbe un comportamiento susceptible de provocar un peligro. Son de forma redondeada, con pictograma negro sobre fondo blanco y con bordes y banda transversal inclinada 45° roja (por ejemplo, “prohibido acceder a la zona de trabajo a personas no autorizadas”).
- Señal de advertencia. Se trata de una señal que advierte de un riesgo o peligro. Tienen una forma triangular, con el pictograma negro sobre fondo amarillo y con bordes negros (por ejemplo, “trabajos forestales”, “caídas a distinto nivel”).
- Señal de obligación. Es una señal que obliga a un comportamiento determinado.



Señales de advertencia y obligación a la entrada de un monte en repoblación.



Aviso de tratamiento fitosanitario en curso en el monte.

Figura 21.5. Ejemplos de señalización para eliminación o reducción de riesgos en trabajos forestales (fotos: J Pemán).

8. Herramientas

Las herramientas manuales son los utensilios de trabajo que emplean como fuerza motriz la fuerza brazo. En la repoblación forestal se pueden emplear herramientas manuales en las operaciones de tratamiento sobre la vegetación, preparación del suelo, plantación y en el movimiento de cargas manuales. Son ejemplos de herramientas, los picos, zapapicos, azadas, tubos plantadores, entre otros.

El uso de las herramientas manuales es generador de un gran número de accidentes laborales, aunque la mayoría son de carácter leve. De forma general, las medidas preventivas que habrá que tomar son las siguientes (Tamborero 1990a; Tamborero 1990b; Tamborero 1990c):

- Seleccionar correctamente la herramienta.
- Mantener en buen estado la herramienta, tanto los mangos como los elementos de corte.
- Usar correctamente la herramienta: mantener la espalda derecha, no cruzar las manos, evitar golpes cercanos a los pies, con las herramientas de corte realizar éste alejando la herramienta del cuerpo, en los desplazamientos asir la herramienta por el mango próximo a la parte metálica con el brazo extendido paralelo al cuerpo.
- Evitar un entorno que dificulte el uso correcto de la herramienta: deberá despejarse previamente de piedras o ramas que dificulten su uso.

- Guardar las herramientas en lugar seguro.
- Proteger los elementos de corte de la herramienta mediante fundas cuando no se utilice.
- Guardar una distancia de seguridad entre operarios (3 m), tanto en el desarrollo del trabajo como en los desplazamientos por el monte.

9. Maquinaria

Según define el Real Decreto 1644/2008, se entiende por máquina el “conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal, aplicada directamente”.

Esta norma tiene por objeto establecer las prescripciones relativas a la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, con el fin de garantizar la seguridad de las mismas y su libre circulación de acuerdo con lo estipulado por la normativa europea. El cumplimiento de estas prescripciones llevará consigo el marcado CE. En la repoblación forestal se utiliza una gran diversidad de máquinas de las que es preciso valorar sus requisitos de seguridad (tabla 21.23).

Tabla 21.23. Máquinas manuales y autopropulsadas utilizadas en la repoblación forestal.

Tipo máquina	Máquina
Máquinas manuales	Ahoyadora Motodesbrozadora
Máquinas autopropulsadas	Tractor agrícola Tractor de cadenas Retroexcavadora Retroaraña Camión rígido o articulado para transporte de plantas Camión articulado góndola para transporte máquinas Coche todoterreno

El principio integrador de la seguridad es que las máquinas se deben diseñar y fabricar de manera que sean aptas para su función y para que se puedan manejar, regular y mantener sin riesgo para las personas cuando dichas operaciones se lleven a cabo en las condiciones previstas, pero también teniendo en cuenta cualquier mal uso razonablemente previsible (figura 21.6). Las medidas que se tomen deberán ir encaminadas a suprimir cualquier riesgo durante la vida útil previsible de la máquina, incluidas las fases de transporte, montaje, desmontaje, retirada de servicio y desguace.



Figura 21.6. Adaptación a un tractor de cadenas de un equipo de trabajo para excavar hoyos con dos patas estabilizadoras. Esta adaptación carece de cualquier homologación de seguridad (foto: J Pemán).

Los requisitos de seguridad para la maquinaria forestal están recogidos en la norma EN ISO 11850 de marzo de 2012 y están en relación con los riesgos más significativos de las mismas (tabla 21.24).

Sobre los requisitos y medidas de seguridad expuestos, merecen detallarse los siguientes (AENOR 2012a):

- Estructuras de protección de la cabina del operador. Son tres: i) estructuras de protección frente a la caída de objetos –*Fallen Objects Protection System* (FOPS)–, ii) estructuras de protección frente al vuelco –*Roll Over Protection System* (ROPS)– y iii) estructuras de protección del operador frente a la penetración de objetos –*Operator Protection System* (OPS)–.
- Acceso al puesto del operador. Para evitar caídas o deslizamientos en el acceso a las cabinas o puesto de trabajo, el operario debe tener tres puntos de apoyo cuando la superficie se encuentre elevada más de 550 mm del suelo. La superficie de apoyo de los pies debe ser antideslizante y con un diseño que no permita que se acumulen residuos, barro, nieve, etc. En las máquinas con dirección articulada se debe permitir una separación mínima de 150 mm en la posición de máxima articulación.
- Protección de elementos móviles. El caso más frecuente es el de los ejes de transmisión con el cardán (figura 21.7).

Uno de los mayores riesgos de la maquinaria forestal en el monte lo constituyen la pendiente y las características del terreno, que determinan su capacidad de trabajo por el riesgo de vuelco. La máquina nunca debe sobrepasar el límite impuesto por el fabricante (figura 21.8).

Tabla 21.24. Riesgos y requisitos de seguridad según la norma EN ISO 11850.

Riesgo	Consecuencia	Requisitos de seguridad y medidas de protección
Cáida de elementos de la máquina elevados	Impactos, aplastamiento, muerte	Estructura protección caída de objetos (FOPS)
Penetración de objetos	Impactos, aplastamiento, muerte	Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Cizallamiento de elementos de las máquinas	Cizallamiento	Resguardos, protecciones
Cortes con elementos afilados	Heridas por bordes afilados	Resguardos, protecciones
Enganches con partes móviles	Cortes, seccionamientos	Resguardos, protecciones En máquinas con dirección articulada separación mínima de 150 mm en la posición de máxima articulación
Proyección fluido alta presión	Impactos, intoxicación, quemaduras	Resguardos para los tubos flexibles que conducen fluidos Protección del puesto de trabajo de humos y fugas
Contactos eléctricos	Descargas	Aislamiento eléctrico de la batería
Contactos con elementos a alta temperatura Incendios	Quemaduras	Extintor portátil de un mínimo de 2 kg Propagación llama puesto del operador 100 mm min ⁻¹
Ruido	Pérdida auditiva	Medidas de diseño en la fuente
Vibración	Desórdenes neurológicos	Medidas de diseño en la fuente
Inhalación de fluidos o gases	Intoxicación	Protección del puesto de trabajo de humos y fugas

Riesgo	Consecuencia	Requisitos de seguridad y medidas de protección
Posiciones dañinas, esfuerzos excesivos Inadecuado diseño o identificación de los controles manuales	Fatiga Pérdida de control	Asientos ergonómicos y estables frente a los mandos Medidas de control del arranque y parada
Arranque inesperado de la máquina	Atropellos, pérdida de control	Medidas de control del arranque Garantía de estabilidad de la máquina en condiciones normales de trabajo
Imposibilidad de paro de la máquina	Golpes con objetos fijos	Sistemas de frenado (ISO 11169 y 11512)
Rotura durante funcionamiento	Rotura de herramientas de trabajo	Estructura protección caída de objetos (FOPS) Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Caída o proyección objetos	Impacto de objetos lanzados al aire	Estructura protección caída de objetos (FOPS) Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Pérdida estabilidad o vuelco	Atrapamientos, muerte	Estructura protección frente al vuelco (ROPS) Cinturón de seguridad en los asientos Garantía de estabilidad de la máquina en condiciones normales de trabajo
Deslizamiento, pérdida de equilibrio y caída personas en relación con la máquina	Golpes, caídas	Accesos antideslizantes Condiciones de acceso y salida de la máquina



Figura 21.7. Desbrozadora de martillos con y sin protección del cardán (fotos: J Pemán).



En la línea de máxima pendiente la retroaraña puede trabajar, según modelos, hasta pendientes del 100%



Tractor de cadenas que, laboreando por curvas de nivel, no debe superar el 35% de pendiente.

Figura 21.8. Maquinaria trabajando en pendiente (fotos: J Pemán).

9.1. Tractor de cadenas

El tractor de cadenas es una máquina autopropulsada con un sistema de rodadura de orugas o cadenas, dotada de una hoja frontal empujadora, que puede disponer de movimientos *angle* o *tilt*, y que en su parte trasera pueden colocarse diferentes aperos para realizar variadas labores. Estos aperos pueden ser un *ripper* o subsolador, una desbrozadora, una plantadora, entre otras. Se utiliza como máquina básica en el ámbito forestal siempre que las pendientes sean inferiores a un 35%.

En la tabla 21.25 se describen los requisitos y medidas de seguridad exigibles a esta máquina. En su mantenimiento, deben seguirse las instrucciones del fabricante.

10. Seguridad vial

Una de las causas de mayor siniestralidad en el ámbito forestal son los accidentes de tráfico, tanto en misión como en servicio *in itinere*. Estos accidentes se pueden dar en las carreteras de transporte y en las pistas forestales. Según cual sea el tipo de vía, podrá circular un tipo de vehículo u otro (tabla 21.26).

Tabla 21.25. Riesgos del tractor de cadenas

Riesgo	Consecuencias	Dispositivo seguridad
Riesgos mecánicos		
Caída de objetos cabina	Lesiones por impacto	Cabina con estructuras FOPS
Penetración objetos cabina	Lesiones por impacto	Cabina con estructura OPS
Vuelco de la máquina	Atrapamientos, golpes, muerte	Cabina con estructura ROPS Cinturón de seguridad Respetar limitaciones de pendiente En lugares de orografía abrupta se recomienda que un operario vaya marcando el camino a la máquina
Pérdida de estabilidad, deslizamiento máquina	Pérdida de control de la máquina	Estacionamiento de la máquina en lugar estable Descenso de la hoja dozer
Deslizamiento operario, pérdida de equilibrio y caída personas en relación con la máquina	Lesiones por impacto	Accesos antideslizantes Condiciones de acceso y salida de la máquina
Enganches con partes móviles	Cortes, seccionamientos	Resguardos, protecciones
Riesgos físicos		
Ruido	Pérdida auditiva, de equilibrio	Cabina insonorizada
Vibraciones	Desórdenes neurológicos	Mandos y asientos diseñados para baja vibración
Incendios	Quemaduras	Extintor
Térmico	Quemaduras por contacto con zonas calientes	Resguardos
Eléctrico	Descarga eléctrica, lesiones	
Riesgos químicos		
Inhalación de gases del escape	Problemas respiratorios por inhalación de gases tóxicos	Salida de humos fuera del área de trabajo del operador
Cargas de trabajo		
Fatiga	Lesiones en el aparato locomotor por pérdida de control	Asientos y mandos ergonómicos

Tabla 21.26. Tipo de vía de transporte y de vehículo que circula por ella.

Tipo de Vía	Vehículo	Tarea
Carretera	Turismo todo terreno o furgoneta. Con o sin remolque	Transporte obreros y/o material
	Tractores agrícolas	Traslado al lugar de trabajo
	Camiones con remolques o semirremolques	Transporte de la planta u otros materiales
	Camiones de transportes especiales	Traslado de tractores forestales al monte
Pista Forestal	Turismo todo terreno o furgoneta. Con o sin remolque	Transporte obreros y/o material
	Tractores agrícolas	Traslado al lugar de trabajo Realización de las labores
	Retroexcavadoras, retroarañas, tractores de cadenas	Traslado al lugar de trabajo Realización de las labores
	Camiones (4 × 4) y/o camiones con remolques o semirremolques	Transporte de plantas o materiales

Si las pistas o caminos interiores del monte son de carácter público, hay que regular las condiciones de la circulación para evitar los riesgos sobre la seguridad vial. Este hecho puede implicar el corte al tránsito en alguna de ellas, al menos durante unas determinadas horas al día, o requerir su acondicionamiento para poder hacer compatibles el trabajo con la circulación de vehículos ajenos al mismo. Deben señalizarse los caminos interiores por donde circularán las máquinas, así como las zonas de riesgo que existan en el monte (cortados, zonas de abundante rocosidad, canchales, líneas eléctricas, cursos de agua, etc.).

11. Primeros auxilios y libro de incidencias en los lugares de trabajo

Según dispone la norma sobre las condiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (Real Decreto 486/1997), se debe disponer del material necesario para realizar los primeros auxilios en caso de accidente.

El botiquín deberá ser proporcionado por el empresario adecuado a los riesgos a los que está sometido el trabajador y no debe contener medicamentos. En todo caso, se deberá disponer, como mínimo, de un botiquín portátil que contenga desinfectantes y antisépticos autorizados, suero fisiológico, gasas estériles, algodón hidrófilo, vendas, esparadrapo, apósitos adhesivos, tijeras, pinzas y guantes desechables.

Se deberá disponer, igualmente, de agua potable para para la hidratación de los trabajadores y para la limpieza de las heridas en caso de necesidad.

En cada centro de trabajo existirá un libro de incidencias, con hojas por duplicado, para el seguimiento del plan de seguridad y salud en la obra. Será facilitado por el colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el plan de seguridad y salud. En el caso de las obras de las Administraciones públicas, este documento lo facilitará la oficina de supervisión de proyectos. Deberá mantenerse siempre en la obra. Podrán hacer anotaciones en el mismo la dirección de obra, los contratistas y subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de seguridad y salud de las Administraciones públicas competentes.

Efectuada una anotación en el mismo, el coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra o la dirección de obra en su defecto, estarán obligados a remitir, en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente deberán notificar las anotaciones que se efectúen en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

Bibliografía

- AENOR (2012) EN ISO 11850. Maquinaria forestal. Requisitos de seguridad. AENOR, Madrid
- Antón V, Muñoz MA (2012) Exposición a vibraciones en trabajos forestales. Serie Técnica 66, INST, Madrid
- Calderón E, Campos B (2016) Protección del Operario en la Aplicación de Productos Fitosanitarios. Junta de Andalucía, Málaga
- Centro Prevención Riesgos Laborales (2007) Trabajos en ambientes calurosos. Junta de Andalucía
- Culver M (2014) Riesgos biológicos en silvicultura, explotación forestal y jardinería: prevención. INSHT
- Fernández-Pallares LE (2013) Responsabilidad derivada del accidente de trabajo. *Economist & Jurist* 21 (175):56-61
- García-González J (2013) NTP 980: Protectores auditivos: orejeras dependientes del nivel.
- Hernández-Castañeda A (2008) Calzado para protección individual: especificaciones, clasificación y marcado.
- INSHT (1998) Evaluación de riesgos laborales. INHST, Madrid
- Kenney W (1998) Respuestas fisiológicas a la temperatura ambiente. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo
- Lara A (2010) Guantes de protección contra riesgos mecánicos.
- Millán J (1996) La prevención de los riesgos laborales. Ediciones Adhara, Granada
- Monroy E, Luna P (2015) NTP-1.037: Estrés por frío (II). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid
- Morales J (2004) Prevención de riesgos en el trabajo forestal. Seguridad en incendios forestales. Tecnos, Madrid
- Nogareda S, Canosa M del M (1998) NTP 477 : Levantamiento manual de cargas: Ecuación del NIOSH. INSHT, Inst Nac Segur e Hig en el Trab 10.
- Rivera D, Obón de Castro C (1991) Guía INCAFO de las plantas útiles y venenosas de la Península Ibérica y Baleares (excluidas las medicinales). INCAFO
- Sanz C (1982) Leyenda y realidad de la fauna venenosa española (y II). *Vida Silv* 41:14-27.

Tamborero J (1990a) NTP 393 : Herramientas manuales (III): condiciones generales de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Tamborero J (1990b) NTP 391 : Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad. 11.

Tamborero J (1990c) NTP 392 : Herramientas manuales (II): condiciones generales de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

UGT-CEC (2019) Uno es demasiado. Madrid

Valledor de Lozoya A (1994) Envenenamientos por animales. Animales venenosos y urticantes del mundo. Díaz de Santos, Madrid

Capítulo 22

Evaluación ambiental de los proyectos de repoblación

Rafael SERRADA HIERRO, Jesús PEMÁN GARCÍA,
Encarnación V. TAGUAS RUIZ

1. Marco legal de la evaluación ambiental

La legislación de referencia vigente que recoge las declaraciones de impacto ambiental, así como sus necesarios estudios previos a la declaración, es la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, publicada en el Boletín Oficial del Estado de 11 de diciembre de 2013.

Anteriormente se habían publicado un gran número de disposiciones relacionadas con este tema, tanto Directivas de la Unión Europea como disposiciones españolas de la Administración general y de las Administraciones autonómicas.

Dentro del presente capítulo, dedicado al estudio del impacto ambiental de la repoblación forestal, se presenta en primer lugar la enumeración y descripción de las disposiciones legales para justificar la necesidad obligada de realizar estudios de impacto ambiental previos a la ejecución de algunas repoblaciones forestales. Tras el planteamiento de carácter formal y normativo, se hará referencia a cuestiones técnicas y metodológicas.

La normativa general española se establece, cronológicamente, en las siguientes disposiciones: Real Decreto-Ley 1302/86 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental y en Real Decreto 1131/88 de 30 de septiembre que aprueba el Reglamento de la disposición anterior; el Real Decreto-Ley 1302/1986 fue parcialmente modificado por el Real Decreto-Ley 9/2000, de 6 de octubre, que a su vez fue derogado y sustituido por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de impacto ambiental de proyectos; y finalmente, la citada Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, que deroga las disposiciones anteriores y es, en la actualidad, la referencia a tener en cuenta.

Todas las disposiciones citadas resultan de la transposición a la legislación española de diferentes normas comunitarias: la inicial Directiva 85/337/CEE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente; la Directiva 97/11/CE del Consejo, de 3 de marzo de 1997, que motivó la promulgación del Real Decreto-Ley 9/2000; la Directiva 2003/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, de modo que la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente (derogada por Ley 21/2013) y la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (modificada por la Ley 21/2013), se promulgaron para cumplimentar dicha Directiva; finalmente, la Directiva 2011/92/UE, de 13 de diciembre, de evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, actualmente vigente, que modifica las anteriores Directivas y es transpuesta a la normativa española por la Ley 21/2013. En ella, se establecen una serie de mecanismos legales para controlar los efectos sobre el entorno de las actividades económicas que se proyecten a partir de proyectos básicos (informes ambientales) que justifiquen su autorización por parte de los organismos autonómicos. Los anexos de la ley separan actividades contaminantes (anexo I) o con alto impacto, de las actividades agroforestales y acuícolas (anexo II) para las que las autorizaciones ambientales resultarían menos exigentes. En el anexo II se mencionan expresamente las repoblaciones forestales.

Hasta la fecha, se han dictado diversas disposiciones relativas al caso que nos ocupa por varias comunidades autónomas en el ejercicio de sus competencias sobre la materia y desarrollando las disposiciones generales de evaluación ambiental (tabla 22.1). Además, desde la web del Ministerio de Transición Ecológica (MITECO 2020b) se pueden consultar tanto las guías, directrices y un glosario terminológico legal para la evaluación ambiental que incluye la normativa nacional y europea; y los proyectos o planes y programas en tramitación administrativa ambiental incluidos en una base de datos.

2. Evaluación ambiental

La Ley 21/2013 la define como el “proceso a través del cual se analizan los efectos significativos que tienen o pueden tener los planes, programas y proyectos, antes de su adopción, aprobación o autorización sobre el medio ambiente, incluyendo en dicho análisis los efectos de aquellos sobre los siguientes factores: la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, la tierra, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores mencionados”.

Como dice la propia definición, esta evaluación se extiende al ámbito de planes y programas, en cuyo caso se llama “evaluación ambiental estratégica”, y al ámbito de los proyectos, en cuyo caso se denomina “evaluación de impacto ambiental”. La actividad repobladora podrá ser evaluada ambientalmente, por tanto, en los planes y programas que utilicen estas técnicas para la consecución de determinados objetivos (mitigación del cambio climático, conservación del suelo, producción de biomasa forestal, etc.) como en los proyectos propios de repoblación forestal.

Tabla 22.1. Normativas sobre evaluación ambiental de ámbito europeo, estatal o de las comunidades autónomas.

Ámbito	Norma
Europa	Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente
	Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente
	Directiva 2003/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, por la que se establecen medidas para la participación del público en la elaboración de determinados planes y programas relacionados con el medio ambiente y por la que se modifican, en lo que se refiere a la participación del público y el acceso a la justicia, las Directivas 85/337/CEE y 96/61/CE del Consejo
Estado	Ley 9/2018, de 5 de diciembre, por la que se modifica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, la Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes y la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental
Andalucía	Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental
Aragón	Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón
Islas Baleares	Ley 12/2016, de 17 de agosto, de evaluación ambiental de las Islas Baleares
Canarias	Ley 14/2014, de 26 de diciembre, de Armonización y Simplificación en materia de Protección del Territorio y de los Recursos Naturales
Castilla-La Mancha	Ley 2/2020, de 7 de febrero, de Evaluación Ambiental de Castilla-La Mancha
Castilla y León	Decreto Legislativo 1/2015, de 12 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Prevención Ambiental de Castilla y León
Cataluña	Ley 16/2015, de 21 de julio, de simplificación de la actividad administrativa de la Administración de la Generalidad y de los gobiernos locales de Cataluña y de impulso de la actividad económica
	Ley 6/2009, de 28 de abril, de evaluación ambiental de planes y programas
Comunidad Valenciana	Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalidad, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunidad Valenciana
	Decreto 230/2015, de 4 de diciembre, del Consejo, por el que se aprueba el Reglamento del órgano ambiental de la Generalidad a los efectos de evaluación ambiental estratégica (planes y programas)
Comunidad de Madrid	Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid
Comunidad Foral de Navarra	Decreto 211/2012, de 16 de octubre, por el que se regula el procedimiento de evaluación ambiental estratégica de planes y programas.
	Decreto Foral 93/2006 por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la protección ambiental.

Tabla 22.1. (cont.)

Ámbito	Norma
Extremadura	Ley 16/2015, de 23 de abril, de protección ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura Decreto 54/2011, de 29 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación Ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura
Galicia	Ley 9/2013, de 19 de diciembre, de emprendimiento y de competitividad económica de Galicia
País Vasco	Decreto 211/2012, de 16 de octubre, por el que se regula el procedimiento de evaluación ambiental estratégica de planes y programas.
La Rioja	Decreto 20/2009, de 3 de abril, por el que se regula el procedimiento administrativo de evaluación ambiental de planes y programas
Región de Murcia	Ley 4/2009, de 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada de la Región de Murcia

La evaluación ambiental podrá ser “ordinaria” o “simplificada”, dependiendo de la naturaleza y características de la actividad. En el anexo I de la norma se recogen el tipo de proyectos que deben someterse a evaluación ambiental ordinaria y en el anexo II los que deben someterse a evaluación ambiental simplificada. No obstante a lo dispuesto en los anexos, la ley reserva al órgano ambiental la posibilidad de exigir una evaluación ambiental ordinaria a los proyectos que reúnan unos criterios especiales que la ley relaciona en su anexo III, aunque por su temática les correspondiese una evaluación ambiental simplificada.

2.1. Actores de la evaluación ambiental

Los actores que la ley reconoce en el proceso de evaluación ambiental son los siguientes: i) promotor, ii) proyectista iii) órgano sustantivo, iv) órgano ambiental, v) Administraciones públicas afectadas, vi) personas interesadas y vii) público en general, cuya definición es la siguiente:

- **Promotor.** La ley lo define como cualquier persona física o jurídica, pública o privada, que pretende elaborar un plan o programa o un proyecto de los contemplados en el ámbito de aplicación de esta ley.
- **Proyectista.** Persona contratada por el promotor para la elaboración del proyecto técnico (ver capítulo 20) y de los estudios y documentos de carácter ambiental que deban acompañarle según lo dispuesto en la ley. Según establece la propia norma el promotor debe garantizar que los documentos de carácter ambiental “hayan sido realizados por personas que posean la capacidad técnica suficiente de conformidad con las normas sobre cualificaciones profesionales y de la educación superior, y tendrán la calidad y exhaustividad necesarias para cumplir las exigencias de esta ley. Para ello, los estudios y documentos

ambientales mencionados deberán identificar a su autor o autores indicando su titulación y, en su caso, profesión regulada. Además, deberá constar la fecha de conclusión y firma del autor”.

- **Órgano sustantivo.** La norma lo define como el órgano de la Administración pública que ostenta las competencias para adoptar o aprobar un plan o programa, o para autorizar un proyecto. En el ámbito de las repoblaciones forestales se entiende que sería la Administración forestal, en los casos que la ley recoge la necesidad de una autorización (ver capítulo 20). En los proyectos de repoblación redactados por la Administración forestal coincide en misma entidad la figura de promotor con el órgano sustantivo.
- **Órgano ambiental.** La ley lo define como el “órgano de la Administración pública que elabora, en su caso, el documento de alcance, que realiza el análisis técnico de los expedientes de evaluación ambiental y formula las declaraciones ambientales estratégicas, los informes ambientales estratégicos, las declaraciones de impacto ambiental, y los informes de impacto ambiental”.
- **Administraciones públicas afectadas.** La norma las define como aquellas Administraciones públicas que tienen competencias específicas en materias de población, salud humana, biodiversidad, geodiversidad, fauna, flora, suelo, subsuelo, agua, aire, ruido, factores climáticos, paisaje, bienes materiales, patrimonio cultural, ordenación del territorio y urbanismo.
- **Personas interesadas.** Se consideran personas interesadas a los efectos de esta ley:
 - Todas aquellas en quienes concurren cualquiera de las circunstancias previstas en el artículo 4 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.
 - Cualquier persona jurídica sin ánimo de lucro que, de conformidad con la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE), cumplan los siguientes requisitos:
 - Que tengan, entre los fines acreditados en sus estatutos la protección del medio ambiente en general o la de alguno de sus elementos en particular, y que tales fines puedan resultar afectados por la evaluación ambiental.
 - Que lleven, al menos, dos años legalmente constituidas y vengan ejerciendo, de modo activo, las actividades necesarias para alcanzar los fines previstos en sus estatutos.
 - Que según sus estatutos, desarrollen su actividad en un ámbito territorial que resulte afectado por el plan, programa o proyecto que deba someterse a evaluación ambiental.
- **Público.** Cualquier persona física o jurídica, así como sus asociaciones, organizaciones o grupos, constituidos con arreglo a la normativa que les sea de aplicación, que no reúnan los requisitos para ser considerados como personas interesadas. Su participación en el proceso de evaluación ambiental se realiza en la fase de información pública.

2.2. Evaluación ambiental estratégica

La evaluación ambiental estratégica hace referencia a la evaluación ambiental de planes y programas. La ley entiende por tales, el conjunto de estrategias, directrices y propuestas destinadas a satisfacer necesidades sociales. En el ámbito del medio natural se pueden citar como ejemplos de este tipo de planes, el Plan Estratégico Estatal del Patrimonio natural y de la biodiversidad (2009), el Plan Sectorial de Turismo, Naturaleza y Biodiversidad (2013), el Programa Nacional de Desarrollo Rural (2014), el Plan Estratégico de la Política Agraria Común (2021-27), los Planes Hidrológicos (2020), los Planes de Ordenación forestal, entre muchos otros. Este procedimiento de evaluación concluye con la “declaración ambiental estratégica” para los planes y programas sometidos a evaluación ambiental estratégica ordinaria y con el “informe ambiental estratégico” para los planes y programas sometidos a evaluación ambiental estratégica simplificada.

2.2.1. Evaluación ambiental estratégica ordinaria

Según establece la ley, el proceso de evaluación ambiental estratégica ordinaria consta de seis trámites (figura 22.1): i) solicitud de inicio, ii) consultas previas y determinación del alcance del estudio ambiental estratégico, iii) elaboración del estudio ambiental estratégico, iv) información pública y consultas a las Administraciones públicas afectadas y personas interesadas, v) análisis técnico del expediente y vi) declaración ambiental estratégica.

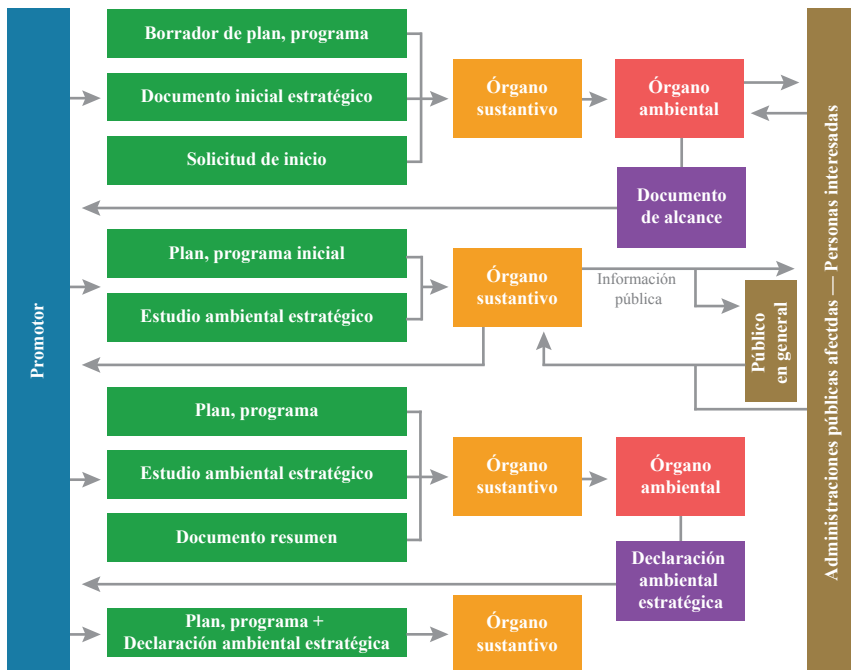


Figura 22.1. Esquema del procedimiento de evaluación ambiental estratégica ordinaria de un plan o programa según la Ley 21/2013.

De este procedimiento merece la pena describir el contenido del estudio ambiental estratégico que elaborará el proyectista teniendo en cuenta las consideraciones recogidas en el “documento de alcance” elaborado por el órgano ambiental. Según describe la norma, el estudio ambiental estratégico identificará, describirá y evaluará los posibles efectos significativos sobre el medio ambiente que tendría la aplicación del plan o programa, así como las alternativas técnica y ambientalmente viables. Este estudio se considera parte integrante del plan o programa y contendrá su contenido mínimo, recogido en el anexo IV, es el siguiente:

- 1. Resumen del contenido y de los objetivos principales del plan o programa. Así como las relaciones con otros planes y programas pertinentes.
- 2. Aspectos relevantes de la situación actual del medio ambiente. También deberá describir la probable evolución en caso de no aplicación del plan o programa.
- 3. Características medioambientales de las zonas que puedan verse afectadas de manera significativa. Describirá su evolución teniendo en cuenta el cambio climático esperado en el plazo de vigencia del plan o programa.
- 4. Problemas medioambientales existentes que sean relevantes para el plan o programa, incluyendo en particular los problemas relacionados con cualquier zona de especial importancia medioambiental, como las zonas designadas de conformidad con la legislación aplicable sobre espacios naturales y especies protegidas y los espacios protegidos de la Red Natura 2000.
- 5. Objetivos de protección medioambiental fijados en los ámbitos internacional, comunitario o nacional. Indicará la manera en que tales objetivos y cualquier aspecto medioambiental se han tenido en cuenta durante su elaboración.
- 6. Efectos significativos en el medio ambiente. En relación a la biodiversidad, la población, la salud humana, la fauna, la flora, la tierra, el agua, el aire, los factores climáticos, su incidencia en el cambio climático, en particular una evaluación adecuada de la huella de carbono asociada al plan o programa, los bienes materiales, el patrimonio cultural, el paisaje y la interrelación entre estos factores. Estos efectos deben comprender los efectos secundarios, acumulativos, sinérgicos, a corto, medio y largo plazo, permanentes y temporales, positivos y negativos.
- 7. Medidas previstas para prevenir, reducir y, en la medida de lo posible, compensar cualquier efecto negativo importante en el medio ambiente de la aplicación del plan o programa. Incluirá las necesarias para mitigar su incidencia sobre el cambio climático y permitir su adaptación al mismo.
- 8. Justificación de las alternativas elegidas. Se describirá como se realizó la evaluación, haciendo referencia tanto a las dificultades, como deficiencias técnicas o falta de conocimientos y experiencia que pudieran haberse encontrado a la hora de recabar la información requerida.
- 9. Programa de vigilancia ambiental. En el que se describirán las medidas previstas para el seguimiento.
- 10. Resumen de carácter no técnico. Recogerá la información facilitada en virtud de los epígrafes precedentes.

El procedimiento finaliza con la “declaración ambiental estratégica”, que tiene carácter de informe preceptivo, debiendo contener, entre otros aspectos, las determinaciones, medidas o condiciones finales que deben incorporarse al plan o programa que finalmente se adopte.

2.2.2. Evaluación ambiental estratégica simplificada

En el caso de la evaluación ambiental estratégica simplificada, el procedimiento que describe la norma es más simple que el anterior (figura 22.2). En él destaca la elaboración, por parte del promotor, de un documento ambiental estratégico cuyo contenido mínimo, según describe la norma, es el siguiente:

- 1. Objetivos de la planificación.
- 2. Alcance y contenido del plan propuesto. Describiendo las alternativas razonables, técnica y ambientalmente viables.
- 3. Desarrollo previsible del plan o programa.
- 4. Caracterización de la situación del medio ambiente antes del desarrollo del plan.
- 5. Efectos ambientales previsibles. Cuantificándolos si procede.
- 6. Efectos previsibles sobre los planes sectoriales y territoriales concurrentes.
- 7. Justificación de la aplicación del procedimiento de evaluación ambiental estratégica simplificada.
- 8. Justificación de las alternativas contempladas.
- 9. Medidas previstas para prevenir, reducir y, en la medida de lo posible, corregir cualquier efecto negativo relevante en el medio ambiente. Tomando en consideración el cambio climático.
- 10. Descripción de las medidas previstas para el seguimiento ambiental del plan.

El procedimiento finaliza con la elaboración, por parte del órgano ambiental, del “informe ambiental estratégico”. Dicho informe podrá determinar que el plan o programa debe someterse a la evaluación ambiental estratégica ordinaria, porque puede tener efectos significativos sobre el medio ambiente, o que dicho plan no tiene efectos adversos significativos sobre el mismo.

2.3. Evaluación de impacto ambiental

Al igual que en la evaluación ambiental de planes y programas, en la evaluación de impacto ambiental de proyectos se establece una “evaluación de impacto ambiental ordinaria”, para los proyectos recogidos en su anexo I, y una “evaluación de impacto ambiental simplificada”, para los proyectos recogidos en su anexo II.

2.3.1. Evaluación de impacto ambiental ordinaria

El procedimiento administrativo establecido para la evaluación de impacto ambiental ordinaria es similar al descrito para los planes y programas y consta, según establece la ley, de los siguientes trámites (figura 22.3): i) elaboración del estudio de impacto ambiental por el promotor, ii) sometimiento del proyecto y del estudio de impacto ambiental a información pública y consultas a las Administraciones públicas afectadas y

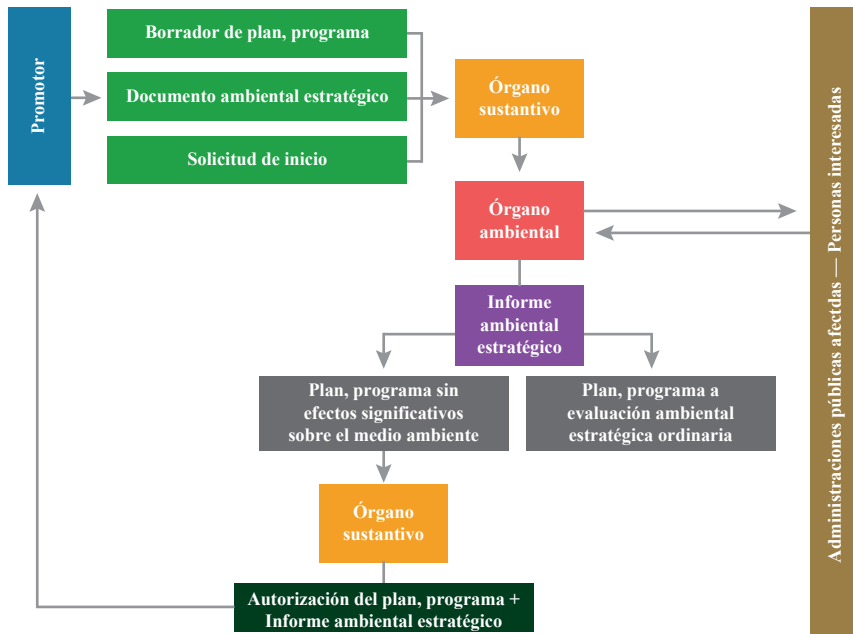


Figura 22.2. Esquema del procedimiento de evaluación ambiental estratégica simplificada de un plan o programa según la Ley 21/2013.

personas interesadas, por el órgano sustantivo, iii) análisis técnico del expediente por el órgano ambiental, iv) formulación de la declaración de impacto ambiental por el órgano ambiental, v) integración del contenido de la declaración de impacto ambiental en la autorización del proyecto por el órgano sustantivo. Previamente al inicio del expediente, se posibilita que el promotor solicite al órgano ambiental que elabore un documento de alcance del estudio de impacto ambiental.

El expediente se inicia, por tanto, con la presentación, por parte del promotor, del proyecto con el estudio de impacto ambiental (ver apartado 4 de este capítulo). El estudio de impacto ambiental es el documento técnico en el que se basa el procedimiento administrativo de evaluación de impacto ambiental. Se trata de una serie de informes ambientales que han de acompañar al proyecto que quiere llevar a cabo un determinado promotor para poder ser autorizado. El procedimiento concluye con la “declaración de impacto ambiental” realizada por el órgano ambiental. Según recoge la Ley 21/2013, esta declaración tendrá la naturaleza de informe preceptivo y determinante, y valorará los efectos significativos del proyecto en el medio ambiente y, en su caso, establecerá las condiciones en las que puede desarrollarse para la adecuada protección de los factores del medio analizados en el estudio de impacto ambiental durante la ejecución y la explotación del proyecto. Asimismo, establecerá, si procede, las medidas preventivas, correctoras y compensatorias necesarias. La declaración de impacto ambiental debe incluir, al menos, los siguientes apartados:

- a) La identificación del promotor del proyecto y del órgano sustantivo, y la descripción del proyecto.
- b) El resumen del resultado del trámite de información pública y de las consultas a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas, y cómo se han tenido en consideración.
- c) El resumen del análisis técnico realizado por el órgano ambiental.
- d) Si proceden, las condiciones que deban establecerse y las medidas que permitan prevenir, corregir y, en su caso, compensar los efectos adversos sobre el medio ambiente.
- e) En su caso, la conclusión de la evaluación de las repercusiones sobre la Red Natura 2000. Cuando se compruebe la existencia de un perjuicio a la integridad de la Red Natura 2000, se incluirá una referencia a la justificación documental efectuada por el promotor y, cuando procedan, las medidas compensatorias Red Natura 2000 que deban establecerse.
- f) El programa de vigilancia ambiental.
- g) Si procede, la creación de una comisión de seguimiento.

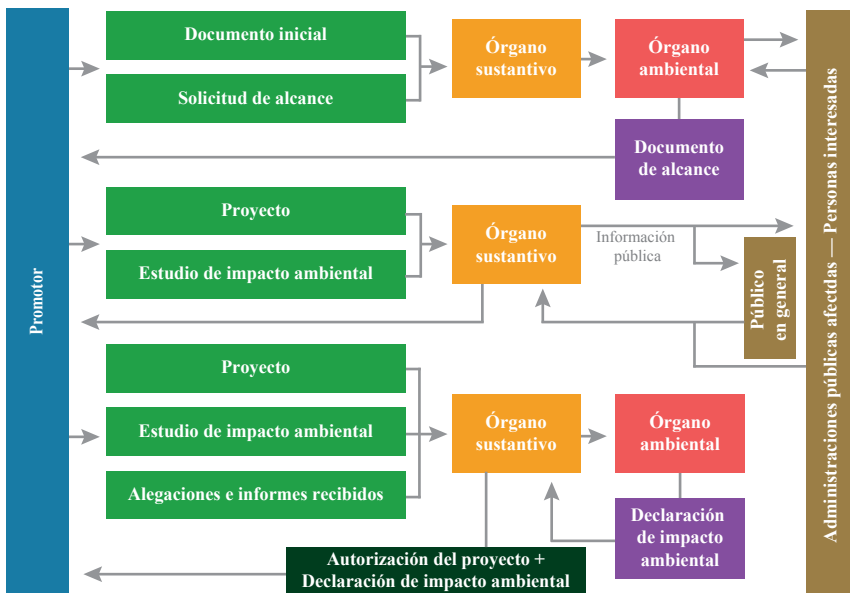


Figura 22.3. Procedimiento de evaluación de impacto ambiental ordinaria de proyectos según la Ley 21/2013.

Finalmente, el órgano sustantivo, en la autorización del proyecto, deberá incluir la siguiente información contenida en la declaración de impacto ambiental: i) la conclusión sobre los efectos significativos del proyecto en el medio ambiente y ii) las condiciones

ambientales establecidas, así como una descripción de las características del proyecto y las medidas previstas para prevenir, corregir y, si fuera posible, compensar los efectos adversos significativos en el medio ambiente, así como, en su caso, las medidas de seguimiento y el órgano encargado del mismo.

2.3.2. Evaluación de impacto ambiental simplificada

En el procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada (figura 22.4), el promotor presentará el proyecto junto con la solicitud de inicio y un documento ambiental. Este documento ambiental, según recoge la Ley 21/2013 deberá tener el siguiente contenido:

- a) Motivación de la aplicación del procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada.
- b) Definición, características y ubicación del proyecto.
- c) Exposición de las principales alternativas estudiadas. Deberá incluirse la alternativa cero, y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.
- d) Descripción de los aspectos medioambientales que puedan verse afectados de manera significativa por el proyecto.
- e) Descripción y evaluación de todos los posibles efectos significativos del proyecto en el medio ambiente. Se describirán y analizarán, en particular, los posibles efectos directos o indirectos, acumulativos y sinérgicos del proyecto sobre la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el medio marino, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores mencionados, durante las fases de ejecución y explotación. Cuando el proyecto pueda afectar directa o indirectamente a los espacios Red Natura 2000, se incluirá un apartado específico para la evaluación de sus repercusiones en el lugar, teniendo en cuenta los objetivos de conservación del espacio. Cuando el proyecto pueda causar a largo plazo una modificación hidromorfológica en una masa de agua superficial o una alteración del nivel en una masa de agua subterránea que puedan impedir que alcance el buen estado o potencial, o que puedan suponer un deterioro de su estado o potencial, se incluirá un apartado específico para la evaluación de sus repercusiones a largo plazo sobre los elementos de calidad que definen el estado o potencial de las masas de agua afectadas.
- f) Identificación, descripción, análisis y si procede, cuantificación de los efectos esperados sobre los factores antes enumerados, derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes.
- g) Medidas que permitan prevenir, reducir y compensar y, en la medida de lo posible, corregir, cualquier efecto negativo relevante en el medio ambiente de la ejecución del proyecto.
- h) Seguimiento que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras contenidas en el documento ambiental.

La finalización del procedimiento se produce con la redacción del “informe de impacto ambiental” por parte del órgano ambiental. En dicho informe se puede indicar que el proyecto debe someterse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental ordinaria (figura 22.3) porque podría tener efectos significativos sobre el medio ambiente o que el proyecto no tiene tales efectos adversos. En este caso, el informe de impacto ambiental indicará las características del proyecto y las medidas previstas para prevenir los posibles efectos adversos significativos para el medio ambiente.

Emitido el informe de impacto ambiental por el órgano ambiental, el órgano sustantivo tomará la decisión sobre la autorización del proyecto. En dicha decisión incluirá como mínimo, según establece la ley: “a) La conclusión del informe de impacto ambiental sobre los efectos significativos del proyecto en el medio ambiente y b) Las condiciones ambientales establecidas en el informe de impacto ambiental, así como una descripción de las características del proyecto y las medidas previstas para prevenir, corregir y compensar y, si fuera posible, contrarrestar efectos adversos significativos en el medio ambiente, así como, en su caso, medidas de seguimiento y el órgano encargado del mismo”.

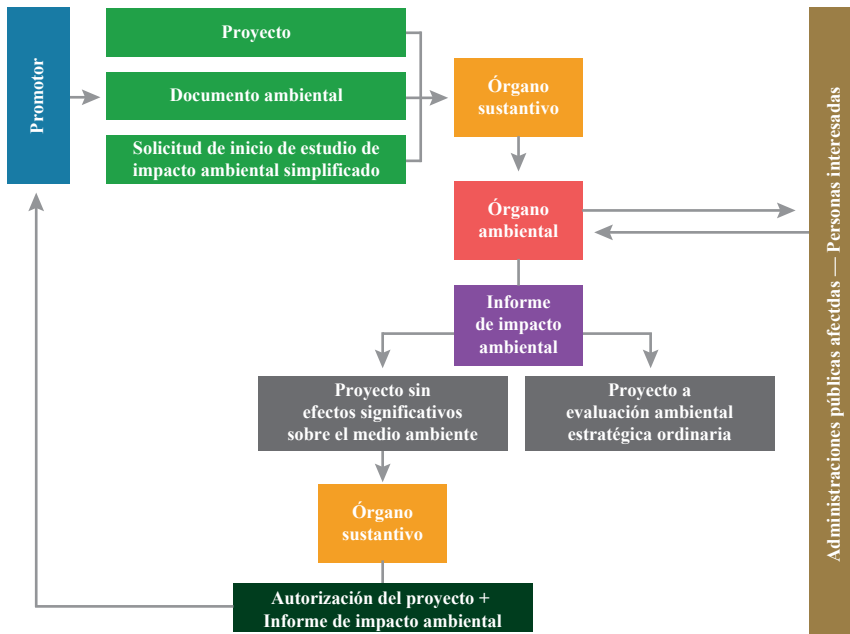


Figura 22.4. Procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada de proyectos según la Ley 21/2013.

3. La evaluación ambiental de los proyectos de repoblación forestal

Como cuestión previa conviene hacer algunas precisiones relacionadas con la normativa de evaluación de impacto ambiental y las repoblaciones forestales.

La primera es de naturaleza semántica. El término “impacto”, empleado habitualmente en la legislación española, se interpreta en lenguaje corriente, además de como sinónimo de golpe violento, como influencia negativa con una connotación claramente peyorativa. No obstante, en su acepción legal y técnica se debe entender como sinónimo de influencia o repercusión, tal como hace la legislación europea. La imprecisa traducción de un término sajón provoca una vez más cierta perplejidad, pues las repercusiones de la repoblación forestal bien proyectada y ejecutada son favorables.

La segunda se refiere a que el concepto de “medio ambiente”, que es interpretado de forma variable, según el contexto en que se expresa. A los efectos de analizar un impacto ambiental, hay que hacer notar que la interpretación inmediata es considerar que ese medio ambiente, que sufre un impacto, es algo siempre perfecto, equilibrado y que merece permanecer indefinidamente en ese estado. Y esto puede ser una interpretación claramente errónea. Como ejemplo se puede citar la instalación de una depuradora de aguas residuales en un río contaminado (medio ambiente), que es una actividad de impacto positivo.

La tercera precisión se refiere a que, estudiando comparativamente la normativa europea y la española, el protagonismo de la repoblación forestal en aquella, comparando con actividades mineras, industriales o de obras públicas, es mucho menor que el que se le ha venido otorgando en la normativa española.

Por tanto, en adelante y al usar la terminología impuesta por las normas administrativas relativa a impacto ambiental, se debe interpretar como influencia de actividades humanas en un medio no siempre equilibrado y que, por otra parte, puede y debe ser utilizado, eso sí racionalmente, por el hombre.

En Serrada (2000) se hace una enumeración cronológica de las disposiciones legales relativas a la evaluación del impacto ambiental de las repoblaciones forestales, seguida de un breve comentario sobre su contenido. Algunas de ellas se recogen íntegramente en el apartado de anexos de dicha publicación.

La primera norma en España sobre evaluación de impacto ambiental (Real Decreto 1302/1986) estableció que debían someterse a evaluación de impacto ambiental “las primeras repoblaciones cuando entrañen riesgos de graves transformaciones negativas”. Entendía por primeras repoblaciones todas las plantaciones o siembras de especies forestales sobre suelos que, durante los últimos cincuenta años, no hubieran estado sensiblemente cubiertos por árboles de las mismas especies que las que se trataban de introducir, y todas aquellas que pretendían ejecutarse sobre terrenos que en los últimos diez años hubiesen estado desarbolados. Paralelamente, las comunidades autónomas fueron desarrollando sus legislaciones ambientales en las que, en algunos casos, se ampliaba la tipología de proyectos de repoblación que debían someterse a evaluación de impacto ambiental (Pemán y Alcázar 1999).

Casi treinta años después, con la Ley 21/2013, la tipología de proyectos de repoblación forestal que deben someterse a evaluación de impacto ambiental presenta ligeras modificaciones (tablas 22.2 y 22.3, figuras 22.5 y 22.6). La nueva redacción simplifica y clarifica lo dispuesto en normativas anteriores en lo que hace referencia al papel de las especies en la sucesión, la probabilidad de afección a diferentes factores y la ausencia

de tamaños mínimos, que generaban un gran confusiónismo. En la nueva redacción, la necesidad de evaluación de impacto ambiental, bien ordinaria o simplificada, responde a tres criterios básicamente: i) el lugar donde se realiza, en el sentido de si es un espacio natural protegido por normas nacionales o internacionales, ii) el cambio de uso de suelo, es decir, si es una forestación, iii) un criterio de extensión.

Tabla 22.2. Tipología de proyectos de repoblación forestal que estarían sujetos a evaluación de impacto ambiental ordinaria (en tipología se han mantenido los epígrafes de la normativa reseñada en la tabla 22.1 correspondiente).

Ámbito	Tipología de proyectos de repoblación
Estado	<p>Grupo 9. Otros proyectos</p> <p>a) Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.</p> <p>2. Proyectos para destinar áreas incultas o áreas seminaturales a la explotación agrícola o aprovechamiento forestal maderero que impliquen la ocupación de una superficie mayor de 10 ha.</p> <p>b) Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo⁽¹⁾ en una superficie igual o superior a 100 ha</p>
Castilla-La Mancha	Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha
Extremadura	<p>Proyectos para destinar áreas incultas o áreas seminaturales, incluyendo superficies que no se hayan cultivado en los últimos 15 años, a la explotación agrícola o aprovechamiento forestal maderero que impliquen la ocupación de una superficie mayor de 50 ha o de 10 ha en caso que se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad</p> <p>Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha</p>
Islas Baleares	<p>Los proyectos siguientes, cuando se desarrollan en espacios naturales protegidos o espacios protegidos Red Natura 2000, de acuerdo con la Ley 42/2007 y la Ley 5/2005, en zonas húmedas incluidas en la lista del Convenio de Ramsar y en zonas especialmente protegidas de importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) del Convenio para la protección del medio marino y de la región costera del Mediterráneo:</p> <p>1. Primeras repoblaciones forestales no protectoras cuando supongan riesgos de graves transformaciones ecológicas negativas.</p> <p>2. Transformaciones de usos del suelo, en más de 1 ha, que impliquen eliminación de la cubierta vegetal cuando supongan un riesgo de graves transformaciones ecológicas negativas.</p>

⁽¹⁾A los efectos de esta ley se entenderá por cambio de uso del suelo la transformación de cualquier uso de suelo rural entre sí (agrícola, ganadero, forestal, cinegético o cualquier otro vinculado a la utilización racional de los recursos naturales) cuando suponga una alteración sustancial de la cubierta vegetal o la transformación del uso de suelo rural en suelo urbanizado. Asimismo, se entenderá por terrenos incultos y áreas seminaturales los terrenos que nunca han sido cultivados o aquellos que habiéndolo sido, han sufrido un abandono de dicha actividad que cumplan las condiciones y plazos que determine la Ley de Montes y que ha permitido que hayan sido poblados por vegetación forestal leñosa).

Tabla 22.3. Tipología de proyectos de repoblación forestal que estarían sujetos a evaluación de impacto ambiental simplificada (en tipología se han mantenido los epígrafes de la normativa reseñada en la tabla 22.1 correspondiente).

Ámbito	Tipología de proyectos de repoblación
Unión Europea	d) Plantación inicial de masas forestales y talas de masas forestales con propósito de cambiar a otro tipo de uso del suelo.
Estado	Grupo 1. Agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería b) Forestaciones según la definición del artículo 6.g) de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, que afecten a una superficie superior a 50 ha y talas de masas forestales con el propósito de cambiar a otro tipo de uso del suelo Grupo 9. Otros proyectos m) Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 50 ha Grupo 10. Los siguientes proyectos que se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad c) Cualquier proyecto no contemplado en el presente anexo II que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 10 ha.
Islas Baleares	5. Introducción de especies exóticas vegetales o faunísticas, excepto plantas de cultivo agrícola o de ganado doméstico 6. Repoblaciones forestales de extensión superior a 50 ha, y a partir de 10 ha cuando impliquen graves transformaciones ecológicas negativas o bien la utilización de especies no autóctonas
Canarias	Repoblaciones forestales, según la definición del artículo 6 f) de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, que afecten a una superficie superior a 10 hectáreas.
Castilla-La Mancha	Lo dispuesto en la legislación del Estado
Extremadura	Forestaciones según la definición del artículo 6.g) de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, que afecten a una superficie superior a 25 ha y talas de masas forestales con el propósito de cambiar a otro tipo de uso del suelo Las primeras repoblaciones con una superficie superior a 25 ha o cualquier superficie en área protegida, cuando entrañen riesgos de graves transformaciones ecológicas negativas.

En líneas generales, el documento ambiental debería incluirse en todos los proyectos de repoblación forestal que se realicen, independientemente de su cabida, su objetivo preferente y las especies a utilizar. Este estudio es recomendable por los siguientes motivos:

- Para que el proyectista pueda exponer que el resultado, a corto, medio y largo plazo, de sus propuestas no comprometen valores ambientalmente significativos.
- Porque, en la normativa, el fraccionamiento de proyectos de igual naturaleza y realizados en el mismo espacio físico no impedirá la aplicación de los umbrales establecidos, a cuyos efectos se acumularán las magnitudes o dimensiones de cada uno de los proyectos considerados, siendo frecuente que los proyectos de repoblación en años sucesivos en la misma comarca puedan superar estos umbrales.
- Para considerar la amplia extensión de los espacios comprendidos en la Red Natura 2000 en el ámbito forestal.

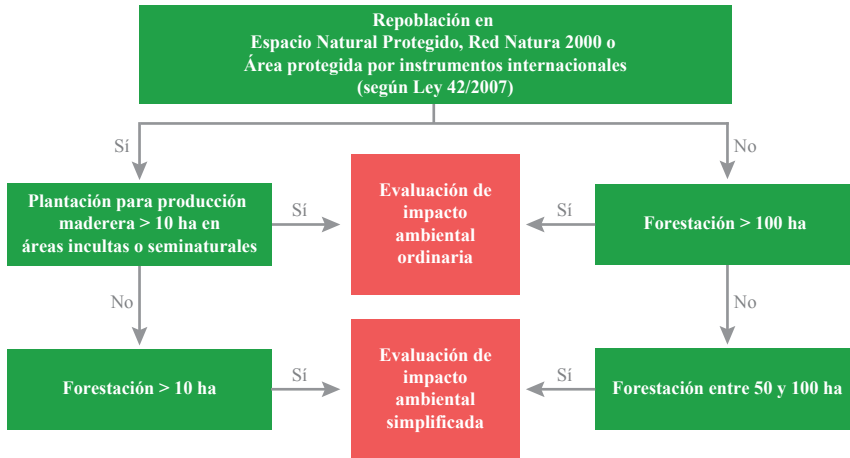


Figura 22.5. Proyectos de repoblación forestal que estarían sometidos a evaluación ambiental ordinaria y simplificada según la Ley 21/2013 (según la ley, se entienden por terrenos incultos y áreas seminaturales los terrenos que nunca han sido cultivados o aquellos que habiéndolo sido, han sufrido un abandono de dicha actividad que cumplan las condiciones y plazos que determine la Ley de Montes y que ha permitido que hayan sido poblados por vegetación forestal leñosa).



Plantación de *Juglans regia* y *Prunus avium*.



Forestación con *Quercus suber*.

Figura 22.6. Ejemplos de tipos de repoblación que podrían estar sometidos a evaluación de impacto ambiental (fotos: J Pemán).

4. Estudio de impacto ambiental

En la evaluación de impacto ambiental ordinaria la ley exige al promotor que presente, conjuntamente con el proyecto, un estudio de impacto ambiental. El contenido de este estudio lo precisa la norma en sus anejos, y comprenderá:

- **a) Objeto y descripción del proyecto y sus acciones.** En las fases de ejecución, explotación y desmantelamiento. En la descripción del proyecto se incluirá:
 - Localización.
 - Relación de todas las acciones inherentes a la actuación de que se trate, mediante un examen detallado tanto de la fase de su realización como de su funcionamiento.
 - Descripción de los materiales a utilizar, suelo a ocupar, y otros recursos naturales cuya eliminación o afectación se considere necesaria para la ejecución del proyecto.
 - Descripción de los tipos, cantidades y composición de los residuos, vertidos, emisiones o cualquier otro elemento derivado de la actuación. En especial, ruidos, vibraciones, olores, emisiones luminosas, emisiones de partículas, etc.
 - Examen multicriterio de las distintas alternativas que resulten ambientalmente más adecuadas, incluida la alternativa cero, o de no actuación, y que sean técnicamente viables, así como una justificación de la solución propuesta que tendrá en cuenta diversos criterios, entre los que estará el ambiental. La selección de la mejor alternativa deberá estar soportada por un análisis global multicriterio donde se tenga en cuenta no sólo aspectos económicos sino también los de carácter social y ambiental.
 - Descripción de las exigencias previsibles en el tiempo, en orden a la utilización del suelo y otros recursos naturales, para cada alternativa examinada.
- **b) Examen de alternativas del proyecto.** Las que resulten ambientalmente más adecuadas y que sean técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.
- **c) Inventario ambiental y descripción de los procesos e interacciones ecológicas o ambientales claves.** El inventario comprenderá, al menos, los siguientes aspectos:
 - Estudio del estado del lugar y de sus condiciones ambientales antes de la realización de las obras, así como de los tipos existentes de ocupación del suelo y aprovechamientos de otros recursos naturales, teniendo en cuenta las actividades preexistentes.
 - Identificación, censo, inventario, cuantificación y, en su caso, cartografía, de todos los aspectos ambientales que puedan ser afectados por la actuación proyectada, incluido el paisaje en los términos del Convenio Europeo del Paisaje.
 - Descripción de las interacciones ecológicas claves y su justificación.
 - Delimitación y descripción cartografiada del territorio afectado por el proyecto para cada uno de los aspectos ambientales definidos.
 - Estudio comparativo de la situación ambiental actual, con la actuación derivada del proyecto objeto de la evaluación, para cada alternativa examinada.

Las descripciones y estudios anteriores se harán de forma sucinta en la medida en que fueran precisas para la comprensión de los posibles efectos del proyecto sobre el medio ambiente.

- **d) Identificación y valoración de impactos.** Tanto en la solución propuesta como de sus alternativas. Se incluirá la identificación, cuantificación y valoración de los efectos ambientales significativos previsible de las actividades proyectadas para cada alternativa examinada. En su caso, se incluirán las modelizaciones necesarias para completar el inventario ambiental, e identificar y valorar los impactos del proyecto.

Necesariamente, la identificación de los impactos ambientales derivará del estudio de las interacciones entre las actividades del proyecto y las características específicas de los aspectos ambientales afectados en cada caso concreto, incluido el paisaje en los términos del Convenio Europeo del Paisaje.

Se distinguirán los efectos positivos de los negativos; los temporales de los permanentes; los simples de los acumulativos y sinérgicos; los directos de los indirectos; los reversibles de los irreversibles; los recuperables de los irrecuperables; los periódicos de los de aparición irregular; los continuos de los discontinuos. Igualmente, se indicarán los impactos compatibles, moderados, severos y críticos que se prevean como consecuencia de la ejecución del proyecto.

La cuantificación de los efectos significativos sobre el medio ambiente consistirá en la identificación y descripción, mediante datos mensurables de las variaciones previstas de los hábitats y de las especies afectadas como consecuencia de la ejecución del proyecto. Se medirán, en particular, las variaciones previstas en:

- Superficie del hábitat o tamaño de la población afectada directa o indirectamente a través de las cadenas tróficas, o de los vectores ambientales, en concreto, flujos de agua, residuos, energía o atmosféricos; suelo, ribera del mar y de las rías. Para ello se utilizarán, unidades biofísicas del hábitat o especie afectadas.
- La intensidad del impacto con indicadores cuantitativos y cualitativos. En caso de no encontrar un indicador adecuado al efecto, podrá diseñarse una escala que represente en términos de porcentaje las variaciones de calidad experimentadas por los hábitats y especies afectados.
- La duración, la frecuencia y la reversibilidad de los efectos que el impacto ocasionará sobre el hábitat y especies.
- La abundancia o número de individuos, su densidad o la extensión de su zona de presencia.
- La diversidad ecológica medida, al menos, como número de especies o como descripción de su abundancia relativa.
- La rareza de la especie o del hábitat (evaluada en el plano local, regional y superior, incluido el plano comunitario), así como su grado de amenaza.
- La variación y cambios que vayan a experimentar, entre otros, los siguientes parámetros del hábitat y especie afectado:
 - El estado de conservación.
 - El estado ecológico cuantitativo.
 - La integridad física.
 - La estructura y función.

La valoración de estos efectos se realizará, siempre que sea posible, a partir de la cuantificación, empleándose para ello, aquellas metodologías contempladas en normas o estudios técnicos que sean aplicación. Se jerarquizarán los impactos ambientales identificados y valorados, para conocer su importancia relativa

- **e) Evaluación de las repercusiones del proyecto en la Red Natura 2000.** En el caso de que el proyecto afectará a espacios Red Natura 2000 se cuantificarán singularmente las variaciones en los elementos esenciales de los hábitats y especies que motivaron su designación. En particular, se describirá:
 - Estructura y función de los componentes del sistema ecológico e identificación de los procesos ecológicos esenciales del lugar.
 - Área, representatividad y estado de conservación de los hábitats prioritarios y no prioritarios del lugar.
 - Tamaño de la población, grado de aislamiento, ecotipos o poblaciones localmente adaptadas, grupo genético, estructura de edades y estado de conservación de las especies presentes en el lugar en cuestión.
 - Importancia relativa del lugar en la región biogeográfica y en la coherencia de la red Natura 2000.
 - Otros elementos y funciones ecológicas identificadas en el lugar.
- **f) Medidas preventivas, correctoras y compensatorias.** Se indicarán las medidas previstas para prevenir, reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos significativos, de las distintas alternativas del proyecto. Con este fin:
 - Se describirán las medidas adecuadas para prevenir, atenuar o suprimir los efectos ambientales negativos de la actividad, tanto en lo referente a su diseño y ubicación, como en cuanto a los procedimientos de anticontaminación, depuración, y dispositivos genéricos de protección del medio ambiente.
 - En defecto de las anteriores medidas, se describirán las dirigidas a compensar dichos efectos, a ser posible con acciones de restauración, o de la misma naturaleza y efecto contrario al de la acción emprendida.
 - El presupuesto del proyecto incluirá estas medidas con el mismo nivel de detalle que el resto del proyecto, en un apartado específico, que se incorporará al estudio de impacto ambiental.
- **g) Programa de vigilancia y seguimiento ambiental.** El programa de vigilancia ambiental establecerá un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas, preventivas y correctoras y compensatorias contenidas en el estudio de impacto ambiental tanto en la fase de ejecución como en la de explotación. Este programa atenderá a la vigilancia durante la fase de obras y al seguimiento durante la fase de explotación del proyecto. Los objetivos perseguidos son los siguientes:
 - Vigilancia ambiental durante la fase de obras:
 - Detectar y corregir desviaciones, con relevancia ambiental, respecto a lo proyectado en las actividades de construcción.
 - Supervisar la correcta ejecución de las medidas ambientales.

- Determinar la necesidad de suprimir, modificar o introducir nuevas medidas.
- Seguimiento de la evolución de los elementos ambientales relevantes.
- Alimentar futuros estudios de impacto ambiental.
- Seguimiento ambiental durante la fase de explotación. El estudio de impacto ambiental justificará la extensión temporal de esta fase considerando la relevancia ambiental de los efectos adversos previstos.
 - Verificar la correcta evolución de las medidas aplicadas en la fase de obras.
 - Seguimiento de la respuesta y evolución ambiental del entorno a la implantación de la actividad.
 - Alimentar futuros estudios de impacto ambiental.

El presupuesto del proyecto incluirá la vigilancia y seguimiento ambiental, en fase de obras y en la fase de explotación, en un apartado específico, el cual se incorporará al estudio de impacto ambiental.

- **h) Documento de síntesis.** Este documento deberá hacer referencia a:
 - Las conclusiones relativas a la viabilidad de las actuaciones propuestas.
 - Las conclusiones relativas al análisis y evaluación de las distintas alternativas.
 - La propuesta de medidas preventivas correctoras compensatorias y el programa de vigilancia tanto en la fase de ejecución de la actividad proyectada como en la de su funcionamiento y, en su caso, el desmantelamiento.

El documento de síntesis no debe exceder de veinticinco páginas y se redactará en términos asequibles a la comprensión general. Se indicarán, asimismo, las dificultades informativas o técnicas encontradas en la realización del estudio con especificación del origen y causa de tales dificultades.

Conceptos técnicos para los estudios de impacto ambiental (Anexo VI de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental)

- a) Efecto significativo: aquel que se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos naturales, o de sus procesos fundamentales de funcionamiento, que produzca o pueda producir en el futuro repercusiones apreciables en los mismos.
- b) Efecto positivo: aquel admitido como tal, tanto por la comunidad técnica y científica como por la población en general, en el contexto de un análisis completo de los costes y beneficios genéricos y de las externalidades de la actuación contemplada.
- c) Efecto negativo: aquel que se traduce en pérdida de valor naturalístico, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica, o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación, de la erosión o colmatación y demás riesgos ambientales en discordancia con la estructura ecológico-geográfica, el carácter y la personalidad de una localidad determinada.
- d) Efecto directo: aquel que tiene una incidencia inmediata en algún aspecto ambiental.

- e) Efecto indirecto: aquel que supone incidencia inmediata respecto a la interdependencia, o, en general, respecto a la relación de un sector ambiental con otro.
- f) Efecto simple: aquel que se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación, ni en la de su sinergia.
- g) Efecto acumulativo: aquel que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecerse de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento del agente causante del daño.
- h) Efecto sinérgico: aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente. Asimismo, se incluye en este tipo aquel efecto cuyo modo de acción induce en el tiempo la aparición de otros nuevos.
- i) Efecto permanente: aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo de factores de acción predominante en la estructura o en la función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales presentes en el lugar.
- j) Efecto temporal: aquel que supone alteración no permanente en el tiempo, con un plazo temporal de manifestación que puede estimarse o determinarse.
- k) Efecto reversible: aquel en el que la alteración que supone puede ser asimilada por el entorno de forma medible, a medio plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica, y de los mecanismos de autodepuración del medio.
- l) Efecto irreversible: aquel que supone la imposibilidad, o la «dificultad extrema», de retornar a la situación anterior a la acción que lo produce.
- m) Efecto recuperable: aquel en que la alteración que supone puede eliminarse, bien por la acción natural, bien por la acción humana, y, asimismo, aquel en que la alteración que supone puede ser reemplazable.
- n) Efecto irrecuperable: aquel en que la alteración o pérdida que supone es imposible de reparar o restaurar, tanto por la acción natural como por la humana.
- o) Efecto periódico: aquel que se manifiesta con un modo de acción intermitente y continua en el tiempo.
- p) Efecto de aparición irregular: Aquel que se manifiesta de forma imprevisible en el tiempo y cuyas alteraciones es preciso evaluar en función de una probabilidad de ocurrencia, sobre todo en aquellas circunstancias no periódicas ni continuas, pero de gravedad excepcional.
- q) Efecto continuo: aquel que se manifiesta con una alteración constante en el tiempo, acumulada o no.
- r) Efecto discontinuo: aquel que se manifiesta a través de alteraciones irregulares o intermitentes en su permanencia.
- s) Impacto ambiental compatible: aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa medidas preventivas o correctoras.

t) Impacto ambiental moderado: aquel cuya recuperación no precisa medidas preventivas o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.

u) Impacto ambiental severo: aquel en el que la recuperación de las condiciones del medio exige medidas preventivas o correctoras, y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa un período de tiempo dilatado.

v) Impacto ambiental crítico: aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

x) Impacto residual: pérdidas o alteraciones de los valores naturales cuantificadas en número, superficie, calidad, estructura y función, que no pueden ser evitadas ni reparadas, una vez aplicadas in situ todas las posibles medidas de prevención y corrección.

5. Peculiaridades de los estudios de impacto ambiental de las repoblaciones forestales

El estudio de impacto ambiental de las repoblaciones forestales tiene unas peculiaridades específicas que le apartan de la metodología general descrita, más adecuada a la evaluación de actividades extractivas, industriales o de obras civiles, en las que los posibles vertidos, la forma de las instalaciones y sus correspondientes efectos tienden a ser constantes en el tiempo. De entre las peculiaridades propias de la repoblación forestal, cuya consideración tiene que facilitar la redacción de los estudios de evaluación de impacto ambiental específicos, destacan las siguientes:

- **Plazos.** La repoblación forestal actúa de forma cambiante sobre el medio a lo largo del tiempo, independientemente de su extensión. Hay un impacto, que se puede denominar instantáneo, derivado del proceso de ejecución de la repoblación con efecto durante dos o tres años. Le sigue un tiempo de evolución de la masa creada, equivalente a un primer turno, cuya duración está comprendida entre 12 y 120 años en el que la silvicultura que le sea aplicada puede modificar los efectos de la misma (figura 22.7). Finalmente, se abre un período de tiempo indefinido, que serán los siguientes turnos tras el aprovechamiento y regeneración de la masa inicial, en el que se puede y se debe revisar la composición específica, el método de beneficio y la forma principal de masa. En aspectos como la captura de carbono, autores como Bernal *et al.* (2018) separaron en períodos de 0 a 20 años, entre 20 y 60 años y por encima de 60 para cuantificar y comparar el impacto de distintos tipos de masas forestales establecidas para restauración. López-Borja *et al.* (2016) también determinaron tres clases de edad, de 0 a 20 años, entre 20 y 80 años y de 80 a 100 años, para la identificación de los efectos de repoblaciones de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* sobre propiedades de suelo y actividad enzimática. Otro ejemplo puede ser en el caso de la conservación de los recursos agua y suelo donde por ejemplo Filoso *et al.* (2017) consideró una duración de hasta 100 años para describir el impacto de distintos tipos de repoblaciones forestales sobre las



Figura 22.7. Ejemplo de efecto del tiempo como factor de notable influencia en los efectos de la repoblación sobre el medio ambiente: aspecto de una repoblación de la ejecución del proyecto, pasados 15 años, hasta más de 60 años (fotos: J Pemán).

aportaciones hídricas en cuencas mientras que Yuan *et al.* (2009) determinaron que la capacidad de atrape de sedimentos de *buffers* de vegetación alrededor de cauces hídricos estaban principalmente determinados por su anchura, el tipo de vegetación, y su espaciamento y densidad, aspectos evidentemente regulados por la edad o el plazo considerado.

Por tanto, los plazos de estudio en las repoblaciones forestales son muy diferentes de otros plazos a considerar en otras actividades, como pueden ser las industrias, la urbanización o las obras cuyas repercusiones suelen evaluarse corto o medio plazo. El desmantelamiento, o sea, la corta a hecho y cambio de uso del suelo, siempre es posible en este caso, al contrario que en otras muchas actividades o instalaciones. Por tanto, el efecto de la repoblación forestal es recuperable en todo caso y, por lo dispuesto en la normativa vigente, su desmantelamiento requiere a su vez evaluación ambiental simplificada si supera las 50 ha, pues se trata de un cambio de uso del suelo.

- **El objetivo protector.** Cuando se trata de repoblaciones protectoras sobre territorios en los que la manifestación de los fenómenos erosivos es intensa e indefinida, sin que se pueda prever que éstos cesen en un plazo razonable tras eliminar las causas que los determinaron, el diagnóstico del impacto de la actuación deberá ser comparado con el impacto de la pasividad o de la ausencia de actuaciones de repoblación.

Ampliando la escala temporal de diagnóstico, se puede decir que las repoblaciones protectoras son la aplicación de medidas correctoras de los impactos negativos sobre el suelo causadas por actividades humanas más o menos remotas temporalmente sobre el territorio y que consistieron en: cortas anticulturales; roturaciones agrícolas; pastoreo inadecuado; incendios forestales,

y la combinación sucesiva de las mismas. Autores como Vadell *et al.* (2016) destacaron las repoblaciones forestales de este tipo realizadas en el territorio nacional durante la primera mitad del siglo XX para controlar las grandes riadas y pérdidas de suelo asociadas a la alta deforestación registradas en la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX como consecuencia de incendios forestales y de la fuerte presión agrícola en áreas forestales públicas (figura 22.8). En el mismo orden de ideas se puede considerar a los tratamientos selvícolas posteriores en la masa artificial protectora, como el plan de seguimiento de dichas medidas correctoras.

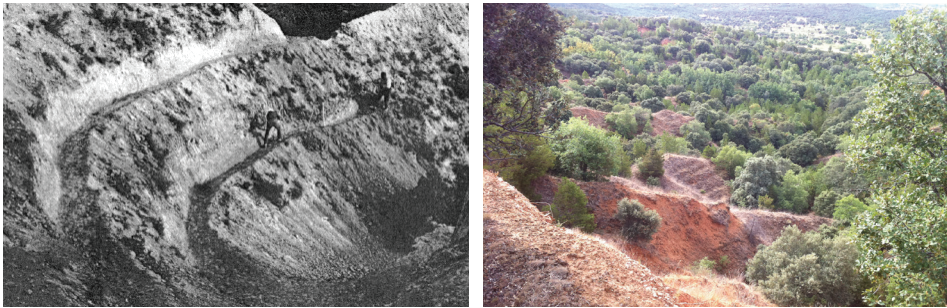


Figura 22.8. Repoblaciones en terrenos erosionables en Castillejo de Mesleón (Segovia) en 1964 y en la actualidad (foto actual: J Pemán).

- **Separación de epígrafes y sus contenidos.** El objetivo de conseguir la estabilidad de la masa en equilibrio con el medio, incorporado propiamente al concepto de repoblación forestal, conduce a que el proyecto de repoblación se realice y diseñe en relación al estudio del medio natural.

Las decisiones sobre la actividad repobladora y sus posibles alternativas se han de tomar en concordancia con las características y restricciones del medio así como las medidas correctoras de los posibles impactos negativos que pudiera tener un proyecto de repoblación defectuoso. Estas decisiones consisten en la adecuada elección de las especies, los objetivos y los procedimientos de la repoblación a lo largo del proyecto. Por tanto, en el caso de las repoblaciones forestales es muy difícil deslindar independientemente los cuatro primeros puntos de la estructura clásica de un estudio de impacto ambiental: a) objeto y descripción del proyecto y sus acciones; b) examen de alternativas del proyecto; c) inventario ambiental y descripción de los procesos e interacciones ecológicas o ambientales claves; d) identificación y valoración de impactos.

Por otra parte, en las metodologías aplicadas en actividades como industrias u obras públicas, el autor del proyecto y sus alternativas (los dos primeros epígrafes del estudio de impacto ambiental), -por razón de especialidad académica-, es diferente del autor de la descripción del medio y de la identificación de impactos (los epígrafes 3 y 4 del estudio de impacto ambiental). Sin embargo, en el caso de repoblaciones forestales las autorías pueden ser coincidentes, y por tanto, la de todos los epígrafes del estudio de impacto ambiental.

- **Extensión.** De acuerdo a las características del medio natural y de los elementos unitarios que definen una repoblación concreta a realizar sobre él, los efectos son variables en función de la superficie afectada. Quiere esto decir que además de la evaluación positiva que toda repoblación debe tener, hay que valorar la trascendencia de su extensión, lo que conduce inevitablemente a la necesidad de que los estudios de este tipo se extiendan a grandes comarcas, definidas preferentemente por cuencas hidrográficas (figura 22.9).

La Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, en su artículo 31, ofrece una buena oportunidad para la realización de estos estudios comarcales a través de los “planes de ordenación de los recursos forestales” (PORFs). El estudio de impacto ambiental de las repoblaciones, y del conjunto de las actuaciones propuestas en un plan de ordenación de los recursos forestales resultan instrumentos muy útiles para exponer al conjunto de la sociedad la bondad y el interés de abordar una gestión forestal bien proyectada en términos de un diseño apropiado a los rasgos biogeofísicos del territorio. En sus aspectos formales, si el plan de ordenación de los recursos forestales incluye algún espacio de la Red Natura 2000, se tramitará un procedimiento de evaluación ambiental estratégica.

- **Discusión sobre el análisis de alternativas.** El análisis de alternativas para el estudio de impacto ambiental de una autopista puede y debe contemplar varias posibilidades de trazado y su comparación a estos efectos. Semejante conclusión se puede obtener para el emplazamiento de una industria o de una central térmica o para el modo de explotación minera en una cantera. Sin embargo, como ha quedado patente en varios capítulos de esta obra, en el proceso de planificación y proyecto de la repoblación forestal en un rodal o en un conjunto de rodales, el análisis de alternativas y la decisión más correcta se va produciendo paso a paso, en un proceso encadenado e inseparable. Estas decisiones se van tomando teniendo en cuenta factores ecológicos, económicos y sociales, con el fin de que la nueva masa sea estable, mitigue los procesos de degradación sobre los que se pretende actuar, se realice sin perjuicio para la sociedad y al menor coste posible.

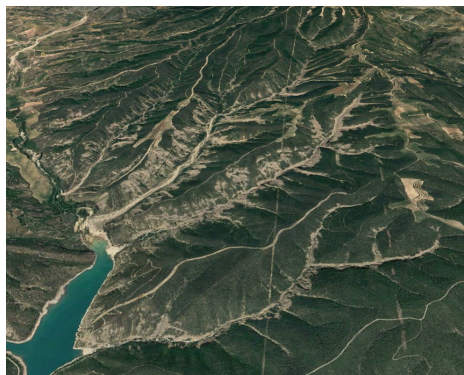


Figura 22.9. Repoblaciones de carácter protector en el río Noguera Ribagorzana en la cabecera del embalse de Canelles (foto: J Pemán).

Se podría concluir tras las reflexiones anteriores que toda repoblación forestal correctamente proyectada deberá tener efectos positivos en el medio, al menos, siguiendo los criterios legales y socioeconómicos presentes, los cuales pueden ser juzgados como inapropiados en el futuro de acuerdo a las concepciones cambiantes de las sociedades modernas. Se puede dar por válida la afirmación, si se discuten las siguientes cuestiones, que en los dos niveles de planificación y ejecución, engloban las más importantes decisiones del proyecto de repoblación forestal.

- **Planificación.** La primera consiste en responder a las preguntas: ¿dónde repoblar?, ¿cuánto repoblar? y ¿por qué repoblar? En esta fase es en la que se pueden manifestar con mayor frecuencia los efectos negativos de la repoblación forestal si se cometen errores de diagnóstico, y en caso de producirse éstos, la decisión es descartar la ejecución, siempre que el hacerla supere los límites del sentido común. Este planteamiento puede ser ejemplificado por el caso de pretender destruir una formación boscosa preexistente con prácticas anticulturales para posteriormente introducir una nueva masa forestal.

Ahora bien, si en el estudio previo del lugar en donde se quiere repoblar se detecta que la formación vegetal existente no cubre los objetivos económicos o protectores que puedan corresponder a ese territorio en la planificación requerida, carece de complejidad, está mal conservada, y/o no tiene una especial significación por su rareza o singularidad; en definitiva, no cumple con los objetivos y funciones que actualmente demanda la sociedad y, por otra parte, se plantea la ejecución en superficies razonables cuyo impacto se espera favorable, se habrá respondido a las preguntas planteadas sobre el lugar, el objetivo y la superficie de la repoblación (dónde, por qué y cuánto) (figura 22.10). Todas las alternativas posibles en este proceso deberían ser analizadas, y las más favorables, justificadas y valoradas.

- **Ejecución.** En una segunda fase se deberá responder a las preguntas: ¿con qué repoblar? y ¿cómo repoblar?

Se trata, una vez decidida la conveniencia y el objetivo de la repoblación en un rodal concreto, de analizar separadamente la idoneidad y los efectos de las especies elegidas en ese largo plazo del primer turno apuntado anteriormente, y de cada una de las operaciones que componen la ejecución de la repoblación en función del procedimiento concreto y en relación con los factores ambientales, económicos, sociales y culturales que puedan ser afectados, a corto plazo (figura 22.11).

También en esta fase, la cadena de decisiones va considerando distintas posibles alternativas de ejecución en cada paso concreto. Por tanto, el apartado 2 del índice general del estudio de impacto ambiental sobre evaluación de alternativas y justificación de la solución queda contenido en el propio proyecto de repoblación. La misma conclusión se puede proponer en relación con los puntos 1 y 3 que como se mencionaron consistían en la descripción de la actividad o proyecto y el estudio del medio.

Se puede entender que la gran peculiaridad del estudio de impacto ambiental de un proyecto de repoblación debe desarrollarse a partir del punto 4, identificación y valoración de los impactos de la repoblación proyectada sobre diferentes factores y agentes.



Replantación de *Pinus uncinata* en alta montaña con el objetivo de evitar la formación de aludes.



Terreno con deficiente cobertura vegetal que precisa de una restauración de la misma para frenar los procesos de erosión hídrica.

Figura 22.10. Ejemplos de justificación de la repoblación forestal (fotos: J Pemán).



Ahoyado mecanizado.



Subsolado.

Figura 22.11. Ejemplos de decisiones adecuadas en relación con la pregunta de cómo repoblar: en ambientes mediterráneos, como en ambos casos, se ha elegido preparaciones de suelo que promueven condiciones favorables para el arraigo y establecimiento de la planta, mejorando la porosidad del suelo y la disponibilidad de agua para la planta y, en su caso, la reducción de la escorrentía (fotos: J Pemán).

En los siguientes apartados se desarrollan, precisamente, los contenidos del punto 4 de estudio de impacto ambiental. En concreto, se ofrecen indicaciones sobre los diferentes factores que pueden ser afectados por la repoblación forestal, teniendo en cuenta lo dispuesto en la legislación vigente, y se desarrollan criterios y consideraciones para llevar a cabo las evaluaciones.

6. Evaluación de los factores afectados por la repoblación forestal

Para confeccionar la lista de factores que pueden ser afectados, positiva o negativamente, en la ejecución de la repoblación forestal y en el posterior desarrollo de la masa creada se han tenido en cuenta los referidos en la Directiva 2011/92 y en la Ley 21/2013, anteriormente comentados.

De todos los factores enumerados en las normas legales, por no tener relación a corto plazo con los efectos de las repoblaciones forestales, no se han tenido en cuenta, la salud humana, el aire y el subsuelo. En relación con estos tres factores existe influencia positiva por parte de las masas forestales. Sin embargo, las superficies que son objeto de los proyectos de repoblación forestal son tan reducidas, en términos relativos, que su trascendencia en estos factores resulta difícilmente cuantificable.

De forma más inmediata, los efectos sobre el ser humano son considerados a través de aspectos económicos y sociales. Los efectos sobre el agua se estudian separando el ciclo hidrológico (cantidad) de la calidad. El último grupo de factores, valores singulares, incluye aspectos no contemplados en los comentados anteriores.

Para cada impacto identificado se indicará: su signo (positivo o negativo); su intensidad (moderado, severo, crítico); su forma de manifestarse en el tiempo y superficie (permanente, temporal); su forma de actuación en el resultado (directo, indirecto, acumulativo, sinérgico); y su posibilidad de evolución (reversible o irreversible, recuperable o irrecuperable).

Este estudio se hará mediante un repaso sistemático de los grupos de factores posiblemente afectados, valorando en cada caso el efecto inmediato y a largo plazo de la repoblación según las decisiones tomadas en el proyecto concreto, y expresándolo bien en forma de redacción continua y ordenada, bien a través de un cuadro de diagnóstico en forma de matriz.

Este epígrafe se dedica a repasar y a exponer una serie de directrices que pueden ayudar a realizar la tarea expresada en el párrafo anterior, sin pretender agotar un extenso tema y contando con los análisis que de los efectos de los procedimientos empleados en las operaciones de repoblación se han hecho en capítulos precedentes.

Sin que el orden sea totalmente estricto, se ha procurado enumerar y comentar en primer lugar los factores relativos al biotopo, después los relativos a la biocenosis, luego los económicos y sociales y finalmente, los culturales: i) clima, ii) cambio climático, iii) edáficos, iv) ciclo hidrológico, v) calidad de agua, vi) vegetación, vii) fauna, viii) paisaje, xi) económicos, x) sociales, xi) diversidad biológica y xii) valores singulares.

6.1. Clima

El efecto sobre el clima de la creación de masas arbóreas artificiales, considerando la extensión que habitualmente comprende un proyecto en estudio, parece inapreciable sobre los flujos de elementos que pueden afectar a las variaciones del clima (por ejemplo, CH₄ y N₂O corto plazo; Mc Daniel *et al.* 2019).

Ahora bien, la introducción de una masa forestal arbórea donde no existe modifica el microclima del monte en un sentido siempre favorable lo cual afecta a los elementos de la biocenosis y a la evolución edáfica. En concreto pueden citarse los siguiente efectos benéficos resultado del establecimiento de la vegetación: reducción de las oscilaciones térmicas; redistribución de las radiaciones luminosas, ultravioletas e infrarrojas; disminución de la velocidad del viento a nivel próximo al suelo; y aumento

de la humedad relativa del aire. Otros aspectos como la edad de los pies asociada a la cantidad de biomasa, pueden determinar también la humedad y temperatura del suelo y por consiguiente, el microambiente. Autores como Yu *et al.* (2019) observaron en rodales de pino repoblados para controlar la erosión en el sur de China, que la edad de los árboles tenía influencia sobre los valores máximos y mínimos de temperatura del suelo y sobre el patrón estacional de humedad de suelo.

Por tanto, el diagnóstico que procede en este punto, por razón de las modificaciones microclimáticas inducidas, es que el impacto de la repoblación forestal será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable. Los efectos comentados se refieren a la influencia de la repoblación a largo plazo y son, lógicamente, independientes de los procedimientos empleados en su ejecución. Estos efectos pueden y deben ser conducidos mediante tratamientos selvícolas de mejora en la masa.

6.2. Cambio climático

Recientemente, muchos autores han resaltado la importancia del papel fijador de anhídrido carbónico que pueden desempeñar las masas arbóreas artificiales para contribuir a la mitigación del efecto invernadero y el cambio climático. De hecho, las repoblaciones son responsables de eliminar CO₂ atmosférico mediante fotosíntesis y el carbono se almacena inmovilizado o bien la propia masa o en productos de madera (Hepburn *et al.* 2019). Como reconoce el Reglamento (CE) 74/2009, la repoblación forestal es uno de los principales instrumentos para la adaptación y mitigación del cambio climático y para la protección y mejora de la calidad del agua. En esta línea, se ha estimado que la restauración de 900 Mha de bosques en la Tierra podrían contribuir a almacenar 205 Gt de carbono (Bastin *et al.* 2019).

Está confirmado (Moreno 2005; Bravo 2007) que las masas forestales tienen una mayor eficacia que las formaciones de matorral o herbáceas para fijar carbono, tanto en el suelo como en el suelo. El tratamiento adecuado de los bosques creados puede maximizar la función del secuestro de carbono y los productos madereros obtenidos de ellos pueden mantener dicho secuestro por largos plazos. El carbono acumulado en los suelos poblados por masas arbóreas, aunque con valoraciones incompletas en la actualidad, tiene importancia cuantitativa y puede ser transferido de unos turnos a los siguientes, reforzando la función de secuestro y de mitigación. Puede ser de interés, para la estimación de la capacidad de absorción de CO₂, la calculadora de proyectos de absorción elaborada por el MITECO para las principales especies arbóreas de interés en España (MITECO 2020a). Dicha calculadora se basa en unos valores medios de absorción acumulada por pie a lo largo del tiempo (tabla 22.4).

Por tanto, el diagnóstico que procede en este punto, por razón de la fijación de CO₂ más eficiente que las formaciones a las que se sustituye, es que el impacto de la repoblación forestal será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

Al igual que el efecto sobre el microclima, los efectos comentados se refieren a la influencia de la repoblación a largo plazo y son, lógicamente, independientes de los procedimientos empleados en su ejecución.

Tabla 22.4. Valores medios de absorción acumulada por pie ($t\ CO_2\ pie^{-1}$) y a lo largo del tiempo para las diferentes especies arbóreas de interés en España (MITECO 2020a) (se debe tener en cuenta las condiciones de estación de cada especie).

Especie	Edad				Fuente	
	20	25	30	35		40
<i>Abies alba</i>	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Abies pinsapo</i>	0,22	0,27	0,33	0,38	0,44	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Acer</i> spp.	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Betula</i> spp.	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Castanea sativa</i>	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,40	1,00	1,57	2,23	3,53	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,57	1,39	2,04	3,00	4,87	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Fagus sylvatica</i>	0,00	0,02	0,03	0,07	0,23	(Madrigal et al. 1999)
<i>Fraxinus</i> spp.	0,09	0,11	0,18	0,29	0,33	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Ilex aquifolium</i>	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Juniperus oxycedrus, J. communis</i>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Juniperus phoenicea</i>	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Juniperus thurifera</i>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Pinus canariensis</i>	0,03	0,07	0,14	0,16	0,18	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Pinus halepensis</i>	0,03	0,04	0,08	0,14	0,16	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Pinus nigra</i> Sistema Ibérico	0,03	0,04	0,05	0,11	0,13	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus nigra</i> (Resto)	0,03	0,03	0,08	0,09	0,11	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>atlantica</i> Zona Norte interior	0,23	0,41	0,58	0,74	0,91	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>atlantica</i> Zona Norte costera	0,33	0,54	0,69	0,81	0,92	(Madrigal et al. 1999)

Especie	Edad					Fuente
	20	25	30	35	40	
<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>mesogeensis</i> Sistema Central	0,12	0,15	0,18	0,26	0,36	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus pinea</i>	0,06	0,10	0,17	0,20	0,29	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Pinus radiata</i>	0,46	0,79	1,17	1,56	1,78	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus sylvestris</i> Sistema Central	0,02	0,05	0,06	0,15	0,17	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus sylvestris</i> Sistema Ibérico	0,03	0,04	0,05	0,09	0,11	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus sylvestris</i> Pirineos	0,04	0,05	0,07	0,11	0,17	(Madrigal et al. 1999)
<i>Pinus uncinata</i>	0,04	0,05	0,09	0,11	0,12	(MAPA 2007) (ICONA 1979a)
<i>Populus alba</i>	0,21	0,46	0,67	0,92	1,26	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Populus nigra</i>	0,29	0,72	1,01	1,44	1,90	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Populus ×canadensis</i>	0,34	0,81	1,18	1,55	2,02	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,35	0,63	1,30	2,88	3,40	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus canariensis</i>	0,05	0,06	0,13	0,15	0,17	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus faginea</i>	0,04	0,05	0,10	0,11	0,13	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus ilex</i>	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	Tabla 201 e Inventario de emisiones 1990-2012
<i>Quercus petraea</i>	0,06	0,07	0,18	0,21	0,24	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus pubescens</i>	0,07	0,12	0,15	0,23	0,26	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus pyrenaica</i>	0,05	0,07	0,15	0,17	0,20	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus robur</i>	0,07	0,16	0,19	0,22	0,34	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus rubra</i>	0,07	0,18	0,22	0,35	0,40	(MAPA 2007) (ICONA 1979b)
<i>Quercus suber</i>	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	Tabla 201 e Inventario de emisiones 1990-2012

En relación con la capacidad de fijar carbono por parte de una masa forestal, sea natural o artificial, es conocido que cuando se alcanza la espesura máxima compatible con la estación, -situación descrita en algunos casos como madurez-, el crecimiento corriente se reduce en extremo y es compensado por la respiración (Jiang *et al.* 2020), por lo que en esta situación no se contribuye a mitigar el cambio climático. Resulta evidente, -como explica la selvicultura general,- que la aplicación de correctas cortas de mejora o de regeneración devuelven a las masas esta importante función. Esta posibilidad invalida la propuesta, derivada del estudio del funcionamiento de las masas maduras, de negar a la repoblación forestal un papel importante en la mitigación del cambio climático.

6.3. Suelo

Son el grupo de factores que resultan modificados en mayor medida por la repoblación forestal, tanto en su ejecución como por la evolución de la masa forestal. A su vez, en el proceso de cambio inducido, el suelo es el que influye más sustancialmente en las biocenosis futuras. Por tanto, es el grupo de factores que requiere mayor extensión en su análisis (e.g. Lucas-Borja *et al.* 2016).

Este grupo de factores es en el que mayor complejidad reviste el análisis que nos ocupa. Para considerar el impacto de la repoblación forestal en el suelo es necesario separar el efecto que a corto plazo inducen el tipo de desbroce y de preparación del suelo, del efecto a largo plazo provocado por la existencia y desarrollo de la masa arbórea. Las decisiones sobre modos y procedimientos de ejecución, como ha quedado expuesto en capítulos precedentes, se han ido tomando con atención a los efectos sobre el suelo. Se resumen y recuperan a continuación, algunas consideraciones en este sentido.

6.3.1. Extensión y selectividad del desbroce

Para estudiar el impacto que sobre el suelo producen los diferentes procedimientos de desbroce clasificados en función de su selectividad y extensión superficial combinadas, al igual que en el análisis de puntos posteriores, se tendrá en cuenta el estado de evolución del suelo (ver capítulo 13).

En el caso de que se presente un suelo evolucionado con un perfil maduro, en equilibrio con el clima y con la litofacies sobre la que se ha formado, es preciso considerar que la vegetación que sustenta es la adecuada para la protección, estabilidad y mantenimiento de la fertilidad del suelo, por lo que en este caso, salvo incendio reciente, no podrá hablarse de repoblación protectora.

Si por motivos económicos procediese realizar la introducción de una especie arbórea, los trabajos de repoblación deberán mantener la máxima integridad de la vegetación presente, ya que ella es la responsable del favorable estado del suelo y su desaparición podría inducir una evolución regresiva de las características del mismo. Lo correcto será proyectar un desbroce parcial y selectivo que permita la incorporación de la flora actual a la masa futura, siendo la o las especies introducidas, en mezcla con las ya existentes, nuevos componentes de mayor porte en una masa modificada con adecuada diversidad. Este podría ser el caso de montes con presencia de quercíneas, bien adhesionados, o bien en monte bajo degradado, en los que estas especies, aunque presenten estado vegetativo

deficiente, pueden contribuir a mantener un suelo maduro y sin erosión. Procediendo de este modo el impacto sobre el suelo de la repoblación se puede considerar inexistente.

En el otro extremo, la vegetación que está presente sobre suelos poco evolucionados, inmaduros o sobre suelos degradados y, sobre todo, en aquellos que soportan procesos erosivos, suele ser escasa, discontinua, con tendencia a la monoespecificidad y poco favorable a la defensa y mejora del suelo que le sustenta, por lo que será, desde este punto de vista, indiferente la supresión de la misma.

Los ejemplos más frecuentes de este caso en España son las formaciones más o menos espesas de ericáceas, cistáceas, labiadas y leguminosas leñosas pinchudas, procedentes de roturaciones para cultivo agrícola, incendio o pastoreo excesivo y sus combinaciones sucesivas (figura 22.12). Así, los brezales y callunares mantienen e incrementan la acidez del suelo y los jarales, tojales y aliagares inducen el peligro de incendio y no son capaces de frenar la erosión. Se concluye, por tanto, que en estos casos puede ser procedente el desbroce a hecho, que no influirá negativamente en las propiedades del suelo, aunque se recomienda en la práctica la ejecución por fajas para mantener cierta diversidad florística y menos probabilidad de fenómenos erosivos.



Jaral monoespecífico de *Cistus ladanifer* que no reduce la escorrentía ni la erosión.



Ladera sometida a cultivos agrícolas (olivares) que presenta degradación a pesar de la presencia de aliagas y labiadas.



Desbroce selectivo por decapado que ha dejado presentes las leguminosas no pinchudas.

Figura 22.12. Ejemplos de vegetación sobre suelos poco evolucionados, inmaduros o degradados y que soportan procesos erosivos (fotos: R Serrada).

También es recomendable el desbroce parcial y selectivo para mantener la posible presencia de ejemplares de los géneros *Retama*, *Adenocarpus*, *Genista*, *Cytisus* y *Juniperus*. En estos casos interesa no desbrozar estas especies por el factor de diversidad que darán a la repoblación forestal independientemente de su objetivo preferente, por su papel movilizador de nutrientes, por ser favorecedoras de la permeabilidad del suelo al poseer sistemas radicales profundos y, en el caso de las leguminosas, por el efecto de los nódulos radicales al fijar el nitrógeno atmosférico.

6.3.2. Combustión del matorral o de sus restos

El empleo de la quema en pie del matorral como procedimiento de desbroce está en desuso en la actualidad por inconvenientes sociológicos y de riesgo de incendio forestal, además de los relacionados con su impacto sobre el suelo que se tratarán en este apartado.

No obstante, se le dedica atención a esta posibilidad por tres motivos: por ser una técnica que se puede plantear en tareas de prevención de incendios aplicando las llamadas quemas prescritas; para deducir de este análisis las condiciones de los suelos de montes incendiados en su posterior repoblación; y porque puede ser recomendable, en casos muy particulares, en las operaciones de repoblación si se obvian los inconvenientes sociológicos citados.

La quema de la vegetación implica, en mayor o menor grado dependiendo de la temperatura del aire y del suelo y de la velocidad del fuego, una cierta combustión de la materia orgánica del suelo, por lo que sobre él tendrá tres efectos: deterioro de la estructura y disminución de la capacidad de cambio; inclusión, de forma inmediata en el suelo, de una serie de sustancias nutritivas asimilables por las plantas al mineralizar bruscamente tanto los compuestos orgánicos presentes en los tejidos vivos como los existentes en el humus; e incremento del pH de la solución del suelo al ser las cenizas ricas en carbonatos (figura 22.13). En cualquier caso sus efectos pueden ser controlados, afectando mayormente a propiedades físicas, debido al calentamiento limitado del suelo en términos de duración de exposición y grado o severidad, los cuales resultan notablemente más bajos que los registrados en incendios (Alcañiz *et al.* 2018)

El estudio comparativo de estos tres impactos indicará cuándo será admisible el empleo de fuego en el desbroce y cuándo no será aconsejable. Así, podrá ser conveniente la quema en aquellos terrenos que, teniendo una textura equilibrada que garantice la permeabilidad y una capacidad de retención de agua aceptable relativamente independientes de la estructura, sean fuertemente ácidos y más aún si es alto su porcentaje húmico ya que el incremento del pH y la movilización de nutrientes mejorará el ritmo de las cadenas tróficas del sistema. En esta situación el impacto de la quema será: positivo, moderado, directo y temporal.

Por el contrario, en los suelos básicos y en aquellos otros de textura desequilibrada (suelos muy arenosos, limosos o arcillosos) el empleo del fuego es totalmente desaconsejable. En los suelos básicos porque el incremento del pH puede originar serios problemas para la nutrición fosforada; en los suelos arenosos porque el deterioro de la estructura hará descender peligrosamente la capacidad de retención de agua; y en los suelos limosos y

arcillosos porque su impacto perjudicará gravemente la permeabilidad de los mismos. En esta situación no se aplican las quemas.

6.3.3. Incorporación al suelo de los restos del desbroce

La incorporación al suelo de una cantidad de material vegetal triturado procedente del desbroce, con mayor contenido en carbono que la hojarasca que está presente de forma predominante en el aporte natural de restos vegetales al suelo, puede ser negativo o positivo según las condiciones climáticas, edáficas y la calidad de dicho material (figura 22.14).

El impacto será positivo cuando las condiciones apuntadas favorezcan una rápida descomposición. Esta situación se produce bajo climas relativamente lluviosos, al menos durante una época del año, un régimen térmico no excesivamente frío y un suelo no excesivamente ácido, circunstancias en las que están favorecidas las poblaciones microbianas del suelo encargadas de la demolición de los despojos orgánicos. Si, además, el material vegetal tiene pocos aceites esenciales capaces de evolucionar hacia polifenoles que producen el bloqueo de la mineralización de las proteínas, el impacto del conjunto de la incorporación del material del desbroce no será negativo. En suelos con bajo contenido húmico será positivo, por contribuir al aumento del contenido de materia orgánica del perfil. Por tanto, en esta situación el impacto de los restos será: positivo, moderado, directo y temporal.



Figura 22.13. Quema de un jaral de *Cistus ladanifer* (fotos: J Pemán).



Figura 22.14. Restos después de un desbroce por fajas con desbrozadora de cadenas sobre una agrupación mixta de matorral formada por *Genista scorpius* y *Cistus albidus* (foto: J Pemán).

Por el contrario, la falta de humedad, el frío intenso en plazos dilatados y la reacción del suelo fuertemente ácida son condiciones en que la velocidad de incorporación de los despojos será lenta y se encontrará desequilibrada la relación C/N, con un efecto final no favorable a la evolución y mejora de la fertilidad del suelo.

En estos casos es aconsejable para compensar o anular el posible impacto negativo realizar una trituración muy fina de los despojos y aportar al suelo nitrógeno, preferiblemente en forma de urea, operaciones que favorecerán la descomposición e incorporación al suelo del material procedente del desbroce, se disminuirá la relación C/N y el efecto resultante dejará de ser negativo y podrá considerarse positivo en la medida en que aumenta la cantidad de materia orgánica en el perfil.

6.3.4. Preparación del suelo sin mezcla de horizontes

Como ha quedado expuesto en el capítulo correspondiente a la preparación del suelo (ver capítulo 14), la ausencia de mezcla de horizontes se produce en las preparaciones puntuales (hoyos, raspas y banquetas) y en los subsolados lineales. Esta forma de preparación del terreno no tiene el efecto de producir en el perfil un rejuvenecimiento, por lo que resulta indiferente respecto del estado de madurez del perfil (figura 22.15). Por tanto, es recomendable en suelos evolucionados maduros en equilibrio con las condiciones ambientales en los que sea conveniente conservar sus propiedades. Incluso, en suelos maduros con presencia de un horizonte profundo con acumulación de arcilla que imponga una limitación a la profundidad útil del perfil para la vegetación por problemas de permeabilidad o hidromorfía, la aplicación de subsolados lineales supone, no solo la inalteración de la dinámica edáfica, sino también una mejora sustancial de la potencialidad productiva del suelo.



Subsolado.



Ahoyado mecanizado con retroexcavadora sin el volteo de la tierra con el cazo.

Figura 22.15. Ejemplos de procedimientos que no conllevan la inversión de los horizontes del perfil del suelo (fotos: J Pemán).

En el caso de suelos degradados, erosionados y, por tanto, de gran inmadurez, la alteración del orden de las capas del mismo –se emplea el término capa al no poder considerar en este caso a los posibles estratos que aparecen como horizontes– es indiferente desde el punto de vista de la evolución del suelo en la mayor parte de los casos. No obstante, esta

regla tiene su excepción cuando en la parte inferior del suelo existe alguna característica que no es aconsejable poner en superficie: suelos formados sobre margas yesosas o salíferas generalmente más ricas en sales a profundidad y suelos calizos descarboxatados superficialmente, pero no en profundidad, en los que la colocación de una gran cantidad de caliza activa en superficie originará una fuerte elevación del pH y consecuentes riesgos de deficiencias en la asimilación del fósforo y del hierro, que provocarán clorosis en la vegetación introducida posteriormente.

En estos dos casos es especialmente recomendable aplicar el método de preparación del suelo por hoyos, banquetas o subsolado lineal que se comenta, cuyo efecto en todos los casos citados será positivo, moderado, directo, sinérgico, continuo y reversible.

6.3.5. Preparación del suelo con mezcla de horizontes sin modificación de la fisiografía

Se refiere esta posibilidad a los laboreos. El laboreo de un suelo con vertedera o arado de discos (alzado) es un método que se emplea preferentemente en las repoblaciones por siembra o en plantaciones forestales y que únicamente podrá ser recomendable en dos casos: i) cuando la pendiente sea escasa o moderada (menos del 20 ó 25%, según texturas y agresividad de las precipitaciones) y se trate de un suelo inmaduro sin apenas diferenciación de horizontes (antrosoles) no siendo calizo o yesoso; ii) y cuando se trata de suelos que por un proceso de degradación artificial o natural (planosolización, podzolización) presentan unos horizontes superiores casi estériles por lavado y empobrecimiento y unos horizontes inferiores enriquecidos y compactos a profundidad alcanzable por el apero (figura 22.16).



Figura 22.16. Laboreo del suelo previo a una plantación de *Populus ×euramericana* (foto: J Pemán).

En el primer caso se aumenta la profundidad útil del perfil, se disgrega la roca madre y, al no existir diferencias sensibles entre unos y otros horizontes, no existe impacto negativo, sino que, por el contrario, se acelera la evolución edáfica. En el segundo caso, la mezcla de horizontes anula el proceso de degradación existente y retrotrae al suelo, en cierto modo, a estados anteriores de evolución que la dinámica tratará de contrarrestar en el tiempo, llevándolo hacia el suelo maduro u otra vez hacia el suelo degradado, según el tipo de vegetación que se instale.

En estas situaciones el impacto será: positivo, moderado, directo, sinérgico, continuo y reversible. En los demás caso el laboreo del suelo tendrá un impacto negativo, por lo que no será propuesto.

6.3.6. Preparación del suelo con mezcla de horizontes edáficos y alteración de la fisiografía

Los procedimientos de preparación del suelo para la repoblación forestal mediante aterrazados y acaballonados son los que producen alteración de la fisiografía y mezcla de horizontes edáficos, dando lugar a una modificación del estado evolutivo, todo ello independientemente de los efectos paisajísticos. Este hecho los ha convertido en los aspectos más controvertidos en los análisis de la repoblación forestal y el impacto negativo sobre el suelo, salvo que sea compensado por su función hidrológica, los hace desaconsejables con carácter general. No obstante, como toda regla tiene su excepción, existen localidades en las que el impacto de estos procedimientos sobre el suelo es positivo y en las que, por tanto, será aconsejable su empleo. A la descripción de estas situaciones se dedican los siguientes párrafos.

En relación con el aterrazado en ladera, se podrá considerar favorable respecto de la evolución edáfica cuando se trata de: suelos esqueléticos, poco profundos (menos de 20 cm), poco evolucionados, con ausencia de caliza activa o sales en profundidad, pendientes superiores al 30 ó 35%, pues siendo inferiores la alternativa razonable es el subsolado, y menores del 60 ó 65%, ya que a partir de este valor las alturas del desmonte y terraplén les hacen inviables, erosión hídrica activa por causa de fuertes escorrentías y lentitud de colonización por parte de la vegetación. En estos casos la ejecución correcta de un aterrazado supone la anulación inmediata de escorrentía y consecuentemente el aumento de la infiltración que iniciará la evolución edáfica y, al mejorar el régimen hídrico del perfil, se permitirá el asentamiento de la vegetación introducida o natural. Sin embargo, para evitar el impacto paisajístico en intervalos de pendiente superiores al 35%, sin pérdida de eficacia hidrológica, la aplicación de subsolados lineales con tractores especiales y las banquetas con retroaraña, han venido a sustituir a los aterrazados (figura 22.17).

En relación con el acaballonado en terrenos de escasa pendiente, se podrá considerar que este es favorable respecto de la evolución edáfica cuando se trate de suelos con horizontes inferiores potentes, cementados, frecuentes en plataformas antiguas, páramos y rañas, que favorecen un encharcamiento intermitente en todo el perfil que impide el asentamiento de la vegetación leñosa. En estos casos, muchas veces reforzado el efecto del encharcamiento transitorio por pasados cultivos agrícolas, la ejecución de caballones asegurará un mínimo de avenamiento en la parte superior del terreno que, al ser colonizado por la vegetación arbórea, permitirá su evolución edáfica. Para esta situación, el impacto de la preparación del suelo será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

6.3.7. Efecto sobre el suelo de los sistemas radicales de las especies introducidas

La introducción de una masa arbórea donde antes no existía origina, a medio y largo plazo, la presencia en el suelo de unos sistemas radicales que, en general, son más potentes y profundos que los de los matorrales o herbáceas a quienes sustituyen o complementan.



Monte aterrazado en alta montaña para una repoblación protectora de *Pinus uncinata* para evitar la formación de aludes. La terraza está justificada para favorecer la estabilización del manto de nieve juntamente con la vegetación.



Monte aterrazado que debido a las fuertes pendientes ha producido grandes alturas en los taludes de desmonte y, que ante la ausencia de vegetación por un incendio reciente, está ocasionando fuertes problemas de erosión.

Figura 22.17. Ejemplos de aterrazados (fotos: J Pemán).

Esta presencia radicular en los horizontes inferiores del perfil es positiva bajo múltiples aspectos:

- Contribuye a acelerar la alteración de la roca y a incrementar la profundidad del suelo útil.
- Mejora la estructura de los horizontes profundos incrementando su permeabilidad y capacidad de retención de agua.
- Ejerce una labor de remonte de sustancias nutritivas lavadas de los horizontes superiores del perfil y recirculadas por el desfronde.
- Favorece el conjunto de la dinámica edáfica originando una mayor evolución del suelo.

De esta manera los suelos menos evolucionados de perfil A/C, sometidos a una reforestación, pasan en un corto número de años a presentar en profundidad un horizonte Bw claramente edafizado. Esta influencia favorable de la repoblación sobre el suelo debe considerarse en todos los casos como trascendente y estructural en los análisis globales de impacto.

Por tanto, el impacto de los sistemas radicales de la masa forestal introducida será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

6.3.8. Efecto de la cantidad y calidad de los restos orgánicos generados por la repoblación

La influencia sobre el suelo de la cantidad y calidad de los restos orgánicos generados por una repoblación forestal de arbóreas sobre matorrales dependerá de varios elementos o factores y entre los más importantes se citan: (i) tipo de roca formadora del suelo, (ii) clima, (iii) vegetación preexistente, (iv) especies empleadas en la repoblación, (v) estado evolutivo del perfil (grado de humificación) y (vi) textura.

El análisis completo de este punto requeriría el estudio de las diversas combinaciones de los valores medios y extremos de los factores citados con referencia a diferentes ámbitos fitoclimáticos.

Se tratará de acotar el análisis enunciando en primer lugar los casos en los que se puede afirmar que el impacto es positivo de forma general, para posteriormente reflejar los casos en los que puedan existir riesgos de impacto negativo y fijar las alternativas a los mismos.

En primer lugar, conviene recordar qué son especies frugales y no frugales (exigentes) y el efecto de sus despojos sobre el suelo. Especie no frugal es aquella que requiere un suelo relativamente fértil para asentarse y es capaz de mantener la fertilidad de la estación a través del aporte de restos (hojarasca) ricos en nutrientes cuya presencia favorece la actividad de microorganismos descomponedores variados que producen humus tipo mull, de reacción cercana a la neutralidad o moderadamente ácida. Especie frugal es aquella capaz de vivir y desarrollarse en suelos de escasa fertilidad y cuyos restos serán, por tanto, menos ricos en nutrientes y cuya relación C/N será relativamente alta, bajo los que el desarrollo de microorganismos descomponedores queda limitado a los más especializados que producirán humus del tipo moder o mor de reacción ácida (figura 22.18).

Evidentemente, la introducción de especies no frugales allí donde sea posible tendrá un impacto positivo sobre el suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los despojos orgánicos que producen. El mismo impacto positivo tendrá la introducción de especies arbóreas consideradas como frugales cuando la frugalidad del matorral preexistente sea mayor que la de la especie arbórea a introducir (Serrada y Gómez 2018). El impacto de la masa arbórea introducida, por razón de su nuevo desfronde en estos casos será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

Por otra parte, es sabido que la presencia de materia orgánica humificada en el suelo es responsable de la existencia de la estructura edáfica que, a su vez, mejora la aireación, la permeabilidad, la capacidad de retención de agua y la capacidad de cambio del suelo. Por tanto, los suelos escasamente humificados se verán favorecidos en todo caso por el aporte en cantidad de despojos orgánicos independientemente de su calidad, de forma que el empleo de especies frugales en suelos degradados no sólo es la única alternativa posible en casi todos los casos, sino que será conveniente para iniciar la recuperación del suelo. También en esta situación de degradación edáfica, el impacto será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

En los dos casos anteriormente expuestos, el impacto de la repoblación forestal sobre el suelo, considerado bajo el aspecto de la cantidad y calidad de la materia orgánica aportada, es claramente positivo. Consecuentemente, el impacto negativo puede surgir bajo el empleo de especies frugales (algunas coníferas y eucaliptos) en suelos humificados y/o evolucionados.

Para analizar esta situación se agruparan las litofacies posibles entre dos extremos: filtrantes y pobres en bases, por una parte, y poco filtrantes y ricas en bases, por otra, así como los climas en: húmedos y fríos, por un lado, y secos y templados, por otro.



Barrujo u hojarasca de una repoblación de *Pinus pinaster* de 50 años sobre rañas en Retiendas (Guadalajara). Se ha estimado una C/N superficial de 10,3 y en jaral colindante de 11,3 (Serrada y Gómez 2018).



La hojarasca de una masa de pino en el Valle del Tiétar que no ha ardido tras un incendio en 2009 protege el suelo y mejora su fertilidad de cara a la regeneración natural (foto tomada en 2011).

Figura 22.18. Ejemplos de restos orgánicos de especies frugales con impacto positivo (fotos: R Serrada).

En el caso de introducción de una especie frugal sobre un suelo maduro o evolucionado y bajo clima húmedo y relativamente frío, la química del suelo puede variar sustancialmente: descenderá el pH, crecerá la cantidad de materia orgánica si la vegetación anterior es escasa por su densidad o porte y el tipo de humus tenderá a pasar de mull a moder o incluso mor, planteándose así el problema de la acidificación.

En esta situación, si la roca madre es suficientemente rica en bases y además poco permeable, las bases neutralizarán los ácidos fúlvicos, se formará un complejo arcilla-humus, no se producirán nuevas migraciones sensibles y la acidificación superficial no tendrá consecuencias desfavorables. En esta situación se puede entender que el impacto es inexistente.

Ahora bien, si la roca madre es pobre en bases y filtrante, se producirá una evolución hacia un podzol intrazonal o secundario de consecuencias desfavorables. Esta podzolización es especialmente peligrosa bajo climas fríos o templado-fríos y lluviosos, y se puede presentar también en suelos poco evolucionados, conduciendo a una pérdida global de la fertilidad del perfil imputable en todo caso al proceso descrito y no a la extracción de madera. De hecho la madera es un producto pobre en elementos nutrientes procedentes del suelo la cual está formada fundamentalmente por celulosa, cuyos componentes principales, C, H y O, son obtenidos por el árbol de la atmósfera.

De lo anterior se deduce que en los casos con riesgo de podzolización, que corresponden en España a suelos de la cornisa cantábrica situados por encima de la cota de 500 m, aproximadamente, y formados en su mayoría sobre cuarcitas, cuarzoarenitas o granitos muy cuarcíferos, la introducción de especies frugales puede generar impacto negativo en el suelo.

Para mantener las especies frugales habrá que aplicar tratamientos que fomenten la creación y mantenimiento de masas mixtas o con subpiso, favoreciendo el desarrollo de frondosas bajo la cubierta lograda, o en otro caso tratar de controlar la acidificación mediante enmiendas calizas.

Sobre suelos evolucionados, bajo clima seco y relativamente templado, la introducción de una especie nueva, aunque sea más frugal que la vegetación a la que sustituye, no introduce procesos de transformación importantes, ni negativos, ya que la posible acidificación superficial inducida por la especie frugal será incluso favorable en suelos básicos, abundantes en la mitad Este de la Península en los suelos silíceos la falta de humedad y el alto régimen térmico no permiten el desarrollo de la podzolización.

6.4. Ciclo hidrológico

Con la presencia de una masa arbórea donde antes existía un matorral o un herbazal, las fases del ciclo hidrológico cambian sus proporciones relativas. La correcta ejecución de una repoblación forestal y el desarrollo de la cobertura de la masa forestal tienden a disminuir a medio-largo plazo la escorrentía (Filoso *et al.* 2017; Taguas *et al.* 2017) y consecuentemente a controlar la erosión hídrica. En términos relativos con la vegetación anterior, tiende a aumentar la transpiración, la intercepción y la infiltración. La evaporación disminuye compensando el aumento de transpiración. Hoy en día existe un debate entre dos enfoques enfrentados de la relación entre el bosque y el agua, en el sentido de que unos consideran el bosque como productor de agua y otros como consumidor o, lo que es lo mismo, entre los términos agua azul *vs* agua verde (Gallart y Llorens 2003; Van Dijk *et al.* 2007; Ellison *et al.* 2012; Watennbach *et al.* 2007). Este debate cobra especial importancia en ámbitos semiáridos en los que puede haber una fuerte competencia entre el consumo de agua en la evapotranspiración de la vegetación y la componente de recarga de agua de los acuíferos. Estos enfoques exigen la aplicación de modelos que integren el balance hídrico en los modelos selvícolas a desarrollar (Molina y del Campo 2012; García-Prats *et al.* 2016).

En primer lugar se analizan los efectos que sobre el ciclo hidrológico pueden tener los procedimientos de desbroce. Los desbroces totales y a hecho, especialmente si se realizan por decapado, pueden inducir fenómenos erosivos reduciendo la capacidad protectora del matorral. Por lo tanto, desde este punto de vista, son preferibles los desbroces parciales, por fajas o por puntos y en el caso de aplicar fajas los realizados por roza. Si se realizan los desbroces de esta manera, la ligera reducción de la capacidad protectora del suelo por el matorral es compensada con creces por la preparación del suelo a corto plazo y por la masa introducida a largo plazo, con lo que el impacto de la operación es *inexistente* y siempre muy transitorio.

Respecto de la preparación del suelo, se han distinguido al analizar los efectos sobre los factores edáficos, tres grupos de procedimientos:

- Los que no invierten horizontes ni modifican la fisiografía (hoyos, banquetas y subsolados) cuyo impacto en relación con el ciclo hidrológico se debe considerar positivo pues en mayor o menor grado aumentan la infiltración, reducen la escorrentía y por tanto la erosión hídrica.
- Los labores a hecho, con inversión de horizontes y sin modificación de la fisiografía, que de no aplicarse en pendientes bajas tienen riesgo de inducir escorrentías y por tanto posible impacto negativo que se evita aplicando el procedimiento en situación fisiográfica y edáfica adecuadas.

- Los que invirtiendo los horizontes, cambian la fisiografía creando estructuras lineales horizontales (aterrazados y acaballonados) diseñadas para ser completamente eficientes en el control de la escorrentía y que, desde este punto de vista, tienen un impacto muy positivo, transitorio con el tiempo y cuyo papel es sustituido a largo plazo por la masa creada.

En relación con el impacto a largo plazo producido por el desarrollo de la vegetación arbórea introducida sobre las fases del ciclo hidrológico, se puede afirmar que, en casi todos los casos, las formaciones arbóreas transpiran en mayor cantidad que las formaciones arbustivas y de matorral. Si a esto se añaden las pérdidas por intercepción, el incremento de la capacidad de retención de agua del suelo y la disminución de la escorrentía que favorece la vegetación introducida y sus residuos orgánicos, se origina una disminución del caudal formado por encauzamiento de aguas superficiales y, a veces, en los manantiales de la cuenca que ha sido repoblada. Es decir, mejora el régimen hídrico del suelo, pero disminuye el recurso hídrico desde un punto de vista hidrológico. Este posible efecto negativo inmediato desde el punto de vista de la disponibilidad del recurso hídrico se compensa con el efecto regulador del suelo forestal en el conjunto de la cuenca, acumulando la recarga subsuperficial de agua aumentando el tiempo de concentración de los aguaceros debido a la reducción en los cauces y disminuyendo consecuentemente la onda de avenida. Este efecto positivo es tanto más patente cuanto mayor es la superficie de la cuenca en estudio. Al contrario, las posibles manifestaciones de reducción de caudales superficiales se manifiestan más frecuentemente considerando cuencas muy pequeñas.

En definitiva, bajo climas que no sean extremadamente secos, el saldo se considerará beneficioso, cuando la demanda del recurso sea baja. Por el contrario, bajo climas muy secos, la repoblación arbórea puede ser desaconsejable desde el punto de vista hidrológico y ser conveniente: i) bien plantar con bajas densidades o aplicar posteriormente claras fuertes; ii) bien utilizar especies arbustivas o de matorral en las labores de protección contra los fenómenos erosivos, siempre que dichas especies sean capaces de cumplir esta misión y sea posible su introducción, (aunque su efecto edafizador sea menos intenso que el del arbolado). En todo caso, estos posibles impactos negativos son proporcionales a la superficie repoblada, por lo que la determinación de la misma debe ser objeto de cuantificación y localización detallada en los necesarios estudios de planificación de la repoblación forestal por cuencas hidrográficas. Dentro de las acciones encaminadas a reducir estos posibles inconvenientes se puede recomendar escoger, si es posible la opción, entre especies arbóreas que posean menor capacidad de transpiración e intercepción, aunque las investigaciones en este sentido sobre nuestras especies forestales indican una capacidad de transpiración similar (Gras Lope 1993).

Genéricamente se puede considerar que la correcta planificación, ejecución y mantenimiento de repoblaciones forestales en una cuenca, aunque respecto de la disponibilidad de recursos hídricos pueda suponer una cierta reducción, los efectos beneficiosos en la regulación de caudales líquidos (particularmente si la demanda del recurso hídrico es baja) y la supresión de caudales sólidos, posibilitan un mejor aprovechamiento de éstos recursos dando lugar a un impacto: positivo, moderado, directo, continuo y recuperable.

6.5. Calidad del agua

La repoblación forestal influye también en la calidad del agua especialmente cuando actúa como *buffer* o barrera para retener sedimentos y filtrar el agua que llega a los cauces (Yuan *et al.* 2009). La valoración de la calidad en estos casos se debe hacer mediante análisis de presencia-ausencia de caudales sólidos y de nutrientes que conducen a su eutrofización.

Los procedimientos de desbroce respecto de la calidad del agua drenada por la cuenca tienen unos efectos similares a los expuestos al tratar el ciclo hidrológico. Los desbroces a hecho, al aumentar la escorrentía, pueden ser negativos por incrementar el caudal sólido. Por tanto es recomendable también en este punto la aplicación de desbroces parciales y por roza, cuyos leves efectos puedan ser compensados por la preparación del suelo. Respecto de los procedimientos de preparación del suelo, tendrán impacto negativo aquellos que induzcan el aumento del riesgo de erosión, únicamente los labores a hecho en zonas inadecuadas por baja cobertura y/o pendiente acusada, ya que se esperan aumenten del caudal sólido. El resto de los procedimientos tiene un efecto indiferente o positivo en la medida que tiendan a anular la escorrentía y a restar caudal sólido en los cursos superficiales de agua.

La presencia de barreras de vegetación suficientemente anchas y desarrolladas protegiendo los cauces garantiza la reducción de aportes solutos desde las cabeceras a los cursos de agua. La circulación de nutrientes desde las laderas de masas arboladas se espera que sea mínima debido a la reducción del flujo de escorrentía, mencionado en el apartado de los efectos del ciclo hidrológico. Por consiguiente, la influencia de una repoblación sobre la calidad del agua de una cuenca a largo plazo hay que valorarla en términos relativos a la vegetación preexistente y a los usos del suelo anteriores. Suponiendo un uso agrícola o ganadero anterior con formaciones herbáceas o de matorral, la sustitución por un uso forestal con formaciones arbóreas introducidas supone una sensible mejora de la calidad del agua al disminuir notablemente la eutrofización. Por otra parte, la masa arbórea sigue manteniendo el efecto positivo de la preparación del suelo de reducir el caudal sólido.

Por tanto, el impacto de la repoblación forestal sobre la calidad del agua será: positivo, moderado, directo, acumulativo, sinérgico, continuo y recuperable.

6.6. Vegetación

La valoración de los efectos sobre la vegetación se hará de acuerdo a los objetivos fijados. El posible impacto directo de la repoblación sobre la vegetación se produce en dos aspectos fundamentales. Por un lado, por la supresión de una o varias agrupaciones vegetales tanto en el momento de ejecución de los trabajos, sobre todo por el desbroce y la preparación del suelo, como una vez formada la masa forestal, que puede inducir a la desaparición de las especies más heliófilas. La otra afección puede venir por las especies que se introduzcan con la repoblación. En este sentido merece prestar especial atención al uso de las especies alóctonas o las consideradas como invasoras.

El posible impacto negativo de los diferentes procedimientos de desbroce se produce sobre la vegetación actual, ya que sobre la introducida, si se ha considerado necesario,

es favorable en todo caso. La valoración del impacto del desbroce sobre la vegetación actual hay que hacerlo tras un diagnóstico previo de la calidad de ésta, comprobando su diversidad, significación, rareza, singularidad y presencia de especies protegidas, valoración que será muy similar a la que se ha referido al tratar el efecto de la extensión y selectividad de los desbroces sobre el suelo. En caso de calidad y/o singularidad de la vegetación presente, en la fase de planificación habrá quedado descartada la repoblación del rodal. Generalizando el análisis, se puede afirmar que en la medida en que el desbroce tienda a ser parcial, selectivo y por roza, el impacto del mismo sobre la vegetación actual tiende a ser inexistente. Otra vez vuelve a manifestarse como conveniente el desbroce por fajas de poca ocupación relativa, con entrefajas de una anchura igual o mayor a la altura del matorral. Por el contrario, los desbroces a hecho, especialmente por decapado, y los desbroces por quema, tienen un impacto negativo sobre la vegetación actual, por lo que únicamente serán aceptables cuando el estado de degradación de ésta sea alto, su diversidad muy baja y se trate de formaciones de gran representación territorial y por tanto de escasa rareza. A un plazo algo más largo, la aplicación de quemas podría favorecer la presencia de especies pirófitas activas y pasivas.

El impacto de la preparación del suelo sobre la vegetación actual, al ser concordante con el procedimiento empleado en el desbroce, se puede decir que no existe pues será el mismo que el resultante de la aplicación de aquel. En los procedimientos en que el desbroce es simultáneo a las preparaciones del suelo, normalmente lineales o puntuales y por arranque, el impacto sobre la vegetación actual depende de la ocupación relativa de las fajas y su valoración depende de la calidad de ésta. En la medida en que la ocupación tienda a ser menor del 50% y la calidad de la vegetación baja, el impacto tiende a ser inexistente. La preparación del suelo se proyecta y ejecuta para tener un impacto favorable sobre la vegetación introducida. Esta valoración difiere si la repoblación forestal afecta a algún espacio de la red Natura 2000 (MITECO 2019).

La presencia y crecimiento de la masa arbórea introducida, produce a largo plazo en el monte repoblado un cambio paulatino de la composición específica vegetal. Se reduce a nivel del suelo la radiación; se tiende, como se ha visto, a mejorar las propiedades edáficas y por tanto las especies heliófilas y frugales preexistentes van siendo sustituidas paulatinamente por especies de sombra y exigentes, que corresponden a etapas más avanzadas de la sucesión vegetal. En este sentido, el impacto sobre la vegetación hay que interpretarlo como positivo (figura 22.19).

Ahora bien, esta modificación en principio favorable de la composición específica depende a la larga, más que de la mera presencia de la masa introducida, de los cuidados culturales que la selvicultura posterior aplique. En este sentido son, lógicamente, muy trascendentes los futuros desbroces y las variaciones de espesura de la masa principal, que influyen en la diversidad específica y en la estratificación.

Respecto del empleo en la repoblación de especies autóctonas y descartando la teoría monoclimática, el impacto respecto de la evolución de la vegetación se debe considerar positivo. Únicamente hay que considerar, en el caso de haber equivocado la elección del ecotipo adecuado, que existe un riesgo de impacto negativo por la posible hibridación de



Regenerado de *Quercus ilex* bajo el dosel de una masa repoblada de *Pinus nigra*.



Agrupaciones de matorral heliófilo sobre el suelo de una duna continental estabilizada por una repoblación mixta de *Pinus pinea* y *Pinus halepensis*.

Figura 22.19. Ejemplos de sociabilidad de especies forestales que permite la incorporación de aquellas más exigentes bajo el vuelo de otras pioneras (fotos: J Pemán).

los ejemplares introducidos con masas próximas de la misma especie, provocando a largo plazo regeneraciones naturales inadaptadas al medio.

Respecto del empleo de especies exóticas, la valoración del impacto no depende de este carácter en sí mismo, sino de su temperamento y frugalidad. Está claro que su presencia no es concordante con la sucesión vegetal y que tenderá a constituir agrupaciones paraclimácicas. Seguirá siendo muy determinante el tipo de tratamiento selvícola, tanto de mejora como de regeneración que se apliquen a la masa creada, pudiendo llegarse por estos tratamientos a la sustitución o eliminación de la especie exótica. En este sentido, hay que tener muy cuenta aquellas especies alóctonas que tienen un carácter invasor (tabla 22.5).

Por este motivo, la valoración negativa moderada que por motivos sucesionales se pueda hacer de la introducción de una especie exótica, y siempre que no se produzca una regeneración incontrolable, debe ser a su vez valorada como transitoria y recuperable.

6.7. Fauna

La valoración de los efectos sobre la fauna también tiene la doble vertiente de análisis sobre la existente en el momento de la repoblación y sobre la inducida posteriormente con el desarrollo de la masa arbórea. En ambos casos hay que atender especialmente a las especies protegidas y a las cinegéticas. Los efectos se valoran considerando la influencia de la repoblación sobre el cobijo, la alimentación, la reproducción y los desplazamientos de los animales. En líneas generales, el aumento de la masa forestal así como de su conectividad tiende a mejorar las condiciones del hábitat de numerosas especies de vida silvestre. Sin embargo, hay que considerar que pueden ocasionar un impacto negativo sobre otras asociadas a pastizales o a zonas de borde entre ecosistemas como comprobaron autores como Rittenhouse y Rissman (2012).

La gran variedad específica de fauna en nuestros montes, junto con las variadas posibilidades de extensión de los proyectos, hace prácticamente imposible un análisis

Tabla 22.5. Especies de flora de posible uso en repoblación forestal que están dentro del Catálogo español de especies exóticas invasoras (Real Decreto 630/2013).

Especie		Ámbito
<i>Acacia dealbata</i>	Mimosa, acacia, acacia francesa	Todo el territorio, excepto Canarias y Baleares
<i>Acacia farnesiana</i>	Acacia, aroma, carambuco, mimosa	Todo el territorio
<i>Acacia salicina</i>	Acacia de hoja de sauce	Canarias
<i>Agave americana</i>	Pitera común	Todo el territorio
<i>Ailanthus altissima</i>	Ailanto, árbol del cielo, zumaque falso	Todo el territorio
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	Canarias
<i>Arundo donax</i>	Caña, cañavera, bardiza, caña silvestre	Canarias
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama negra	Canarias
<i>Opuntia dillenii</i>	Tunera india	Todo el territorio
<i>Opuntia maxima</i>	Tunera común	Todo el territorio
<i>Opuntia stricta</i>	Chumbera	Todo el territorio, excepto Canarias
<i>Phoenix dactylifera</i>	Palmera datilera	Canarias
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	Canarias
<i>Ulex europaeus</i>	Tojo	Canarias

exhaustivo de los posibles impactos de la repoblación forestal en un contexto generalista. Se tratará de resaltar algunas directrices de análisis que puedan ser comunes a las especies protegidas y cinegéticas. El análisis tendrá que basarse en estudiar el grado de afección que pueden sufrir los biotopos presentes con el proyecto en cuestión, tanto en su estructura y composición como en la alteración de los procesos. Estos aspectos deberán ser valorados en el análisis de los condicionantes del proyecto (ver capítulo 9), para evitar que la repoblación pueda afectar a los biotopos singulares que estén presentes en la zona a repoblar.

La afección al biotopo en su cuánto, extensión, como en su cómo, cambio de la composición, densidad y estructura de las agrupaciones vegetales que la integran, son consecuencia de las afecciones comentadas anteriormente sobre la vegetación. En este sentido cobra un especial interés el riesgo de fragmentación que puede sufrir los hábitats de determinadas especies de interés así como la afección a corredores ecológicos, de un notable interés.

En cuanto a la afección a la fauna es muy importante el cuándo se ejecutarán los trabajos para no alterar los ciclos biológicos de las especies. Así, la determinación de la época del año en que se ejecutarán las diferentes operaciones tiene una gran trascendencia considerando el alto número de especies migratorias en nuestro país y los ciclos biológicos de las especies sedentarias. En este sentido, hay numerosas publicaciones que para los diferentes ámbitos territoriales limitan las actuaciones de gestión según las diferentes especies faunísticas de interés (Jiménez-Fernández *et al.* 2006; Unidad Territorial Noroeste-Río Mula 2012; Camprodon 2013).

Sobre la ejecución de desbroces se puede afirmar que el acusado impacto negativo que los desbroces por quema tienen sobre la fauna actual aportan un motivo más para descartarlos, salvo que se afecte a muy reducidas superficies en estaciones de escasa diversidad e interés faunísticos. Respecto de la extensión y selectividad del desbroce escogido, el impacto sobre la fauna puede repercutir en las posibilidades de cobijo y alimentación de los animales. Para favorecer el cobijo será conveniente no actuar en determinados rodales en que los animales tengan querencia. En relación con la alimentación, siendo las poblaciones de animales silvestres de baja densidad, únicamente les resultará inconveniente los desbroces a hecho y no selectivos, por lo que, al igual que en casos anteriores, se recomiendan los desbroces parciales y selectivos como más favorables.

Las preparaciones del suelo serán concordantes con esta recomendación, así, se puede valorar como admisible el impacto sobre la fauna actual cuando con el desbroce o con la preparación del suelo no se afecta a más del 40 o 50% de la superficie del rodal a repoblar. En cualquier caso, la valoración del impacto combinado de las operaciones de desbroce y preparación del suelo sobre la fauna debe contar con la estimación de la superficie afectada por la repoblación en términos relativos a las áreas de campeo de las especies de fauna interesantes, y con la calificación de estas poblaciones respecto de su singularidad, rareza y diversidad.

En relación con la valoración del impacto que a largo plazo induce la masa creada con su desarrollo sobre la fauna actual, se debe hacer un análisis similar al realizado para la vegetación. Al cambiar la composición y formación vegetal del monte repoblado, se producirá una sustitución paulatina de especies animales, favoreciéndose a todas aquellas que tienen su hábitat en el bosque.

Otra vez la consideración de la superficie repoblada en términos relativos a la comarca se manifiesta como elemento fundamental de valoración, pues siendo la diversidad específica un valor positivo, estando favorecida esta diversidad específica por la variedad de hábitats, la reforestación de algunos montes en comarcas mayoritariamente pobladas de matorral contribuirá a esta variedad. Por tanto, se debe concluir atribuyendo un impacto positivo de la repoblación sobre la fauna futura derivada de la creación de masas arbóreas, siempre que su extensión se haga en superficies razonables y considerando lo expresado al tratar la diversidad biológica anteriormente.

6.8. Paisaje

La valoración del paisaje tiende a ser difícil y subjetiva. Los impactos de la repoblación forestal sobre el paisaje dependen de la perspectiva histórica y sociocultural que cambia sustancialmente con el tiempo. Por ejemplo, para ilustrar los cambios de paradigma paisajístico, Berglund *et al.* (2014) destacaron como la reducción de la gestión tradicional agraria durante la primera mitad del siglo XX en Escandinavia y Japón, caracterizada por mosaicos de diversos usos de suelo, fue desplazada por áreas forestales repobladas continuas, que condujeron a la simplificación del paisaje tradicional y a la desvinculación de la población.

Los impactos producidos por la repoblación forestal en el paisaje son muy notorios y a la vez cambian notablemente con el tiempo, al desarrollarse la masa creada y la vegetación accesoria tras la ejecución de las operaciones de instalación.

El efecto sobre el paisaje de los diferentes procedimientos de desbroce se valora por la impresión geométrica que causa en las laderas. Los desbroces por casillas suelen ser inapreciables, sobre todo si la altura del matorral es similar a la anchura del lado de la casilla. Los desbroces por fajas, -mucho más notorios que los ejecutados por decapado por la mayor diferencia de color que inducen,- son los más fáciles de percibir visualmente y por tanto los que mayor impacto negativo, aunque temporal, producen.

Se recuerda a este respecto que los desbroces parciales se habían recomendado para evitar efectos negativos al tratar el suelo, el ciclo hidrológico, la calidad del agua, la vegetación y la fauna. Por tanto, el posible efecto negativo y temporal del desbroce por fajas en el paisaje es compensado por sus ventajas en otros factores, salvo que el objetivo preferente de la repoblación sea precisamente de tipo paisajístico. Los desbroces a hecho, selectivos o no, tienen un impacto visual bajo respecto de la zona en que se aplican, aunque son fácilmente perceptibles si las líneas que delimitan los rodales forman poligonales. El desbroce por quema tiene un impacto negativo transitorio, más fugaz que el de los realizados por fajas, mientras se aprecian los restos de la vegetación quemada.

Respecto a los procedimientos de preparación del suelo y su impacto paisajístico, se comentó cada caso al describirlos en el capítulo 14. Resaltamos en este punto el impacto negativo que producen los procedimientos de preparación del suelo con desbroce asociado por arranque y en forma lineal, como son los aterrazados con subsolado y los acaballonados superficiales y con desfonde. Los efectos visuales son patentes hasta un plazo variable que depende de la anchura de las labores, de la talla del matorral preexistente, del desarrollo de la vegetación accesoria y del crecimiento de la masa principal. Este plazo oscila desde el momento de la repoblación hasta los 15 a 20 años como máximo.

El crecimiento de la masa introducida, como se ha visto, anula los impactos negativos producidos sobre el paisaje por las operaciones de repoblación (figura 22.20), pero genera a largo plazo nuevas disfunciones visuales, que se pueden resumir como sigue:

- Por una parte está la regularidad de la masa manifestada en la similar altura y forma de copa de los pies y en la distribución geométrica en marco real, marco real desfasado o tresbolillo en que se realizó la plantación. Este insoslayable efecto se atenúa perfectamente con el tiempo al producirse un crecimiento diferencial de los pies de la masa en función de su diversidad genética y de las diferentes calidades edáficas dentro del monte.
Además, la ejecución sucesiva de claras a lo largo de la vida de la masa va deformando el marco de plantación hasta hacerlo irreconocible. Es la regularidad inicial de la masa, por tanto, un impacto negativo, moderado, directo, temporal, continuo y recuperable.
- El perímetro de la zona repoblada, que suele responder a límites administrativos, cuando tiene forma de poligonal se hace más patente con el crecimiento de la masa introducida (figura 22.21).



Figura 22.20. Masa artificial protectora de *Pinus pinaster* sobre rañas, realizada mediante aterrazado con subsolado a los 15 y a los 40 años de edad (Jócar, Guadalajara). El crecimiento de la masa introducida anula los impactos negativos producidos sobre el paisaje por las operaciones de repoblación (fotos: R Serrada).



Repoblación monoespecífica con *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en rodales separados; el perímetro poligonal marca un claro contraste con la agrupación de brezal mixto de la zona no repoblada.

Forestación de tierras agrarias con *Quercus suber* que presenta una clara alineación y regularidad en la distribución de los pies.

Figura 22.21. Ejemplos de impactos visuales difíciles de eliminar (fotos: J Pemán).

Las alternativas a este efecto pueden ser: adaptar los bordes de la repoblación en origen a formas sinuosas y apoyarlas en las líneas naturales del terreno; o esperar para realizar claras diferenciales y áreas cortafuegos contra incendios en los bordes de la repoblación cuando la masa envejece, disimulándose así el efecto descrito (ver capítulo 10). Es el perímetro poligonal de la masa, por tanto, un impacto negativo, moderado, directo, temporal, continuo y recuperable.

- Si la vegetación colindante a la zona repoblada es de mucha menor altura, se produce una discontinuidad vertical bastante manifiesta. A este respecto algunos autores recomiendan plantar arbustos de tallas intermedias en los bordes de la zona a repoblar lo que podría ser razonable en las escasas comarcas con bajo riesgo de incendios.

En zonas de veranos muy secos, introducir arbustos en los bordes de los bosques puede ser peligroso, por lo que es más oportuno hacer áreas cortafuegos con

fajas auxiliares perimetrales en las que se produce un aumento progresivo de la espesura de la masa principal desde los bordes hacia el interior, lo que además de paliar el efecto visual, se comporta como un área de prevención y más fácil extinción de incendios según se recomienda en selvicultura preventiva. Por tanto, también la discontinuidad vertical tiene un impacto negativo, moderado, directo, temporal, continuo y recuperable.

6.9. Factores económicos

Hay que valorar en el caso de repoblaciones genéricas, la incidencia económica de la ejecución; de la producción directa y de su valor añadido en las repoblaciones productoras; y de los beneficios indirectos y las externalidades en las repoblaciones protectoras. Por otro lado, en el balance económico hay que considerar en líneas generales:

- Los costes de ejecución.
- Los costes de conservación de las masas creadas.
- El lucro cesante por las actividades y usos que han dejado de realizarse por ser incompatibles con la repoblación.
- Los beneficios directos e indirectos que de ellas se obtienen, incluido el valor añadido de los productos.

En relación a los dos primeros, si entendemos que la inversión necesaria para ejecutar una repoblación detrae recursos económicos para otras actividades necesarias para el conjunto de la sociedad, a corto plazo habría que considerar un impacto negativo, moderado, directo, temporal y recuperable.

En cuanto a la pérdida económica que se puede producir por las actividades y usos que se hayan limitado como consecuencia del proyecto deberá valorarse su alcance y posibilidad de realizarlas en otras superficies. Si estas superficies no se ofrecen el impacto será negativo, moderado, directo, temporal y recuperable.

En cuanto a los beneficios directos e indirectos, en bienes y servicios, si el objetivo preferente de la repoblación es protector, lo que incluye fundamentalmente a aquellas repoblaciones destinadas a defender el suelo de la erosión hídrica, otros beneficios como reducir los efectos de la erosión eólica, aumentar la diversidad específica para acelerar la sucesión vegetal, o mejorar las condiciones de desarrollo de la vida silvestre, el paisaje y la biodiversidad. La importancia para la sociedad y la difícil valoración económica de estos servicios, excusan realizar un estudio económico previo. En el caso de repoblaciones específicas asociadas a proyectos de restauración paisajística, hidrológica, vías verdes u o áreas recreativas donde la actividad principal del proyecto consiste en la repoblación, el impacto económico debería calcularse considerando los flujos de caja esperados que incluirían desde los costes de mantenimiento y tratamientos selvícolas de mejora hasta potenciales beneficios económicos asociados a la reducción de la huella de carbono. Se puede entender que el impacto económico de esta actividad, aunque de difícil o discutible evaluación, será *siempre positivo*. Sin embargo, para reforzar el beneficioso efecto económico de las repoblaciones protectoras habrá que atender en su proceso de diseño y ejecución a dos cuestiones importantes relacionadas con los factores económicos: la reducción máxima de los costes de ejecución manteniendo la eficacia;

y el dar posibilidad a aprovechamientos futuros de materias primas que proporcionen a la masa, de modo secundario, un carácter productor. En el caso de repoblaciones de carácter *productivo*, deberá comprobarse, mediante estudios adecuados, la rentabilidad de la operación a través del valor de los productos a obtener descontando los gastos de ejecución y mantenimiento (ver capítulo 23).

6.10. Factores sociales

Los efectos sociales más importantes de la repoblación se derivan de:

- La creación de empleo rural estacional en tanto dura la ejecución de los trabajos o los cuidados posteriores.
- Las modificaciones de las costumbres o actividades rurales derivadas del cambio de uso del suelo de la zona repoblada.
- Las actitudes de las sociedades rurales respecto de la repoblación forestal y sus procedimientos.
- El uso recreativo de los espacios forestales.

En relación con el primer aspecto, fundamental en los inicios de la actividad repobladora en la década de los cuarenta del siglo pasado, hoy en día tiene una menor relevancia por dos motivos fundamentales. El primero es la ausencia de mano de obra disponible para los trabajos en la mayoría de nuestros núcleos rurales. El segundo es la mecanización de gran parte de las fases del proyecto a excepción de la plantación o siembra. Por otra parte, las masas son, o deberían ser, fuente continua de empleo en los tratamientos posteriores, muchos de ellos difícilmente mecanizables tanto en la extracción de productos como en las industrias de transformación derivadas de ellas.

La incompatibilidad del terreno repoblado con otras actividades que realiza la población local ha sido y es fuente de enormes problemas. Esta incompatibilidad se centra, sobre todo, en el uso ganadero, extremo que es preciso analizar con estudios socio-económicos que reflejen las cargas pastantes en la comarca y su distribución espacial y temporal. Dado el despoblamiento actual en nuestras comarcas montañosas, que se inició en el último tercio del siglo XX, la ocupación de terrenos necesarios para la ganadería por parte de la repoblación forestal no es habitual, aunque permanece la resistencia por parte de los ganaderos, fundada más en el temor a sanciones administrativas por irrupción de sus ganado en zonas repobladas que por la merma real de pastaderos. Por lo tanto, en los trámites precisos para posibilitar los terrenos para repoblar y en la ejecución de las repoblaciones, sigue siendo necesario alcanzar el máximo consenso con todas las personas que, con respaldo legal o no, opinan sobre la repoblación para evitar en el futuro incendios intencionados. Es una difícil tarea que debe potenciarse mediante actividades de extensión forestal, cuya metodología escapa del contenido de esta materia. En situaciones de posible conflicto hay que contemplar la posibilidad de instalar protectores o cercados. Si no se compensan las actividades y usos que han dejado de realizarse como consecuencia del proyecto el impacto será claramente negativo.

Un aspecto muy relevante, sobre todo en las repoblaciones en montes públicos, es el grado de aceptación social que la comunidad rural pueda tener sobre el proyecto, y, en

concreto, respecto de algunas decisiones del mismo, como la elección de especies, los tratamientos de desbroce o el procedimiento de preparación del suelo. En este sentido, es necesario conocer la posición de la comunidad sobre el proyecto, así como las posibles demandas que pudieran tener sobre el mismo. El signo de este impacto puede ser variable en la medida que el proyecto responda o no a las expectativas de la comunidad rural.

Un impacto social significativo y que puede tener un efecto claramente positivo es el uso recreativo de las masas forestales por parte de la sociedad, cada vez más urbana. En ese uso, no se distingue su carácter natural o artificial, como lo prueba los numerosos espacios protegidos declarados sobre antiguas repoblaciones (González-Doncel y Vicente 2017). De hecho muchas de las masas artificiales resultado de repoblación en el territorio nacional son muy apreciadas por la producción de setas, caza, etc., y también son valoradas desde el punto de vista paisajístico.

Otra posible influencia de tipo social, referida a masas artificiales productoras, puede ser la de aminorar la presión o demanda de materias primas sobre masas forestales naturales y autóctonas, cuya función puede orientarse con preferencia a la producción de servicios.

No obstante, el impacto social de las repoblaciones está sujeto a debate porque puede conducir a la desvinculación y al abandono de las zonas rurales (Tarazona 2017). Estos efectos no sólo han sido constatados a nivel nacional (e.g. Vadell *et al.* 2016) sino que han sido también documentado en otros países mediterráneos como Turquía (Caliskan y Boydak 2017). Las sociedades urbanas, más que ser influidas por la repoblación, influyen sobre los estados de opinión referentes a esta actividad y no siempre con acierto.

6.11. Diversidad biológica

La valoración de la diversidad biológica en repoblaciones genéricas se debe hacer a partir de estudios comarcales, pues si se reduce extremadamente la superficie de estudio, la valoración de la misma puede enmascarar o simplificar el análisis y las interrelaciones ecológicas.

El conjunto de la diversidad biológica de una comarca se ve afectada, -independientemente de las especies introducidas por el método de repoblación y los procedimientos para las operaciones correspondientes,- por la extensión de la misma. De este análisis se vuelve a derivar que es necesario realizar estudios de planificación de la repoblación forestal por comarcas extensas. Dentro de una comarca, para asegurar la diversidad biológica, la planificación de la repoblación debe prever zonas en las que se mantenga la vegetación en su estado actual para asegurar la persistencia de especies correspondientes a todas las fases de la sucesión vegetal. La proporción relativa que estas zonas deben ocupar, será variable considerando las características de cada comarca, no obstante algunos autores se refieren a cifras entre el 5% y el 15% de la superficie comarcal.

Una metodología más completa para dirigir las actuaciones en este sentido es la que proponen Montero de Burgos y Alcanda (1993). Se trata de definir una estructura ideal para una comarca de extensión suficiente, de modo que queden cuantificadas las superficies deseables para cada estado de nivel de madurez, de modo que esta estructura mantenga la representación suficiente y necesaria para todos los estados de evolución

de la vegetación posibles (capítulo 6). Inventariando la estructura actual de la comarca, se pueden cuantificar las superficies que pueden y deben cambiar de madurez mediante repoblación, para acercar la estructura real a la ideal. Esta metodología resuelve la tarea de realizar una evaluación ambiental estratégica de los planes comarcales de repoblación forestal, o de los planes de ordenación de los recursos forestales, sobre la diversidad biológica.

En el caso del proyecto de repoblación forestal sobre un rodal concreto, de escasa extensión relativa, a efectos de valorar su influencia en la diversidad biológica, se hace necesario analizar el estado de los rodales colindantes y comprobar que se mantiene, o incluso se induce, una suficiente diversidad estructural de la vegetación, lo que tendrá como consecuencia un mantenimiento o una mejora de la diversidad biológica.

6.12. Valores singulares

Se evaluará en cada proyecto la posibilidad de afectar, en la repoblación de un rodal concreto, a valores singulares de tipo geológico (geodiversidad), edáfico, botánico, faunístico, histórico, arqueológico, social, literario y paisajístico. Respecto de estos factores se diagnostica por presencia-ausencia. En caso de estar presente en el monte a repoblar alguno de los valores singulares mencionados, se procede a delimitar su localización y la zona de influencia correspondiente y se excluye del proyecto de repoblación. La consulta a organismos competentes y personas especializadas sobre los aspectos enumerados es de gran utilidad.

7. Conclusión metodológica

En este epígrafe se trata de resumir cuestiones justificadas anteriormente a modo de conclusión metodológica que ayude, en la práctica, a realizar los estudios de evaluación de impacto ambiental de las repoblaciones forestales por parte de los proyectistas.

La primera propuesta es la redacción del estudio de impacto ambiental en todo proyecto de repoblación forestal para evitar en todo caso las imprecisiones que las normas al respecto tienen, y demostrar que la repoblación que se proyecta no entraña riesgos de graves transformaciones ecológicas negativas.

La segunda propuesta se refiere a que es más lógico y operativo hacer el estudio para grandes comarcas, proponiendo soluciones sobre elección de especies, objetivo de la repoblación, método de repoblación y procedimientos de desbroce y de preparación del suelo en cada monte, y respecto de cada uno, llevar a cabo la evaluación del impacto ambiental correspondiente.

Una vez aprobado el estudio, de acuerdo con la legislación vigente, mediante una evaluación ambiental estratégica positiva queda todo facilitado posteriormente. Esta propuesta no es muy viable en la actualidad dado el escaso grado de obligatoriedad que tienen las normas de planificación forestal, por lo que a pesar de esta propuesta genérica, se mantendrá la redacción de un estudio parcial para cada proyecto de repoblación de pequeña superficie.

La tercera propuesta se concreta en que, dada la diversidad de factores a considerar y su importancia relativa variable en cada caso y el efecto temporal de la intensidad y signo de los impactos, la evaluación se haga de forma cualitativa en un análisis de los efectos de los trabajos propuestos por el proyecto y de los de la masa creada, sobre los factores que se han enumerado en este capítulo. Las metodologías basadas en otorgar diferentes pesos a los efectos positivos o negativos sobre diferentes factores, produciendo una compensación numérica entre ambos, no pueden obtener una objetividad total, siendo el criterio de los autores el que se acaba manifestando en la valoración final.

Haciendo un análisis cualitativo se detectan las posibles influencias negativas, su intensidad, su temporalidad y el factor sobre el que incide. A continuación se procede, o bien a considerar que los efectos positivos son muy superiores a los negativos y que estos resultan asumibles; o bien a replantear las soluciones propuestas respecto de la elección de especie o del proceso operativo; o bien a proponer tratamientos futuros de la masa que reduzcan los impactos negativos. A efectos de calificar a los impactos se recomienda emplear la terminología que se expone en el anexo VI de la Ley 21/2013.

Complementariamente al estudio que se ha propuesto anteriormente, se cumplimentarán los impresos oficiales que el órgano administrativo promotor o autonómico que deba tramitarlo tenga previstos para estos casos.

La cuarta proposición es que en el caso de repoblaciones protectoras se realice simultáneamente un estudio de evaluación del impacto ambiental que se está produciendo en las condiciones actuales del monte. Esta evaluación, denominada de la pasividad por algunos autores, ha sido recogida en la Ley 21/2013.

Los procesos de erosión hídrica inciden sobre varios factores medioambientales de forma que hay que poner de manifiesto su influencia para comparar las dos situaciones, con y sin repoblación, para formar un diagnóstico definitivo basado en dicha comparación. Esta valoración de la pasividad se puede realizar con una metodología cualitativa similar a la propuesta para evaluar la repoblación proyectada.

Si se quiere mantener la terminología clásica de las evaluaciones de impacto ambiental en el caso de la repoblación forestal, las actividades englobadas en los denominados planes de vigilancia o seguimiento lo constituirán las revisiones periódicas a que, ordinariamente, son sometidos los tratamientos selvícolas de las masas forestales, los cuales se pueden ajustar o no a lo previsto en las Instrucciones de Ordenación de Montes Arbolados emitidas por las Administraciones.

Como reflexión final se puede afirmar que si el proyecto de repoblación forestal se redacta tras un profundo conocimiento del monte en cuestión, especialmente en relación con su estado natural y evolutivo, se realiza una detallada división en rodales de repoblación, y se atiende a las normas correctas de ejecución de todas las labores, dicho proyecto constituirá en sí mismo la mejor garantía de que la actividad repobladora a corto, medio y largo plazo no tendrá efectos negativos permanentes o irreversibles sobre el medio ambiente y su calificación global podrá ser de indiferente en el peor de los casos o de positiva, especialmente en los relativos a repoblaciones protectoras.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcañiz M, Outeiro L, Francos M, Úbeda X (2018) Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of The Total Environment* 613-614:944-957
- Bastin J, Finegold Y, Garcia C, Mollicone D, Rezende M, Routh D, Zohner C, Crowther TW (2019) The global tree restoration potential. *Science* 366:76-79
- Bravo F (coord) (2007) El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, 315 pp
- Berglund BE, Kitagawa J, Lagerås P, Nakamura K, Sasaki N, Yasuda Y (2014) Traditional farming landscapes for sustainable living in Scandinavia and Japan: Global revival through the Satoyama initiative. *Ambio* 43 (5):559-578
- Bernal B, Murray LT, Pearson TRH (2018) Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. *Carbon Balance Manage* 13:22
- Caliskan S, Boydak M (2017) Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. *Turkish Jour Agricul Fores* 41(5):317-330
- Camprodon J (2013) Ecologia i conservació dels ocells forestals. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Lleida
- Ellison DN, Futter M, Bishop K (2012) On the forest cover–water yield debate: From demand–to supply–side thinking. *Global Change Biology* 18(3):806-820
- Filoso S, Bezerra MO, Weiss KCB, Palmer MA (2017) Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE* 12(8):e0183210
- Gallart F y Llorens P (2003) Catchment management under environmental change: Impact of land cover change on water resources. *Water International*, 28:334-340
- García-Prats A, Campo García AD Del, Pulido-Velázquez M (2016) A hydroeconomic modeling framework for optimal integrated management of forest and water. *Water Resour Res* 1 (52): 8277-8294
- González-Doncel I, Vicente J (2017) Encuentros y desencuentros entre el Plan Nacional de Repoblación Forestal y los Espacios Protegidos. En: Pemán García J, Iriarte Goñi I, Lario Leza FJ (eds) *La restauración Forestal de España. 75 años una ilusión*. Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, pp 325-342
- Gras Lope JM (1993) Investigación sobre las relaciones hídricas de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid
- Hepburn C, Adlen E, Beddington J, Carter EA, Fuss S, Mac Dowell N, Minx JC, Smith P, Williams CK (2019) The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal. *Nature* 575:87-97
- ICONA (1979) Las coníferas en el Primer Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Agricultura, Instituto nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid
- ICONA (1979b) Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Agricultura, Instituto nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid
- Jiang M, Medlyn BE, Drake JE et al. (2020) The fate of carbon in a mature forest under carbon dioxide enrichment. *Nature* 580: 227–231
- Jiménez-Fernández F, Gordo F, González-Romero A (2006) Manual sobre criterios de gestión forestal compatibles con la conservación de las especies de aves y quirópteros asociados a hábitats forestales. Junta de Castilla y León, Valladolid
- López-Leiva C, Escribano R (1999) Criterios para el análisis de la vegetación en los estudios de paisaje. *Montes* 55:44-51
- Lucas-Borja ME, Hedro M, Cerdá A, Candel-Pérez D, Viñegla B (2016) Unravelling the importance of forest age stand and forest structure driving microbiological soil properties, enzymatic activities and soil nutrients content in Mediterranean Spanish black pine (*Pinus nigra* Ar. ssp. *salzmannii*) Forest. *Science of The Total Environment* 562:145-154
- MAPA (2007) Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid
- McDaniel MD, Saha D, Dumont MG, Hernández, M., Adams M.A. (2019) The effect of land-use change on soil CH4 and N2O fluxes: a global meta-analysis. *Ecosystems* 22:1424–1443

- MITECO (2019) Guía metodológica de evaluación de impacto ambiental en Red Natura 2000. MITECO, Madrid
- MITECO (2020a) Calculadoras para huella de carbono (<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>). Accedido en enero de 2020
- MITECO (2020b) Evaluación ambiental. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/> Accedido en enero 2020
- Molina AJ y del Campo AD (2012) The effects of experimental thinning on through fall and stemflow: a contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. *For Ecol Manage* 269:206-213
- Montero de Burgos JL, Alcanda P (1993) Reforestación y Biodiversidad: líneas metodológicas de Planificación y Restauración Forestal. *Revista MONTES*. nº 33. Número monográfico sobre aplicación y desarrollo del R. D. 378/93. Tercer trimestre de 1993. Asociaciones y Colegios de Ingenieros de Montes e Ingenieros Técnicos Forestales, Madrid
- Moreno JM (coord) (2005) Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático: proyecto ECCE, informe final. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 822 pp
- Pemán J, Alcázar J (1999) Diez años del Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental. Su aplicación a las repoblaciones forestales. *Montes* 56:27-35
- Rittenhouse CD, Rissman AD (2012) Forest cover, carbon sequestration, and wildlife habitat: policy review and modeling of tradeoffs among land-use change scenarios. *Environ Scien Policy* 21:94–105
- Serrada R (2000) Apuntes de Repoblaciones Forestales. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. FUCOVASA, Madrid
- Serrada R, Gómez-Sanz V (2018) Estado edáfico de una repoblación forestal protectora de 50 años en Retiendas (Guadalajara). En: SECF (ed), *Actas del 7º Congreso Forestal Español*, Plasencia
- Taguas EV, Nadal-Romero E, Ayuso JL, Casalí J, Cid P, Dafonte J, Canatário-Duarte A, Ferreira CS, Giménez R, Giráldez JV, Gómez-Macpherson H, Gómez JA, González-Hidalgo JC, Lana-Renault N, Lucía A, Mateos L, Pérez R, Rodríguez-Blanco ML, Schnabel S, Serrano-Muela MP, Taboada-Castro MM, Taboada-Castro MT, Zabaleta A (2017) Hydrological signatures based on event runoff coefficients in rural catchments of the Iberian Peninsula. *Soil Science* 182(5):1-13
- Tarazona C (2017) Consecuencias sociales de la acción repobladora del Patrimonio Forestal del Estado en la provincia de Huesca (1950-1971). En: Pemán García J, Iriarte Goñi I, Lario Leza FJ (eds) *La restauración Forestal de España. 75 años una ilusión*. Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, p 281-311
- Unidad Territorial Noroeste-Río Mula (2012) Criterios de gestión forestal para la conservación de especies de aves rapaces.
- Vadell E, de-Miguel S, Pemán J (2016) Large-scale reforestation and afforestation policy in Spain: A historical review of its underlying ecological, socioeconomic and political dynamics. *Land Use Policy* 55:37–48
- Van Dijk AIJM, Hairsine PB, Arancibia JP, Dowling TI (2007) Reforestation, water availability and stream salinity: a multi-scale analysis in the Murray-Darling Basin, Australia. *For Ecol Manage* 251 (1-2):94-109
- Wattenbach M, Zebisch M, Hattermann F, Gottschalk P, Goemann H, Kreins P, Badeck F, Lasch P, Suckow F, Wechsung F (2007) Hydrological impact assessment of afforestation and change in tree-species composition - a regional case study for the Federal State of Brandenburg (Germany). *J Hydrol* 346(1-2):1-17
- Yu K, Yao X, Deng Y, Lai Z, Lin L, Liu J (2019) Effects of stand age on soil respiration in *Pinus massoniana* plantations in the hilly red soil region of Southern China. *Catena* 178:313–321
- Yuan Y, Bingner RL, Locke MA (2009) A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas. *Ecohydrol* 2:321-336

Capítulo 23

Evaluación financiera del proyecto de repoblación

Luis DÍAZ BALTEIRO, Carlos ROMERO

1. Introducción

A la hora de plantear un libro dedicado a los proyectos de repoblaciones, resulta imprescindible comentar las principales herramientas del análisis económico y financiero que se deben incorporar a un proyecto de estas características. Este capítulo se centra fundamentalmente en estos instrumentos, planteándolos desde el punto de vista de un centro decisor que pretende obtener información bien sea sobre la rentabilidad de dicho proyecto, o sobre el turno óptimo que debería aplicar a estas plantaciones bajo una componente estrictamente económica, una vez que se tengan en cuenta los posibles outputs asociados a este proyecto.

Por otro lado, creemos que la inclusión de un capítulo de estas características en un manual dedicado a las repoblaciones forestales constituye un acierto y, a la vez, una novedad en la literatura forestal española. El acierto se debe a que la decisión de proceder o no a una repoblación o a planificarla convenientemente presenta una componente económica que debe ser tenida en cuenta, como se ya enfatizaba hace más de un siglo en otros países (Trentham Law 1912). Sin embargo, este hecho ha sido tradicionalmente obviado en la literatura española al respecto. Así, obras emblemáticas como las de Ramos (1965), García Salmerón (1991) o Serrada (2000) no incluyen en sus manuales ningún capítulo específicamente dedicado a esta materia, aunque Ramos (1965) dedica un capítulo casi por completo a la determinación de los costes asociados a una repoblación, pero sin proponer ninguna técnica para evaluar financieramente estas repoblaciones. Sin embargo, obras de referencia dedicadas a algún género, como el caso de *Eucalyptus* (FAO 1981), sí que incluyen tanto un capítulo con algunos resultados sobre la rentabilidad de especies de este género en diferentes países, como un anexo con el cálculo del valor actual neto para tres casos distintos. Llegados a este punto, cabría preguntarse si existen estudios donde se indique, de forma tentativa, cuál es la rentabilidad media de un proyecto de

replantación en España. La respuesta es que esta rentabilidad media no existe como tal, y que la rentabilidad varía mucho según la época, la especie y cómo se ha realizado el cálculo económico. Un resumen de esta variabilidad se puede ver en Vadell *et al.* (2019).

Por otro lado, resulta conveniente explicar y justificar el título de este capítulo. Así, se le ha denominado análisis financiero asumiendo que estamos ante la situación más común en la realidad: el centro decisor puede disponer de información fiable sobre las expectativas de los flujos de caja presentes y futuros. En ese contexto, y asumiendo ciertas hipótesis, se pretende estimar con un cierto grado de fiabilidad la rentabilidad de la inversión subyacente. Dicho de otra forma, no se le ha llamado análisis económico de un proyecto de repoblación, en la línea más pura de lo que sería un análisis coste-beneficio, debido a que no es común que se dispongan de informaciones referidas a otros bienes y servicios asociados al proyecto (por ejemplo, de carácter ambiental) y que para los cuáles no se dispone, en general, de un precio de mercado. En resumen, sólo se van a tener en cuenta en nuestro análisis flujos de caja medidos a través de precios de mercado y se van a obviar otras componentes que, siguiendo a Gregersen y Contreras (1992), se encuadrarían dentro de la eficiencia económica: los beneficios y costes que el proyecto implica para la sociedad como un todo, con independencia de quién asume los costes y quién recibe las ganancias.

La visión de tipo financiero que se intenta trasladar a lo largo de este capítulo debe incorporarse en todas las etapas asociadas a la vida útil de un proyecto de repoblación forestal, incluso antes de que se inicie éste. En efecto, y sin ánimo de ser exhaustivos, inicialmente el centro decisor debiera evaluar si acomete o no un determinado proyecto de repoblación. En el caso que hubiera distintas alternativas a este proyecto, también debería preguntarse dónde la acomete, ya que debería buscar el lugar que sea más favorable para sus intereses. Siguiendo este razonamiento, los impulsores de este proyecto de forestación deberían preguntarse si es mejor adquirir en propiedad el terreno o, por el contrario, proceder a arrendarlo. Si ya se han cumplido estos pasos iniciales y el carácter de la repoblación fuera productivo, se debería elegir la especie o clon utilizado, no sólo en función de sus características técnicas, sino también de acuerdo con un mínimo de parámetros de carácter económico y financiero. A continuación, también se debería tomar la decisión sobre si comenzar el proyecto de repoblación en todo el terreno a la vez, o bien programarlo en el tiempo. Además, será importante optimizar las inversiones a realizar a lo largo de la vida de la plantación, así como definir, *a priori*, el turno más apropiado, donde también se deben incorporar criterios económicos. En esta última decisión también subyace los *outputs* que se esperan obtener de acuerdo con esta inversión. En definitiva, se pretende con este capítulo que el lector adquiera un nivel razonable de conocimiento sobre un conjunto de herramientas básicas que le permitan contestar a las preguntas arriba planteadas.

Antes de comenzar a desarrollar los principios básicos del análisis de inversiones aplicado a estos sistemas forestales, resulta conveniente indicar las principales hipótesis que subyacen a lo largo de este capítulo. Así, en primer lugar, cabe reconocer que los proyectos de repoblación que se abordan pueden presentar un carácter público o privado. Es decir, proyectos que, por ejemplo, tengan como fin aspectos como la restauración de riberas, la prevención contra la erosión, el enriquecimiento de sistemas forestales por motivos paisajísticos, de biodiversidad, o la restauración de la masa forestal después de un incendio, etc., no serán objeto de análisis en este capítulo. Pero, por otro lado, también habría que

considerar proyectos asociados a plantaciones de un propietario privado, de comunidades de propietarios, de inversores institucionales, o incluso de la propia industria (siguiendo la clasificación de García Salmerón (1991), serían las llamadas “replantaciones industriales”). Por último, es preciso apuntar que esta precisión en cuanto al origen privado/público de las plantaciones no es óbice para que, en algunos casos, se puedan integrar en las plantaciones privadas posibles ayudas o subvenciones procedentes del sector público.

Por otro lado, en este capítulo se hará una exposición de diversas metodologías partiendo de la hipótesis que nos encontramos ante una situación determinista. Es decir, con el objetivo de facilitar la comprensión de los métodos que se van a exponer, no se van a considerar de forma detallada aspectos relacionados con el riesgo y la incertidumbre, como se explicará en la sección 3.3. Ello no excluye que a la hora del manejo de estos sistemas forestales no existan fenómenos naturales que puedan afectar al crecimiento de estas masas (heladas, sequías, plagas etc.), así como posibles episodios asociados a incendios forestales. Por otro lado, desde el punto de vista económico, existen incertidumbres relacionadas con la evolución de los precios de los productos finales, así como de los costes previstos a lo largo de la vida de la plantación lo cual puede afectar a los análisis realizados. Sin ánimo de ser exhaustivos, otros aspectos como los relacionados con la evolución de la tecnología y, en general, de la innovación en elementos comunes a estos proyectos de replantación también pueden condicionar el desarrollo futuro de estas masas forestales.

Otra hipótesis que está implícita en el desarrollo de este capítulo es que, en principio, estamos abordando problemas de naturaleza monocriterio, es decir, donde sólo se pretende abordar un único objetivo. Esta simplificación inicial no implica que un proyecto de replantación no tenga otros objetivos diferentes al de obtener una determinada rentabilidad. Simplemente, y dado que la casuística puede ser elevada, se asume que se intenta optimizar únicamente un objetivo de tipo financiero. Además, en este capítulo se va a suponer que el centro decisor se asimila a un único individuo. Es decir, se asume que no es necesario acudir a procedimientos, como la teoría de la decisión en grupo, que permiten agregar las preferencias de posibles centros decisores implicados en proyectos de replantación.

Otros aspectos que conviene tener muy presentes a la hora de realizar cualquier evaluación económica de una plantación serían aquellos relacionados tanto con las autoridades públicas como con algunos condicionantes o restricciones existentes en el mercado. Es decir, se debe tener muy presente, como se ha comentado anteriormente, que ciertas políticas públicas puedan afectar a distintos flujos de caja previstos en el proyecto de replantación. Así, aspectos como posibles ayudas o subvenciones deben tenerse en cuenta en cualquier etapa del proyecto. De la misma forma, se recomienda desde el principio integrar en el análisis los distintos pagos asociados a los diversos impuestos con que puedan ser gravadas las plantaciones objeto de estudio. El entorno institucional puede también afectar al proyecto (positiva o negativamente) mediante diversas medidas legislativas que deberían ser objeto de un cuidadoso estudio.

A pesar de la complejidad que pueda derivarse de los anteriores párrafos con relación a los múltiples factores y decisiones a tomar en la gestión de proyecto de replantación, el lector cuando finalice la lectura de este capítulo debería haber comprendido los siguientes conceptos:

- Principios básicos del análisis de inversiones aplicado a los proyectos de repoblación.
- Cómo incluir el descuento en este tipo de análisis
- Criterios para evaluar la rentabilidad de las posibles alternativas de inversión
- Comprender cómo se calcula el turno forestal económicamente óptimo asociado al proyecto de repoblación considerado.

2. Principios básicos del análisis de inversiones

En este apartado se desarrollarán los conceptos básicos del análisis de inversiones que constituirán el soporte para explicar las herramientas más habitualmente empleadas para analizar la rentabilidad de las inversiones como las que nos ocupan.

2.1. Conceptos básicos

En primer lugar, a la hora de acometer una inversión en una plantación forestal, resulta necesario caracterizar los elementos comunes que la conforman. En concreto, cualquier proyecto de repoblación se puede describir a través de tres parámetros básicos:

- Pago de la inversión (K): Representa las unidades monetarias que el inversor o propietario del proyecto debe abonar si quiere abordar dicha repoblación. Así, este concepto debe incluir aspectos como la preparación del terreno, el material vegetal a emplear, tratamientos iniciales, etc.
- La duración del proyecto (n) o número de años que se prevé se mantenga la plantación. En ese caso, coincidirá con el turno inicialmente previsto. Sin embargo, en otros casos se podría hablar de una duración menor, que sólo incluye los posibles tratamientos hasta que la masa forestal alcance una determinada edad o condición.
- Los posibles rendimientos asociados al proyecto pueden ser medidos desde un punto de vista financiero como flujos de caja (cobros menos pagos) o desde un punto de vista económico como beneficios (ingresos menos costes). La primera óptica quizá sea más apropiada cuando el proyecto es de naturaleza privada, mientras que la económica encajaría mejor si fuera de naturaleza pública. Ejemplos de pagos en este tipo de proyectos son numerosos: podas, desbroces, vías de acceso, labores de mantenimiento, de fertilización, etc. Otro pago anual que puede ser de gran interés en este tipo de proyectos es el desembolso de una prima anual con el fin de asegurar la repoblación efectuada ante distintos tipos de siniestros (incendio, viento, lluvia torrencial, nieve, etc.). Por el lado de los cobros se deberían considerar los derivados de la venta de madera, así como cobros anuales o periódicos relacionados con otros aprovechamientos (productos forestales no madereros, caza, pastos, etc.), así como los procedentes de posibles subvenciones.

Los parámetros arriba expuestos caracterizan un proyecto de repoblación forestal, y, siguiendo la misma nomenclatura que en Romero (2002), en la figura 23.1 se representan un diagrama de tipo temporal. Los posibles cobros se pueden representar en la parte superior del eje de

abscisas, mientras que los pagos se representarían en la parte inferior de este eje. Como se puede comprobar, en esta figura se ha asumido que estos flujos de caja (R_i en la figura) se producen a final de año. Esta es la hipótesis que habitualmente se considera, aunque no habría problema en, por ejemplo, suponer que los flujos de caja ocurren a principio de cada año.



Figura 23.1. Parámetros que caracterizan un proyecto de repoblación con una duración de n años.

2.2. Tasa de descuento

Desde un punto de vista económico, en un proyecto de repoblación forestal subyace una función de producción temporal en vez de una función de producción instantánea de carácter clásico. De hecho, si asimilamos este proyecto a una plantación, se puede decir que abarca un período relativamente largo de tiempo desde que se realiza la plantación hasta la corta final. Es decir, el período de maduración de la inversión subyacente es relativamente largo. Esta característica temporal del proyecto implica que los diferentes flujos de caja serán generados a lo largo de diferentes momentos muy diferidos a lo largo del tiempo.

Esta característica temporal asociada a los distintos flujos de caja obliga a disponer de un cierto proceso de normalización o estandarización. Así, como todo el mundo puede pensar, está claro que no es lo mismo recibir o pagar R unidades monetarias ahora que dentro de tres o cinco años. En resumen, un razonamiento económico básico nos dice que cualquier agente económico (inversor, propietario, comunero, etc.) prefiere recibir dinero ahora que dentro de unos años. Para comprender esta preferencia temporal por el dinero sería suficiente hablar de la existencia de un mercado para el dinero. En este mercado, cualquier agente económico puede prestar o pedir prestado dinero, de acuerdo con la ley del interés compuesto, a una tasa de interés del i por ciento. Por tanto, a cualquier agente económico le sería indiferente percibir R unidades monetarias en el momento actual que recibir $R \cdot (1+i)^n$ unidades monetarias n años más tarde.

Este simple argumento nos lleva a la necesidad de descontar los flujos de caja futuros asociados al proyecto de repoblación. En otras palabras, el valor actual de un flujo de caja R que debe ser percibido n años después es menor que el valor de dicho flujo R . La reducción en este valor vendrá dada por un factor de descuento que, de acuerdo a la ley del interés compuesto sería igual a $R / (1+i)^n$. A este proceso se le conoce como descontar. De forma inversa, si el centro decisor busca cuál es el valor futuro de una cierta cantidad de dinero, debe realizarse un proceso de capitalización. Así el valor futuro de R unidades monetarias capitalizadas con una tasa de interés en n años será igual a $R \cdot (1+i)^n$.

Una vez definidos estos sencillos pasos, el problema consistirá ahora en elegir correctamente la tasa de descuento i . Esta importantísima cuestión presenta diferentes respuestas dependiendo si la propiedad del terreno donde se ejecuta el proyecto de repoblación es privada o pública (la casuística puede ser mayor, pero para simplificar el

análisis no se han considerado otras opciones). En otras palabras, la tasa de descuento elegida dependerá de las preferencias por este tipo de consumo actual frente a un consumo futuro en el caso de un propietario particular o, en el caso de proyectos de naturaleza pública, por las preferencias de la sociedad en su conjunto en cuanto al consumo actual frente al consumo futuro.

Desde un punto de vista conceptual, la determinación de la tasa de descuento dentro de un escenario de propiedad privada presenta un tratamiento más sencillo. Así, en este caso, la tasa de descuento se puede asimilar a una medida subjetiva de la pérdida o del coste de oportunidad en que incurre un individuo si recibe una cierta cantidad de dinero dentro de unos años en vez de recibirla en el momento actual. Consecuentemente, la tasa de descuento privada es una tasa financiera cuyo valor correcto resulta razonable que se estime utilizando la tasa de interés para la cual ese determinado individuo o empresa puede prestar o pedir prestado dinero en los mercados de capital. En el caso de proyectos de repoblación asociados a una empresa la tasa de descuento elegida debe reflejar el coste de capital con el que se financia dicha empresa.

Cuando en un determinado contexto el proyecto de repoblación no está asociado a un particular, sino a la sociedad en su conjunto la conceptualización, así como la estimación de la tasa de descuento a emplear, resulta un asunto más complejo. En este caso la tasa de descuento es denominada tasa social de descuento y su estimación correcta conlleva cierta complejidad (Díaz Balteiro 1998). Dada la orientación de este libro, no se va a profundizar más en esta cuestión. Sin embargo, los lectores interesados en este asunto pueden consultar, entre otros, los trabajos clásicos de Sen (1967) o de Kula (1984, 1985).

Además, resulta importante destacar que, como se acaba de mostrar, el descuento es algo necesario, pero tiene una segunda cara: perjudica el bienestar de generaciones futuras. Así, cuanto mayor es la tasa de descuento elegida, más se estimula el consumo actual frente al consumo futuro. Bajas tasas de descuento son adecuadas para el bienestar de generaciones futuras, y, obviamente, lo opuesto también se cumple.

Por otro lado, es preciso señalar que en algunas ocasiones la elección de la tasa de descuento resulta sencilla porque está asociada a una determinada normativa. Esto es lo que sucede o sucedía tanto en algunos países como el Reino Unido (Kula 1998), o en España en épocas pretéritas. Hoy en día el caso más claro de tasa normativa sería cuando interesa obtener los flujos futuros asociados a una hipotética repoblación forestal dentro de un ejercicio de valoración de un predio rural. La legislación vigente (Real Decreto 1492/2011 y modificaciones posteriores) indica cómo obtener la tasa de descuento a emplear en estos casos. Por último, cuando se abordan proyectos de repoblaciones con especies de crecimiento lento, un posible indicador para justificar la tasa de descuento a emplear pudiera ser la tasa de la deuda pública a largo plazo (Díaz Balteiro 1998; Campbell y Brown 2003).

Tal como se ha indicado en los párrafos anteriores se ha trabajado con el interés compuesto donde los intereses se acumulan una vez al año, lo que nos lleva a la idea de una tasa de descuento discreta. Sin embargo, en muchas ocasiones resulta mucho más operativo acudir a una tasa de descuento de tipo continuo. Las tasas de descuento de tipo discreto o de tipo continuo están relacionadas de la siguiente forma: si los intereses se acumulan anualmente,

un capital inicial C se transformará después de n años en $C \cdot (1+i)^n$. Sin embargo, si la acumulación de intereses se realiza, por ejemplo, mensualmente, en el caso que nos ocupa se aplicaría una tasa de interés $i/12$ cada mes y el capital inicial C se transformará después de n años en $C \cdot (1+i/12)^{12n}$. En general, si acumulamos intereses m veces cada año, el capital inicial C se transformará después de n años en $C \cdot (1+i/m)^{mn}$. Se dice que la tasa de interés es continua cuando $m \rightarrow \infty$; esto es, los intereses se acumulan instantáneamente o, lo que es lo mismo, de una forma continua. En esta situación necesitamos calcular el siguiente límite matemático:

$$Z = \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{i}{m}\right)^{mn} \quad (1)$$

El cálculo del límite dado por (1) nos llevaría inicialmente a una indeterminación del tipo 1^∞ . Sin embargo, resulta relativamente fácil demostrar que, si se toman logaritmos neperianos en (1), y aplicando la regla de L'Hôpital, este límite matemático es igual a:

$$Z = e^{ni} \quad (2)$$

Por tanto, el factor de descuento discreto $(1+i)^{-n}$ es equivalente al factor de descuento continuo e^{-ni} . Para determinar un vínculo entre el factor de descuento discreto i y el factor de descuento continuo i' se establece la siguiente identidad:

$$(1+i)^n = e^{ni'} \quad (3)$$

Tomando logaritmos neperianos en (3), tendríamos:

$$\ln(1+i)^n = ni' \quad (4)$$

Por tanto, se puede concluir que resulta equivalente utilizar una tasa de descuento discreta i que utilizar una tasa de descuento continua $i' = \ln(1+i)$. En la tabla 23.1 se han aportado las respectivas equivalencias para diferentes valores de la tasa de descuento utilizada. Por último, se puede comprobar cómo en un entorno de tasas de descuento reducidas, los resultados son muy similares pero la mayor utilidad de la tasa de descuento con acumulación continua radica en su facilidad operacional (se evitan las fracciones a la hora de actualizar rentas futuras). Aunque en proyectos sencillos el ahorro es mínimo, si tenemos proyectos de repoblación con numerosos flujos de caja distintos cada año resulta mucho más sencillo operar con tasas de descuento con acumulación continua.

Tabla 23.1. Equivalencias entre tasas de descuento discretas y continuas.

i (%)	$i' = \ln(1+i)$ (%)
5	4,88
6	5,83
7	6,77
8	7,7
9	8,62
10	9,53
11	10,44

Para finalizar este apartado conviene insistir en que, salvo por requisitos legales, nos encontremos que existe una tasa de descuento obligatoria, conviene para todos los demás casos partir de dos premisas básicas. La primera, como afirma Wagner (2012) es que no existe una tasa única que pueda ser aplicada para, centrándonos en el contexto de este libro, todos los proyectos de repoblación forestal. La segunda es que la tasa de descuento se debe estimar independientemente para cada caso, teniendo en cuenta las características de cada proyecto, los objetivos asociados al mismo, así como las preferencias del centro decisor.

2.3. Inflación

El análisis efectuado en los epígrafes anteriores se basaba en una hipótesis poco realista: los flujos de caja no varían monetariamente a lo largo de la vida del proyecto. Es decir, se ha estado suponiendo que estos flujos de caja no se ven afectados por los efectos de la inflación. Sin embargo, a la hora de evaluar cualquier tipo de inversión, es preciso tener en cuenta los efectos que puede causar la inflación. En este sentido, conviene recordar que tanto los flujos de caja como la tasa de descuento empleada se ven afectados por los posibles procesos inflacionarios.

Se suelen utilizar dos aproximaciones a la hora de integrar la inflación en un análisis de la rentabilidad asociado a un proyecto de repoblación. La primera sería trabajar con flujos de caja medidos en precios corrientes, es decir, precios que llevan incorporada la inflación y una tasa de descuento nominal. La segunda forma de integrar la inflación consiste en trabajar con los flujos de caja en los que se ha descontado el efecto de la inflación. Es decir, se trabajaría con precios constantes. La tasa de descuento a emplear estaría exenta de inflación, denominándose en este caso tasa real de descuento.

A la hora de decidir cuál de las dos aproximaciones es la más recomendable, conviene tener presente las implicaciones asociadas a cada una de ellas. Trabajar con precios corrientes y tasas de descuento nominales implica tener un cierto conocimiento de cómo va a evolucionar la inflación en el futuro y si va a afectar por igual o no a los cobros y a los pagos. Por el contrario, cuando se trabaja con precios constantes y tasas de descuento reales se está realizando la hipótesis implícita que la inflación va a afectar por igual a los cobros que a los pagos futuros. Llegados a este punto, cabe recordar que en muchas ocasiones la evolución del precio de productos derivados de la industria de la madera a lo largo de diversos lapsos de tiempo no se ha incrementado en términos reales (Buongiorno *et al.* 2003), lo que no es probable que haya ocurrido con los pagos asociados a una plantación.

Aunque los manuales de finanzas recomiendan en la mayoría de las ocasiones la primera de las opciones comentadas (por ejemplo, Pike y Neale 2006), es preciso tener en cuenta que la duración de un proyecto asociado a una repoblación forestal no es equivalente al horizonte considerado en la mayoría de los productos financieros, por lo que hacer predicciones sobre la evolución a muchos años vista puede ser muy arriesgado y se justificaría, por tanto, trabajar con precios constantes y tasas de descuento reales. Sin embargo, existen casuísticas (por ejemplo, plantaciones de biomasa) donde pudiera ser recomendable la utilización de precios corrientes y tasas de descuento nominales debido a la escasa duración del proyecto.

Por otro lado, la relación entre una tasa de descuento nominal y una tasa de descuento real fue formulada por Fisher (1930). Así, si denominamos por i_n a la tasa de descuento nominal, i_r la tasa de descuento real y por p la tasa de inflación, se debe cumplir la siguiente identidad:

$$(1 + i_n) = (1 + i_r) \cdot (1 + p) \quad (5)$$

Reagrupando términos en (5) se obtiene la siguiente relación:

$$i_n = i_r + p + i_r \cdot p \quad (6)$$

Dado que generalmente el producto de i_r por p es una cifra muy pequeña, se puede admitir que, en ausencia de riesgo, la tasa de descuento nominal es igual a la tasa de descuento real más la inflación esperada, esto es:

$$i_n \approx i_r + p \quad (7)$$

2.4. Otros aspectos relacionados con la toma de decisiones

Una vez introducidas las principales componentes del análisis de inversiones, conviene finalizar este apartado señalando algunos pasos a seguir a la hora de manejar estas informaciones, sobre todo si se van a aplicar los métodos que se van a presentar en el siguiente epígrafe.

El primer paso que se debiera seguir consistiría en recabar, con la mayor precisión posible, las informaciones necesarias para estimar los distintos flujos de caja. Ello supone, en primer lugar, identificar todos los cobros y pagos relevantes. Una vez identificados, el paso siguiente consistiría en estimar dichos cobros y pagos para, a continuación, calcular el flujo de caja esperado en cada año de la inversión. Comenzando por los pagos, resulta de vital importancia estimar con precisión el pago asociado con la realización de la plantación. Habrá casos en que este pago se periodifique a lo largo de varios años (el importe total de este pago no se abona en el año cero de la inversión), y, habitualmente, hay otros pagos en años futuros asociados a este pago inicial (por ejemplo, reposición de marras). Obviamente, es necesario incluir todos los pagos asociados a las distintas operaciones selvícolas previstas y aquí la primera duda surge si se consideran a precios actuales o se supone algún escenario donde los precios se incrementen en el tiempo. En el apartado anterior se ha recomendado utilizar precios constantes, pero en algunas ocasiones suponer que el crecimiento de los cobros en el tiempo es igual al crecimiento en los pagos puede inducir a resultados sesgados. Si se tiene ese convencimiento, parecería lógico imputar un cierto margen de crecimiento en estos pagos. Por otro lado, se debe tomar un criterio con relación a la inclusión o no de los impuestos en el análisis, ya que los resultados pueden variar notablemente si se comparan escenarios con y sin impuestos (Esteban López *et al.* 2005).

En cuanto a los cobros, es necesario tener en cuenta por su vital importancia de cara a la viabilidad del proyecto la consideración de las subvenciones (ayudas para la plantación, primas de mantenimiento de la repoblación, primas compensatorias, ayudas para realizar labores selvícolas, etc.). Asimismo, también se deberían incluir, si fuera necesario, otros cobros esperados distintos a los relacionados con la producción de madera. Y, en cuanto a cobros futuros asociados a la corta de madera, conviene tener presente si el precio

obtenido es neto (sin ningún otro coste asociado), o si hay que restarle algún pago asociado al aprovechamiento. Por último, se debe insistir en la conveniencia de ser consistente en la estimación de cobros y pagos futuros. Estos deberán ser medidos a través de unidades monetarias corrientes o constantes, pero de forma homogénea.

3. Análisis financiero

El punto de partida en el análisis económico de un proyecto de repoblación sería analizar la rentabilidad financiera de la inversión subyacente. Obviamente, este aspecto será más importante si dicha repoblación tuviese un carácter productivo. Por ello en este apartado se van a introducir los conceptos básicos de un análisis financiero de inversiones.

Una vez que la inversión que va a dar lugar a un proyecto de repoblación ha sido definida, se introducirán los métodos más usualmente empleados para evaluar su rentabilidad esperada. El más intuitivo de ellos sería calcular la suma algebraica convenientemente descontada de los flujos de caja (R_j) y del pago de la inversión (K), tal y como aparece en la siguiente expresión:

$$VAN = \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_j}{(1+i)^j} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} - K \quad (8)$$

Lo que sería equivalente a la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - K \quad (9)$$

Ambas expresiones se corresponden al concepto o criterio de rentabilidad conocido como “valor actual neto” (VAN) de la inversión (*net present value*, NPV en idioma inglés). Debe quedar claro que el VAN es una medida de los beneficios totales asociados al proceso de inversión tomando en cuenta la dimensión temporal a través de la aplicación de la tasa de descuento i . En resumen, si el VAN es mayor que cero la inversión sería financieramente viable y su resultado mediría la ganancia esperada. Sin embargo, si el VAN fuese negativo la inversión no sería financieramente viable y su resultado nos mediría la cuantía de la pérdida esperada. Consecuentemente, que el VAN sea mayor o igual que cero es una condición necesaria pero no suficiente para llevar a cabo el proyecto de repoblación previsto. De acuerdo con la definición anteriormente expuesta, el VAN es un indicador de la rentabilidad absoluta de la inversión. Así, si el VAN de cierto proyecto de repoblación asciende a 2000 € ha⁻¹, esta cifra significa el beneficio total descontado asociado a esta inversión.

La rentabilidad absoluta es un indicador importante, pero también se necesitaría otro indicador de la rentabilidad relativa: esto es, ¿cuál sería el VAN obtenido por unidad monetaria invertida? La forma más sencilla de responder a esta cuestión consistiría en dividir el VAN entre el pago de la inversión K . De esta forma, se obtendría el llamado “ratio beneficio/coste”:

$$Q = \frac{VAN}{K} \quad (10)$$

Así, si para un determinado proyecto de repoblación este ratio Q toma el valor de 0,75 significa que por cada euro invertido se ha generado un beneficio descontado de 0,75 €.

La rentabilidad relativa de una inversión puede ser medida de una forma alternativa. Con el fin de explicar esta circunstancia, vamos a interpretar la inversión de forma metafórica como un préstamo que el inversor hace a una entidad abstracta (el proyecto de repoblación en nuestro caso). El inversor presta a la inversión (proyecto de repoblación) K unidades monetarias en el momento actual. La inversión está obligada a devolver al final de cada año y durante n años las anualidades: $R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_n$. Una vez que el proceso de inversión se interpreta de esta manera, podría ser útil conocer cuál sería la metafórica o hipotética tasa de interés pagada por la inversión al inversor. Esta tasa de interés representará un indicador de la eficacia financiera de la inversión desde el punto de vista del inversor. Si representamos esta tasa de interés por λ , se podría escribir la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1 + \lambda)^j} \quad (11)$$

El valor de λ obtenido a partir de la ecuación (11) es conocido como la “tasa interna de rendimiento” (*TIR*) de la inversión (*internal rate of return*, *IRR*, en idioma inglés). Esta tasa recibe el nombre de interna porque para su correcta determinación sólo se han empleado variables que son internas al propio proceso de la inversión. Por otro lado, si comparamos las expresiones (9) y (11) resulta inmediato deducir que el valor de λ obtenido a partir de la ecuación (11) presenta la propiedad de hacer el correspondiente valor actual neto igual a cero. Es decir, si en la ecuación (9) utilizamos como tasa de descuento el valor de λ , su *VAN* sería igual cero.

El concepto de tasa interna de rendimiento nos permite proporcionar una nueva definición de la viabilidad financiera de una inversión. Así, podemos decir ahora que un proyecto de repoblación es viable si y sólo si la tasa interna de rendimiento λ es mayor que la tasa de descuento i para la cual el inversor puede obtener recursos financieros en los mercados de capital. De hecho, en esta situación la inversión puede ser acometida con un préstamo de K unidades monetarias que deben ser devueltas de acuerdo con una tasa de interés i , dejando esta situación una ganancia al inversor igual a $(\lambda - i)$ por unidad monetaria invertida. En resumen, si:

- $\lambda < i$: la inversión no es viable, siendo más rentable prestar K unidades monetarias a una tasa de descuento i , pero si:
- $\lambda > i$: la inversión es viable desde un punto de vista financiero.

Por otro lado, las expresiones (9) y (11) son perfectamente válidas para calcular el valor actual neto y la tasa interna de rendimiento utilizando una tasa de descuento con acumulación discreta de intereses. Si quisiéramos emplear una tasa de descuento con acumulación continua de intereses, se debería emplear las siguientes expresiones:

$$VAN = \int_0^n R(j)e^{-ij} dj - K \quad (12)$$

$$K = \int_0^n R(j)e^{-ij} dj \quad (13)$$

Aunque en el siguiente apartado se describirán las diferencias existentes en cuanto a la consideración del *VAN* o de la *TIR* para la obtención del turno económicamente óptimo, conviene acabar este epígrafe realizando una breve comparación entre ambos métodos. Así,

algunos autores recomiendan el uso del *VAN* frente a la *TIR* por, entre otras razones, su facilidad de uso (Gunter y Haney 1984), mientras que otros (Wagner 2012) desarrollan en detalle las debilidades asociadas a la elección de la *TIR* como criterio a la hora de decidir qué inversión es mejor. De forma resumida, se puede decir que ambos criterios pueden ser válidos cuando estamos analizando la rentabilidad de un proyecto de repoblación, pero si el análisis se centra en inversiones mutuamente excluyentes (es decir, si se acomete un proyecto de repoblación no se realiza otro) pueden obtenerse resultados distintos empleando uno u otro método. Por otro lado, dado que la *TIR* tiende a infinito cuando el pago de la inversión se hace nulo, es conveniente no utilizar este criterio cuando, por ejemplo, existen subvenciones que prácticamente cubren la totalidad de los gastos de plantación (Díaz Balteiro y Romero 1995). Sin embargo, y a pesar de estos problemas, la *TIR* proporciona en muchos casos una información útil al centro decisor, en especial cuantificando el coste máximo del capital para que la inversión pueda ser rentable (Götze *et al.* 2008). Por último, se debe insistir en que mientras el *VAN* es una medida de la rentabilidad absoluta de la inversión, esto es el beneficio total asociado al proceso de producción temporal, la *Q* y la *TIR* miden desde diferentes perspectivas relacionadas con el descuento la rentabilidad relativa de la inversión, es decir, los beneficios obtenidos por cada unidad monetaria invertida.

3.2. Series de pagos



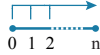
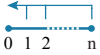
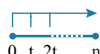
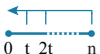
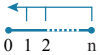
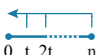
A la hora de descontar o capitalizar los distintos flujos de caja asociados a la vida de un proyecto de repoblación, es necesario tener en cuenta que existen herramientas de la matemática financiera que pueden simplificar el análisis, sobre todo cuando se repiten dichos flujos de caja a lo largo del horizonte de planificación. Esta situación, es bastante común en las plantaciones forestales, ya que existen cobros (derivados de cortas, claras y subvenciones) que se producen de una manera periódica o anualmente, o bien pagos (impuestos, tratamientos culturales, etc.) que acontecen o bien de una manera anual, o también periódicamente.

La idea básica es que, dependiendo del problema y como se verá en epígrafes posteriores, puede ser interesante llevar unos flujos de caja al futuro o descontarlos, y estos flujos de caja pueden ser referidos a un único año, pueden ser anuales, o pueden ser periódicos. Además, el conjunto de flujos de caja puede ser finito o perpetuo. Tomando como base el trabajo de Gunter y Haney (1984) en la figura 23.2 se recopilan las fórmulas utilizadas, tanto considerando una tasa de descuento discreta como una tasa de descuento continua. A continuación, se explican brevemente las citadas fórmulas.

Salvo las fórmulas, ya introducidas, que permiten calcular un valor futuro o un valor presente, el resto de las expresiones contenidas en la figura 23.2 se obtienen de la expresión que permite calcular la suma de una progresión geométrica de razón r :

$$S = a \frac{r^m - 1}{r - 1} \quad (14)$$

Donde a sería el primer término de la progresión, r sería la razón, y m el número de términos de que consta la citada progresión. La aplicación de esta fórmula nos proporcionaría el factor de descuento o de actualización que después habría que

	Valores futuros		Valores actuales ⁽¹⁾	
	Tasa de descuento discreta	Tasa de descuento continua	Tasa de descuento discreta	Tasa de descuento continua
Suma simple	 $F \cdot (1+i)^n$	$F \cdot e^{i \cdot n}$	 $\frac{F}{(1+i)^n}$	$F \cdot e^{-i \cdot n}$
Serie anuales $1 < n < \infty$	 $F \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$F \cdot \frac{e^{i \cdot n} - 1}{e^i - 1}$	 $F \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$	$F \cdot \frac{e^{-i \cdot n} - 1}{1 - e^{-i}}$
Serie periódicas $1 < n < \infty$	 $F \cdot \frac{(1+i)^{n \cdot t} - 1}{(1+i)^t - 1}$	$F \cdot \frac{e^{i \cdot n \cdot t} - 1}{e^{i \cdot t} - 1}$	 $F \cdot \frac{(1+i)^{n \cdot t} - 1}{((1+i)^t - 1) \cdot (1+i)^{n \cdot t}}$	$F \cdot \frac{e^{-i \cdot n \cdot t} - 1}{1 - e^{-i \cdot t}}$
Serie anual perpetua $n \rightarrow \infty$			 $\frac{F}{i}$	$\frac{F}{e^i - 1}$
Serie periódica perpetua $n \rightarrow \infty$			 $\frac{F}{(1+i)^t - 1}$	$\frac{F}{e^{i \cdot t} - 1}$

⁽¹⁾Se asume que el primer flujo de caja se produce en el año 1, no en el año 0.

Figura 23.2. Expresiones de valor futuro y presente asociadas a las series de pagos (fuente: elaboración propia a partir de Diaz Balteiro *et al.* (2014)).

multiplicar por el flujo de caja que se repite con cierta periodicidad. En la figura 23.2 se ha denominado F al citado flujo de caja.

Las expresiones contenidas en la citada figura 23.2 permiten resolver las situaciones que se presentan con más frecuencia cuando es necesario sumar adecuadamente los flujos de caja. Sin embargo, conviene subrayar que estas expresiones se basan en dos hipótesis básicas. La primera es que se ha supuesto, por convención, que los flujos de caja se producen a final de año y las sumas se refieren al primer día de cada año. La segunda hipótesis, y relacionada con la anterior, asume que el primer flujo de caja de la serie no se produce en el momento inicial, sino en el primer año, o, si es periódica, en un año posterior. Por ello, si se quisiera aplicar las expresiones anteriores, habría que corregirlas teniendo en cuenta esta posibilidad. A título de ejemplo, en Bettinger *et al.* (2009) se muestran algunos casos en los que se calcula el valor actual de series anuales o periódicas con un flujo de caja en el momento inicial y una tasa de descuento discreta. Sin embargo, animamos al lector interesado en que obtenga las nuevas expresiones utilizando la ecuación (14). Por último, conviene anticipar que algunas de las fórmulas recogidas en la figura 23.1 son muy utilizadas en aspectos relacionados con la valoración forestal. En concreto, aquellas que muestran el valor presente de series perpetuas periódicas constituyen la base para calcular lo que en próximos epígrafes se denominará el valor esperado del suelo.

3.3. Integrando el riesgo

El análisis efectuado hasta ahora ha sido totalmente determinista, al no considerar elementos asociados al riesgo y a la incertidumbre. Como resulta fácil de entender, estos supuestos simplificativos no son excesivamente realistas y menos aun en inversiones asociadas a los proyectos de repoblación. En efecto, además de los parámetros analizados en este capítulo (tasa de descuento, precio de la madera, duración de la plantación, costes, etc.), existen otras variables del modelo cuya variación puede afectar drásticamente a la viabilidad económica de la plantación. En concreto, nos estamos refiriendo a riesgos asociados a incendios, plagas, etc., ya citados anteriormente cuando se han introducido costes asociados al pago de primas de seguros forestales. Aunque existen metodologías más complejas para abordar estos escenarios no deterministas, no van a ser objeto de análisis en este capítulo. Sin embargo, parece oportuno subrayar la conveniencia de utilizar, a la hora de evaluar económicamente estas plantaciones, una herramienta sencilla como es el análisis de sensibilidad que permite suavizar esa premisa de certidumbre admitida inicialmente.

El análisis de sensibilidad permite comprobar cómo varían los resultados asociados a los indicadores económicos que definen una inversión (*VAN*, *TIR*, etc.) cuando se modifica el valor previsto para algunos de los parámetros que han permitido calcular los citados indicadores. Es decir, consiste en volver a calcular el indicador de rentabilidad elegido modificando el valor del parámetro inicial y admitiendo que todos los demás parámetros se mantienen constantes (es decir, cláusula *ceteris paribus*). Por ejemplo, si tenemos dudas sobre el valor de la tasa de descuento a emplear porque la inversión puede presentar un mayor riesgo del inicialmente previsto, resulta sencillo volver a calcular el valor actual neto con una tasa de descuento más elevada que integre una prima de riesgo. Si la inversión continúa siendo rentable, supondría que el centro decisor puede justificar su realización. Este mismo razonamiento se puede emplear para los diferentes pagos asociados al proyecto de repoblación, para la duración de la inversión, etc. De esta manera, se puede valorar de una manera sencilla el impacto asociado a posibles modificaciones en los valores de los citados parámetros. Por otro lado, esta técnica también permite calcular el intervalo de variación de los datos de partida con el fin de precisar cuándo una inversión es viable.

4. Turno óptimo

Dado que usualmente para evaluar financieramente un proyecto de repoblación es necesario fijar de antemano el turno asociado a esa nueva forestación, se ha estimado oportuno introducir en este capítulo una sección dedicada al cálculo del turno óptimo desde un punto de vista económico. Obviamente, existen numerosas formas de definir el óptimo, según el criterio que se considere para definir dicha optimalidad. El criterio más tradicional utilizado en la literatura forestal, desde el siglo XIX, es el valor actual neto. De ahí, por definición, el turno óptimo será la vida de la plantación asociada al proyecto de repoblación para la cual el correspondiente valor actual neto es maximizado. Antes de desarrollar esta idea que nos llevará a las soluciones óptimas desde un punto de vista económico, como primer paso el turno óptimo será analizado desde un punto de vista puramente técnico sin introducir parámetros de tipo económico. Así, el ingrediente básico

para nuestro análisis sería una curva de crecimiento o función de producción temporal asociada a nuestra plantación y que nos relaciona el stock de madera q con la edad de la masa t , de la siguiente forma:

$$q = f(t) \tag{15}$$

siendo $f'(t) \geq 0$ y $f''(t) \leq 0$

- $f'(t) \geq 0$, implica que las productividades marginales o crecimientos corrientes son positivas. Esto es, el *stock* de madera crece de una forma monótona con la edad de la plantación hasta una cierta edad crítica t_{\max} . Desde esa edad en adelante, el *stock* de madera decrece. A esta edad t_{\max} se le llama habitualmente “máximo técnico”.
- $f''(t) \leq 0$, implica, desde el punto de vista geométrico, la concavidad de la curva de crecimiento y, desde el punto de vista económico, el carácter monótonamente decreciente de las productividades marginales o de los crecimientos corrientes (esto es, la clásica ley de los rendimientos decrecientes).

La figura 23.3 muestra una típica curva de crecimiento o función temporal de producción que asume las propiedades arriba enunciadas y que es válida para un único árbol o para una plantación procedente de un determinado proyecto de repoblación.

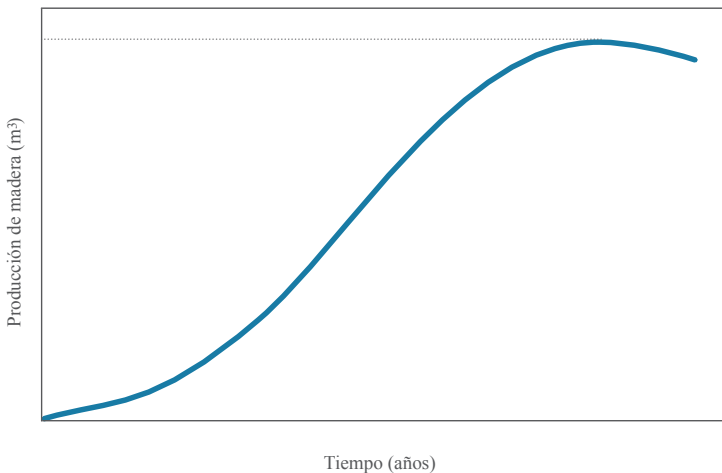


Figura 23.3. Curva de crecimiento o función temporal de producción para una plantación.

Vamos ahora a determinar el valor de t o turno para el cual es adecuado cortar el árbol o la plantación. Esto es, determinaremos el turno que utiliza la tecnología subyacente de la mejor manera posible. Para lograr este propósito parece sensato buscar aquella edad t para la cual la productividad media (crecimiento medio) alcanza un valor máximo. De esta forma, la producción sostenible de madera será maximizada. En otras palabras, siguiendo esta estrategia la cantidad de madera que puede ser aprovechada anualmente será maximizada. La maximización de la productividad media \bar{q} , implica

maximizar la siguiente expresión:

$$\bar{q} = \frac{f(t)}{t} \quad (16)$$

Una condición de primer orden para maximizar (16) queda reflejada en la siguiente ecuación:

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{f(t)}{t} \right] = \frac{f'(t)t - f(t)}{t^2} = 0 \quad (17)$$

De la ecuación (17) resulta inmediato obtener la siguiente condición necesaria para determinar un turno óptimo desde un punto de vista técnico:

$$f'(t) = \frac{f(t)}{t} = \bar{q} \quad (18)$$

Esto es, el turno óptimo desde un punto de vista técnico implicaría cortar la plantación a una edad para la cual la productividad media coincide con la productividad marginal o, lo que es lo mismo, que el crecimiento medio se iguala al crecimiento corriente. Resulta interesante recalcar que esta solución implica la maximización del rendimiento sostenible. Por esta razón, a esta solución se la conoce como “óptimo técnico”. Desde el punto de vista de la gestión, esta propiedad facilita el cálculo de este turno óptimo. En efecto, con sólo disponer de una tabla de producción, el cálculo de este turno es inmediato, ya que se produce para aquella edad de la masa para la cual se igualan el crecimiento medio y el crecimiento corriente.

4.1. Turno forestal: la primera solución económica

Aunque presenta un indudable interés desde el punto de vista forestal, el turno definido en el epígrafe anterior puede presentar un interés muy limitado para el propietario de la plantación, bien sea privado o público. Obviamente, el propietario de la plantación quiere maximizar los beneficios derivados del manejo de plantación en vez de maximizar el crecimiento medio de la masa. Para alcanzar este propósito, necesitamos introducir en el análisis parámetros económicos como los pagos asociados al proyecto de repoblación, los precios de la madera, la tasa de descuento, etc., que complementen la información de carácter tecnológica proporcionada por la curva de crecimiento.

La primera aproximación a la determinación de un turno óptimo desde un punto de vista económico fue realizada por Fisher (1930) y Hotelling (1925) de una manera independiente. Estos autores propusieron definir el turno económicamente óptimo como la edad para la cual el valor actual neto asociado a esta plantación es maximizado. Esta idea básica nos conduce al siguiente problema de optimización:

$$\text{MaxVAN}(t) = P(t)f(t) e^{-it} - K \quad (19)$$

donde $P(t)$ es el precio de la madera expresado en función del tiempo.

Calculando la primera derivada de (19) e implementando ciertas operaciones algebraicas, se obtiene la siguiente condición de primer orden:

$$\frac{P'(t)}{P(t)} + \frac{f'(t)}{f(t)} = i \quad (20)$$

El valor de t que se obtiene de la ecuación (20) representa el turno económicamente óptimo de la plantación y usualmente se le conoce como el turno de Fisher-Hotelling o simplemente como el turno de Fisher. La ecuación (20) presenta una clara interpretación económica. De hecho, el propietario de una plantación pospondrá la corta si y sólo si la suma del crecimiento relativo del precio de la madera y del propio *stock* de madera sobrepasa la tasa de descuento utilizada. Por último, se pueden derivar algunas conclusiones inmediatas este modelo simple. Así, si el precio real de la madera es creciente, la condición óptima de corta resulta más difícil de alcanzar, lo que nos llevaría a turnos más largos. Por el contrario, si la tasa de descuento i aumenta, sería más sencillo alcanzar dicha condición óptima, lo que nos conduciría a un turno económicamente más corto para la plantación.

4.2. Turno económico: la solución de Faustmann

La solución anterior para determinar el turno de una plantación resulta elegante y presenta un cierto interés desde el punto de vista económico, aunque en su formulación actual presenta una importante debilidad que debe ser corregida. De hecho, Fisher y Hotelling no tuvieron en cuenta que la existencia de la plantación implica un coste de oportunidad al propietario de esta. De hecho, incrementar el turno, por ejemplo, por un año, implícitamente equivale a un coste de oportunidad (o a una renta de la tierra) equivalente al cobro que el propietario hubiese podido obtener cortando dicha plantación y dedicando el suelo a otro uso alternativo. Este tipo de insuficiencia puede ser remediada siguiendo dos enfoques distintos, aunque analíticamente equivalentes.

El primero ha sido propuesto por Samuelson (1976) y consiste básicamente en la introducción de forma explícita de la renta de la tierra o coste de oportunidad en la expresión que calcula el valor actual neto de la inversión respectiva. Así, tendríamos la siguiente expresión:

$$MaxVAN = P(t) f(t) e^{-it} - K - R \int_0^t e^{-it} dt \quad (21)$$

La otra aproximación fue propuesta por el forestal alemán Faustmann en 1849, y básicamente consiste en considerar una cadena de infinitos ciclos de plantación o, utilizando un lenguaje financiero, una cadena de infinitas inversiones. De esta forma, no se produce ninguna omisión a la hora de considerar la renta de la tierra o el coste de oportunidad debido a la existencia de la plantación actual. Esta aproximación nos llevaría al siguiente problema de optimización:

$$MaxVAN(t) = [P(t) f(t) e^{-it} - K] [1 + e^{-it} + e^{-2it} + e^{-3it} + \dots] \quad (22)$$

Sumando los términos de la progresión geométrica correspondiente al segundo término de (21) y realizando sencillas operaciones aritméticas, se llegaría a:

$$MaxVAN(t) = \frac{P(t) f(t) e^{-it} - K}{1 - e^{-it}} \quad (23)$$

La expresión (23) se la conoce en la literatura de economía forestal como la “Fórmula de Faustmann”, aunque este distinguido forestal no propuso ningún procedimiento para su maximización. Por otro lado, resolviendo la integral en (21) y calculando la primera derivada, se obtiene la siguiente condición de primer orden:

$$P'(t) f(t) + P(t) f'(t) - iP(t) f(t) - R = 0 \quad (24)$$

Teniendo ahora presente que el valor de la tierra V puede ser estimado capitalizando su renta R ($V=R/i$), la expresión (24) se convierte en:

$$P'(t)f(t) + P(t)f'(t) = i [P(t)f(t) + V] \quad (25)$$

Antes de pasar a interpretar la nueva condición de equilibrio dada por (25), vamos a profundizar en la determinación del turno económicamente óptimo utilizando la alternativa propuesta por Faustmann. Para ello, se calcula la primera derivada con respecto a t , la expresión (23), obteniendo:

$$P'(t)f(t) + P(t)f'(t) - iP(t)f(t) - i \frac{P(t)f(t)e^{-it} - K}{1 - e^{-it}} \quad (26)$$

Conviene recordar que el último término de (26) sin tener en cuenta la tasa de descuento i coincide con el valor actual neto de la inversión subyacente dada por (23), es decir, el valor de la tierra obtenido al descontar una cadena infinita de inversiones. Por tanto, la aproximación de Samuelson que hace explícita la renta de la tierra y la propuesta de Faustmann basada en la consideración de infinitos ciclos de plantación conduce a la misma solución, es decir, al mismo turno óptimo. Esta solución representa uno de los fundamentos más importantes de la economía forestal en general, y del manejo de plantaciones en particular, y es conocido como la solución de Faustmann-Pressler-Ohlin (FPO). En Romero (1997) se profundiza en la contribución de cada autor a esta solución.

Por último, conviene recordar que la idea de Faustmann de considerar como turno óptimo a aquel que maximiza la rentabilidad para un número infinito de ciclos de plantación, tal y como se muestra en la expresión (22) permite introducir un concepto muy utilizado en la valoración forestal, como es el del valor esperado del suelo (VES). El VES sería el término de la izquierda de la expresión (23), y su utilidad radica en que permite asignar un valor a una tierra desnuda, pero con posibilidades de albergar cierto tipo de plantaciones. El valor de esta sería, precisamente, el VES asociado a los cobros y pagos previstos para la hipotética plantación.

4.3. Extensiones a la solución FPO

En primer lugar, y aunque este capítulo se centra en un análisis financiero, es preciso señalar que esta solución de Faustmann permite integrar otro tipo de servicios ecosistémicos, siempre y cuando se cumplan determinadas condiciones, como la de asumir un proceso de producción conjunta. La propuesta de Hartman (1976) al respecto es la que mayoritariamente se ha aceptado en la literatura. En Romero (1997) se detalla esta solución y sus implicaciones en comparación con los otros turnos anteriormente explicitados.

Por otro lado, la fórmula FPO se puede extender fácilmente a una situación en la que el proyecto de repoblación prevea la existencia de pagos anuales en concepto de gestión G , así como introducir, si fuera oportuno, los pagos asociados a la corta final (Q) siempre que fueran relevantes. En este caso la expresión (16) se convierte en:

$$MaxVAN(t) = P(t)f(t)e^{-it} - K - (R + G) \int_0^t e^{-it} dt - Qe^{-it} \quad (27)$$

Resolviendo la integral en la expresión (27) y calculando la primera derivada, se obtiene la siguiente condición de primer orden:

$$P'(t)f(t) + P(t)f'(t) - iP(t)f(t) - G - R + iQ = 0 \quad (28)$$

Esta idea se puede generalizar a cualquier casuística derivada de un proyecto de repoblación. Así, se pueden integrar otros bienes y servicios, clareos, claras, podas, todo tipo de subvenciones, etc. A título de ejemplo se muestra una nueva expresión vinculada al caso que el objetivo de la repoblación no sea sólo el de producir madera, sino también el de acogerse a la normativa actual (Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo) sobre los proyectos de absorción de carbono (López-Covarrubias y Díaz Balteiro 2017):

$$VAN = \frac{P_j(t) V_j(t) e^{-it} - K - G\alpha - \sum_{l=1}^{l=T} S_l e^{-il} + \sum_{m=1}^{m=T} R_m e^{-im} + \sum_{q=1}^{q=T} C_q e^{-iq}}{1 - e^{-iT}} \quad (29)$$

con: $\alpha = \frac{e^{-i1} \cdot (e^{-iT} - 1)}{(e^{-i1} - 1)}$

Así, a título de ejemplo, la ecuación (29) supone una generalización de la fórmula de Faustmann donde S_l representan los flujos de caja asociados a operaciones selvícolas que se produzcan a lo largo de la vida de la plantación (T). Incluyen tanto pagos (desbroces, fertilizaciones, clareos, etc.) como cobros (claras, etc.), R_m representan los flujos de caja asociados a posibles subvenciones recibidas por dicha plantación en cualquier momento de la misma, mientras que C_q comprende los flujos de caja asociados a posibles cobros asociados a la captura de carbono a lo largo de la vida de la plantación. En resumen, se puede decir que el turno óptimo se producirá a la edad donde el valor actual neto proporcionado por (29) alcance un valor máximo. Esta forma de proceder sería la recomendable para estimar, a través de una hoja de cálculo, el turno óptimo cuando se incluyan estas y otras hipótesis. Así, se puede fácilmente incluir en la expresión (29) situaciones donde la función de crecimiento de la masa pueda proporcionar distintos productos maderables, o la inclusión de distintos impuestos, etc.

Por último, el análisis del turno económicamente óptimo se puede complementar acudiendo a la idea propuesta por algunos autores (Boulding 1935), según la cual la forma correcta de obtener este óptimo sería maximizar la tasa interna de rendimiento asociada al proyecto de repoblación que se está analizando. Sin embargo, esta posible solución presenta en la práctica un interés muy limitado ya que, como se ha comentado anteriormente, en ausencia de costes de plantación, o cuando estos son muy reducidos, se obtienen unos valores que carecen de sentido económico al tender la TIR a infinito cuando K tiende a cero. Por otro lado, proporciona turnos aún más cortos que los obtenidos con la solución FPO. En definitiva, aunque a priori pudiera presentar interés el obtener un turno óptimo a través de un indicador la rentabilidad relativa de la inversión, como es la TIR , en la práctica no se suele proponer.

Ejemplo de estimación de la rentabilidad y el turno óptimo de una chopera

Se pretende analizar cuál sería la rentabilidad y el turno óptimo en una repoblación realizada en un municipio de Burgos, perteneciente a la cuenca del Duero, empleando el clon *Populus ×euramericana* ‘Campeador’. Como se verá más adelante, para el cálculo de su función de producción se ha partido de las tablas de producción publicadas para la cuenca del Duero (Bravo *et al.* 1995), eligiendo la calidad I. La silvicultura aplicada y los costes asociados a cada intervención se han recogido en la tabla 23.2. Algunas de estas informaciones proceden de Olga González (2018, com. pers.). Parte de este caso práctico se ha recogido en López Covarrubias y Díaz Balteiro (2018).

Tabla 23.2. Costes considerados en el análisis.

Año	Concepto	Importe (€ ha ⁻¹)
0	Forestación	2385,1
1	Gradeo	103,7
	Poda guía	45,3
2	Gradeo	103,7
	Poda guía	136,0
3	Gradeo	103,7
	Poda limpieza	249,4
4	Gradeo	103,7
	Poda limpieza	340,1
5	Gradeo	103,7
	Poda limpieza	479,5
6	Gradeo	103,7
	Poda limpieza	479,5
7	Gradeo	103,7
	Poda limpieza	479,5
8	Gradeo	103,7
9	Gradeo	103,7
10	Gradeo	103,7
11	Gradeo	103,7
12	Gradeo	103,7
13	Gradeo	103,7
14	Gradeo	103,7
15	Gradeo	103,7
16	Gradeo	103,7
Anuales		50,0

Como paso previo al cálculo de la función de ingresos, se ha estimado una curva de crecimiento a partir de la tabla de producción anteriormente mencionada, y que se resume en la expresión (30), donde V es el volumen (m³ ha⁻¹) y t es la edad de la plantación medida en años:

$$V = -0,151 \cdot t^3 + 4,4913 \cdot t^2 - 11,587 \cdot t + 2,888 \quad (30)$$

Para calcular una función de ingresos, el precio considerado ha sido el precio medio obtenido en las subastas de FAFCYLE en mayo de 2019. En concreto, el precio medio para esta provincia

asciende a $56,6 \text{ € m}^{-3}$. Este es el valor considerado para pies con más de 30 cm. Para pies inferiores, se ha hecho una estimación del precio, partiendo de un precio mínimo de 14 € m^{-3} para pies con menos de 20 cm de diámetro. Dado que el precio varía con el diámetro de cada troza, y éste con el tiempo, se ha estimado conveniente ajustar una función de ingresos en el tiempo $[I(t)]$, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$I(t) = -10,858 \cdot t^3 + 338,56 \cdot t^2 - 1457,4 \cdot t + 920,58 \quad (31)$$

En principio no se ha considerado otros cobros asociados a esta plantación que pudiera ser compatible con la producción de madera (captura de carbono, carga ganadera, etc.), ni tampoco la existencia de subvenciones para desarrollar esta repoblación. Por otro lado, también se ha considerado realizar el análisis sin considerar los impuestos que debe abonar el propietario de este predio forestal.

Para calcular el VAN de la inversión, se va a partir de la expresión (29), pero considerando sólo un ciclo de plantación. Se han obviado cobros derivados de posibles subvenciones y de la captura de carbono, pero sin embargo se recogen todos los pagos asociados a la plantación tal como se indica en la tabla 23.2. En concreto, el VAN sería:

$$VAN = I(t) \cdot e^{it} - K - G\alpha - \sum_{i=1}^{i=T} S_i e^{-it} \quad (32)$$

$$\text{con: } \alpha = \frac{e^{i1} \cdot (e^{iT} - 1)}{(e^{i1} - 1)}$$

donde S_i recoge todos los pagos indicados en la tabla 23.2, en su año correspondiente, a excepción del pago de forestación que se ha asimilado al parámetro K en (32). Tomando una tasa de descuento real del 5%, si, por ejemplo, se pretendiera obtener el VAN para un turno de 18 años, la expresión a utilizar sería la siguiente:

$$\begin{aligned} VAN_{=18} &= 21057,0 \cdot e^{-0,05 \cdot 15} - 2385,1 - 50\alpha - (103,7 + 45,3) \cdot e^{-0,05 \cdot 1} - (103,7 + 136,0) \cdot e^{-0,05 \cdot 2} \\ &- (103,7 + 249,4) \cdot e^{-0,05 \cdot 3} - (103,7 + 340,1) \cdot e^{-0,05 \cdot 4} - (103,7 + 479,5) \cdot e^{-0,05 \cdot 5} \\ &- (103,7 + 479,5) \cdot e^{-0,05 \cdot 6} - (103,7 + 479,5) \cdot e^{-0,05 \cdot 7} - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 8}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 9}) \\ &- (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 10}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 11}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 12}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 13}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 14}) \\ &- (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 15}) - (103,7 \cdot e^{-0,05 \cdot 16}) = 2792,9 \text{ € ha}^{-1} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\text{con: } \alpha = \frac{e^{-0,05 \cdot 1} \cdot (e^{-0,05 \cdot 18} - 1)}{(e^{-0,05 \cdot 1} - 1)}$$

En la expresión (33) faltaría por explicar el primer término del término de la derecha de la ecuación. Así, el valor de 21057,0 se obtiene a partir de la ecuación (31) tomando una edad de 18 años. Aplicando la fórmula (32) se puede calcular el VAN para cada edad. Esta operación resulta inmediata en una hoja de cálculo, como se muestra en la tabla 23.3.

Llegados a este punto, al gestor le pudiera interesar conocer cuál sería el equivalente a la rentabilidad obtenida para esta forestación, por ejemplo a los 18 años, si se adoptara una renta anual que equivaliera a dicha cantidad. Para responder a esta cuestión, habría que utilizar la fórmula adecuada de las recogidas en la figura 23.2. En concreto, la renta equivalente se hallaría utilizando la fórmula correspondiente al valor actual de una serie anual finita:

$$VAN = F \cdot \frac{e^{-in} - 1}{1 - e^{-i}} \rightarrow 2792,9 = F \cdot \frac{e^{-0,05 \cdot 18} - 1}{1 - e^{-0,05}} \rightarrow F = 241,3 \text{ € ha}^{-1} \quad (34)$$

Es decir, para la tasa de descuento considerada, al propietario le reportaría la misma rentabilidad obtener una renta anual de 241,3 € ha⁻¹ cada año, que los 2792,9 € obtenidos a partir de la expresión (33).

Tabla 23.3. Cálculo del VAN para una edad de 18 particularizando la expresión (33) para diferentes valores de t y para una tasa de descuento del 5%.

Edad de la plantación (t) (años)	Volumen (V) (m ³ ha ⁻¹)	Precio de la madera (P) (€ m ⁻³)	Ingresos (I(t))	Costes (€ ha ⁻¹)			VAN (€ ha ⁻¹)
				Plantación (K)	Silvicultura Y _s	Anuales A	
0	2,9			2385,1			-2385,1
1	-4,4			2385,1	141,8	50,0	-2576,9
2	-3,5			2385,1	358,7	80,4	-2824,2
3	4,5	14,2		2385,1	662,6	106,1	-3153,8
4	18,7	14,2		2385,1	1026,0	128,0	-3539,1
5	38,4	14,2	740,3	2385,1	1480,2	147,1	-3435,8
6	62,4	20,9	2019,0	2385,1	1912,2	163,9	-2965,5
7	90,1	41,3	3583,9	2385,1	2323,2	178,9	-2361,7
8	120,3	41,3	5369,9	2385,1	2392,7	192,5	-1370,8
9	152,3	41,3	7311,9	2385,1	2458,9	205,1	-386,8
10	185,1	50,9	9344,6	2385,1	2521,7	216,7	544,3
11	217,9	50,9	11402,9	2385,1	2581,6	227,5	1384,7
12	249,7	56,6	13421,8	2385,1	2638,5	237,8	2104,6
13	279,5	56,6	15336,0	2385,1	2692,6	247,6	2680,8
14	306,6	56,6	17080,4	2385,1	2744,1	256,9	3095,7
15	330,0	56,6	18589,8	2385,1	2793,1	306,9	3296,1
16	348,8	56,6	19799,2	2385,1	2839,7	356,9	3314,6
17	362,0	56,6	20643,3	2385,1	2884,0	406,9	3147,2
18	368,9	56,6	21057,0	2385,1	2926,2	456,9	2792,9

Por otro lado, el propietario de la forestación está interesado en conocer cuál sería el turno económicamente óptimo de la plantación, partiendo de las informaciones recogidas anteriormente. En concreto, la solución se obtendría considerando no sólo un turno o ciclo de producción sino infinitos. Para ello, simplemente habría que incluir el factor correspondiente en la expresión (32), donde VES sería el valor esperado del suelo:

$$VES = \frac{I(t) e^{-it} - K - G\alpha - \sum_{l=1}^{l=T} S_l e^{-il}}{1 - e^{-it}} \quad (35)$$

con:
$$\alpha = \frac{e^{-i} \cdot (e^{-iT} - 1)}{(e^{-i} - 1)}$$

Para su cálculo, en vez de acudir a procedimientos matemáticos, se recomienda directamente incluir esta expresión en una columna de la hoja de cálculo anterior (tabla 23.3). En concreto, tendríamos unos resultados como los que se recogen en la tabla 23.4 añadiendo la columna correspondiente al *VES*. La solución que se obtiene es, precisamente, la de 15 años. Es decir, que el turno económicamente para esta plantación, según los pagos, precios y tasa de descuento considerada asciende a 15 años. Para este turno óptimo, el valor esperado del suelo (*VES*) se cifra en 6246,9 € ha⁻¹.

Tabla 23.4. Cálculo del turno económicamente óptimo, particularizando la expresión (35) para diferentes valores de *t* y para una tasa de descuento del 5%.

Edad de la plantación (t) (años)	Volumen (V) (m ³ ha ⁻¹)	Precio de la madera (P) (€ m ⁻³)	Ingresos (I(t))	Costes (€ ha ⁻¹)			VAN (€ ha ⁻¹)	VES (€ ha ⁻¹)
				Plantación (K)	Silvicultura Y _s	Annuaes A		
0	2,9			2385,1			-2385,1	
1	-4,4			2385,1	141,8	50,0	-2576,9	-52836,8
2	-3,5			2385,1	358,7	80,4	-2824,2	-29677,8
3	4,5	14,2		2385,1	662,6	106,1	-3153,8	-22641,7
4	18,7	14,2		2385,1	1026,0	128,0	-3539,1	-19524,1
5	38,4	14,2	740,3	2385,1	1480,2	147,1	-3435,8	-15532,6
6	62,4	20,9	2019,0	2385,1	1912,2	163,9	-2965,5	-11441,8
7	90,1	41,3	3583,9	2385,1	2323,2	178,9	-2361,7	-7997,3
8	120,3	41,3	5369,9	2385,1	2392,7	192,5	-1370,8	-4158,0
9	152,3	41,3	7311,9	2385,1	2458,9	205,1	-386,8	-1067,3
10	185,1	50,9	9344,6	2385,1	2521,7	216,7	544,3	1383,2
11	217,9	50,9	11402,9	2385,1	2581,6	227,5	1384,7	3273,2
12	249,7	56,6	13421,8	2385,1	2638,5	237,8	2104,6	4664,7
13	279,5	56,6	15336,0	2385,1	2692,6	247,6	2680,8	5608,9
14	306,6	56,6	17080,4	2385,1	2744,1	256,9	3095,7	6149,4
15	330,0	56,6	18589,8	2385,1	2793,1	306,9	3296,1	6246,9
16	348,8	56,6	19799,2	2385,1	2839,7	356,9	3314,6	6019,2
17	362,0	56,6	20643,3	2385,1	2884,0	406,9	3147,2	5496,4
18	368,9	56,6	21057,0	2385,1	2926,2	456,9	2792,9	4706,4

En definitiva, que el propietario haya elegido un turno más largo (18 años) que el turno económicamente óptimo, le ha supuesto dejar de ganar 503,2 € ha⁻¹ (diferencia entre 3.296,1 y 2.729,9 € en la columna “VAN” de las figuras 23.5 y 23.6). El impacto de esta decisión en términos de *VES* se cifra, procediendo de igual forma, en 1540,5 € ha⁻¹.

Por último, para el propietario podría ser de utilidad conocer cuál sería la *TIR* de la inversión para esa edad (15 años) donde se alcanza el turno económicamente óptimo. Para su cálculo, en vez de acudir a aplicar las expresiones anteriormente expuestas (véase ecuación 12) para el cálculo de este indicador en la expresión del *VAN/VES* correspondiente, se ha procedido a tantear en la hoja de cálculo qué valor de la tasa de descuento sería la que proporciona un *VAN/VES* igual a cero (tabla 23.5). Sabiendo que para una tasa de descuento del 5% el *VAN* es positivo, se ha ido incrementando dicha tasa, anotando los valores obtenidos de *VAN/VES*. Cuando este valor obtenido es menor que cero, se ha procedido a repetir el procedimiento para obtener una mayor precisión en la *TIR* resultante. En concreto, se ha comprobado que dicha *TIR* se encuentra entre el 8 y el 9%. Tanteando sucesivamente valores intermedios entre estos valores, se concluye que la *TIR* es ligeramente menor que un 8,82%.

Tabla 23.5. Cálculo de la *TIR* asociado al turno económicamente óptimo de 15 años.

Tasa de descuento	VAN (€ ha ⁻¹)	VES (€ ha ⁻¹)
0,05	3296,1	6246,9
0,06	2226,8	3752,4
0,07	1317,1	2026,0
0,08	544,1	778,5
0,09	-111,8	-150,9
0,085	202,6	281,2
0,0875	42,1	57,7
0,088	10,8	14,8
0,0882	-1,6	-2,2

5. Algunas observaciones finales

La idea básica que hemos tratado de transmitir con este capítulo es que todo proyecto de repoblación forestal, tanto si se realiza desde la óptica privada como de la pública, debe conllevar un capítulo o anejo en el que se analice la rentabilidad esperada de la correspondiente repoblación. En el caso de un contexto de propiedad privada los conceptos y herramientas propuestos en este capítulo son suficientes para poder medir con un cierto grado de precisión la rentabilidad *ex-ante* de este tipo de proyecto. Sin embargo, si la repoblación se desarrolla en el ámbito de inversiones públicas con financiación asimismo de carácter público, el análisis de rentabilidad propuesto en este capítulo puede considerarse una condición necesaria para la viabilidad del proyecto de repoblación, pero en muchos casos no como una condición suficiente. Tal como se ha indicado en algunas partes del

capítulo en un contexto de forestaciones de carácter público se hace necesario ampliar y hasta cierto punto modificar los planteamientos propuestos en algunas direcciones que se apuntan a continuación. Así, en un contexto de inversiones públicas, la tasa privada de descuento habría que sustituirla por una tasa social de descuento, que reflejara las preferencias de la sociedad en su conjunto por el consumo presente con respecto al consumo futuro. Asimismo, habría que enfocar el análisis de rentabilidad en un contexto de multifuncionalidad forestal, integrando en el cálculo del valor actual neto, no sólo los cobros derivados de aprovechamientos forestales con mercado y por tanto con valores de cambio o precios, sino también la consideración de otros tipos de *outputs* que careciendo de valor de cambio aportan sin embargo importantes utilidades a la sociedad en forma de valores de uso, de opción, de existencia, etc. Lo que nos llevaría a la necesidad de conectar el análisis clásico de rentabilidad de inversiones que hemos planteado con los métodos de valoración de activos ambientales. Esta consideración es realmente importante, pero excede al propósito básico e introductorio perseguido con este capítulo.

Otro aspecto que, aunque se ha comentado a lo largo del capítulo, convendría insistir es el de la conveniencia de no utilizar la *TIR* como criterio para que a través de su optimización se determine el turno óptimo, que constituye el parámetro básico que es necesario estimar en cualquier proyecto de repoblación. En los apartados anteriores se han hecho algunas puntualizaciones en esta dirección, no obstante, y dada su importancia vamos a extender un poco más estas ideas. En efecto, el principal problema es que el valor de la *TIR* crece fuertemente con respecto a disminuciones en los costes netos de plantación. Así, cuando dichos costes se hacen muy pequeños, por ejemplo, debido a las subvenciones asociadas a los programas de forestación de tierras agraria. La *TIR* correspondiente alcanza cifras muy elevadas, pudiendo matemáticamente tender a infinito cuando los pagos netos de plantación se aproximan a cero (véase Romero 1997, páginas 134-136). Circunstancia que ocurre en la realidad, cuando en algunos casos las subvenciones a la plantación cubren la práctica totalidad de los gastos correspondientes. Obviamente, este tipo de situación carece de sentido económico.

Por otra parte, conviene indicar que la información proporcionada por el valor de la *TIR* de una inversión es sumamente interesante. Por ello y en nuestro contexto de repoblaciones forestales, podría resultar conveniente una vez determinado el turno vía maximización del *VAN* y consecuentemente haber obtenido el máximo *VAN*, comprobar cuál es la *TIR* que corresponde a dicha solución. Para ello, tal como se había indicado anteriormente bastaría con dejar la tasa descuento como incógnita en la ecuación que mide el *VAN*, igualando dicha ecuación a cero. La solución correspondiente nos proporcionaría el valor de la *TIR* correspondiente. Esta cifra podría resultarnos útil, entre otras cosas, para compararla con el coste del endeudamiento o coste de capital en el que hemos incurrido para realizar la correspondiente repoblación. Si dicha estimación de la *TIR* supera al coste del endeudamiento, la inversión en este caso la repoblación tendrá una financiación sana y sucederá lo contrario en la situación opuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Bettinger P, Boston K, Siry JP, Grebner DI (2009) Forest Management and Planning. Academic Press. Burlington, MA
- Boulding KE (1935) The theory of a single investment. Q J Econ 49:475-494

- Buongiorno J, Zhu S, Zhang D, Turner J (2003) *The Global Forest Products Model. Structure, Estimation and Applications*. Academic Press, San Diego
- Campbell H, Brown R (2003) *Benefit-Cost Analysis*. Cambridge University Press, New York
- Díaz Balteiro L, Romero C (1995) Rentabilidad financiera de especies forestales arbóreas de crecimiento medio y lento en el vigente marco de ayudas públicas. *Revista Española de Economía Agraria* 171:85-108
- Díaz-Balteiro L, Romero C (2001) Forest management and carbon captured: Analytical aspects and policy implications. *Invest Agrar: Syst Recur For Fuera de Serie* 1:153-165
- Esteban López V, Casquet Morate E, Díaz Balteiro L (2005) El turno financiero óptimo al introducir la fiscalidad en el análisis. Aplicación a las choperas de Castilla y León. *Invest Agrar: Syst Recur For* 14:122-136
- FAO (1981) *El Eucalipto en la Repoblación Forestal*. Colección FAO Montes nº 11. FAO, Roma
- Faustmann M (1849) Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen. En: *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, Dezember, pp 441-451. English version, en *J Forest Econ* (1995) 1:7-44
- Fisher I (1930) *The Theory of Interest*. Macmillan, London
- García Salmerón J (1991) *Manual de Repoblaciones*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid
- Götze U, Northcott D, Schuster P (2008) *Investment Appraisal. Methods and Models*. Springer-Verlag, Berlin
- Gregersen H, Contreras A (1992) *Economic Assessment of Forestry Project Impacts*. FAO, Roma
- Gunter JE, Hanley HL (1984) *Essentials of Forestry Investment Analysis*, Oregon St, Univ. Bookstores
- Hartman R (1976) The harvesting decision when a standing forest has value. *Econ Inq* 16:52-5
- Hotelling H (1925) A general mathematical theory of depreciation. *J Am Stat Assoc* 20:340-353
- Kula E (1984) Derivation of social time preferences rates for the United States and Canada. *Q J Econ* 99:873-883
- Kula E (1985) Derivation of social time preferences rates for the United Kingdom. *Environ Plan A* 17: 99-212
- Kula E (1988) *The Economics of Forestry: Modern Theory and Practice*. Croom Helm, London
- López-Covarrubias D, Díaz Balteiro L (2017) Proyectos de absorción de carbono en forestaciones: rentabilidad e implicaciones en cuanto a su gestión. *Montes* 130:26-30
- López Covarrubias D, Díaz Balteiro L (2018) Turno óptimo y rentabilidad en las choperas de Castilla y León y de La Rioja. *Actas del II Simposio del chopo. Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León S.A.* pp. 381-388
- Peak R, Neale B (2006) *Corporate Finance and Investment Decisions & Strategies* 5th Ed. FT Prentice Hall, London
- Ramos JL (1965) *Repoblaciones*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid
- Romero C (1997) *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales* (2^a Ed.). Alianza Editorial, Madrid
- Romero C (2002) *Evaluación Financiera de Inversiones Agrarias* (8^a Ed.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid
- Samuelson PA (1976) Economics of forestry in an evolving society. *Econ Inq* 14:466-492
- Sen A (1967) The social time preference rate in relation to the market rate of interest. *Q J Econ* 81: 112-124
- Serrada R (2000) *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Fundación del Conde del Valle Salazar, Madrid, 435 pp
- Trentham Law P (1912) *The Practice of Forestry concerning also the Financial Aspect of Afforestation*. T. Fisher Unwin Ltd., London
- Vadell E, De Miguel S, Pemán J (2019) La repoblación forestal en España: las especies utilizadas desde 1877 a partir de las cartografías forestales. *Historia Agraria* 77:107-136

Capítulo 24

La ejecución del proyecto de repoblación forestal. La dirección de obra

Nicolás CIFUENTES Y DE LA CERRA,
Francisco Mauricio ARIZA PEREZAGUA

1. Introducción

La práctica totalidad de las repoblaciones forestales que se realizan en España con fines de recuperación ambiental son ejecutadas por las diferentes administraciones públicas mediante contratos. Su desarrollo conlleva una importante carga burocrática que complica, muchas veces, la correcta ejecución de proyectos en cuya redacción se ha dedicado mucho esfuerzo. Desgraciadamente es un hecho que, en algunas ocasiones, lo finalmente ejecutado no coincide exactamente con lo pretendido en la fase de redacción. Asimismo, es frecuente que las condiciones económicas en las que queda el contrato o la rigidez en la forma de interpretar las normas por parte de algunas administraciones dificulten, e incluso imposibiliten, finalizar el proyecto previsto con la calidad pretendida inicialmente. Aun cuando se trata de repoblaciones productivas o privadas (muchas veces con algún tipo de subvención), existe un cierto grado de intervencionismo por parte de las administraciones que puede dificultar la realización plena de un proyecto de repoblación forestal tal y como estaba previsto en su inicio.

En el presente capítulo se ofrece una visión breve de la problemática asociada a la dirección de este tipo de actuaciones desde el punto de vista de los técnicos implicados en la ejecución de proyectos de repoblación, ya sean estos de las diferentes administraciones responsables de los contratos o de las empresas que llevan a cabo su ejecución. La exposición del tema se plantea desde la perspectiva de la contratación pública por ser ésta la forma en la que se llevan a cabo la mayor parte de las repoblaciones forestales protectoras en nuestro país; aun así, muchos aspectos también son válidos y aplicables en el contexto de las repoblaciones privadas que no tengan por qué estar sometidas a la normativa de contratación pública.

La legislación sobre contratación pública en España es bastante compleja y ha sufrido numerosas modificaciones que han pretendido adaptarla a las diferentes situaciones

socioeconómicas de cada momento. Así, la legislación vigente en la actualidad en materia de contratación es la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público (LCSP). Se trata de una norma que afecta a todo tipo de contratos públicos y se adapta a las diferentes Directivas comunitarias asegurando unos principios básicos de publicidad, transparencia de los procedimientos, no discriminación e igualdad de trato, libre competencia y eficiencia en los usos de los fondos. En el contexto de este capítulo, se ha procurado, en la medida de lo posible, no entrar en detalles referidos a los diferentes tipos de contratos, ya que estos podrían cambiar en modificaciones posteriores de la norma.

1.1. Principales dificultades en la ejecución de un proyecto de repoblación forestal

El grado de complejidad de las obras de cualquier tipo depende de numerosos factores; entre otros, de las propias características de las actuaciones a desarrollar, de su dificultad técnica, del grado de burocratización de las administraciones involucradas, de las empresas que participan, de la composición del equipo de dirección de obra, del factor humano, del marco político, e, incluso, de la suerte, entre muchos otros (figura 24.1). Las dificultades derivadas de la mayoría de estos factores son predecibles, por lo que pueden solucionarse con mayor facilidad si se contemplan desde el principio.



Figura 24.1. Repoblación forestal en Isla Quemadillos (embalse de El Andévalo). En esta actuación fue necesario reajustar la zona de plantación una vez concluidos los trabajos de construcción de la presa (foto: CH Guadiana).

Los problemas que pueden surgir, desde la concepción de un proyecto de repoblación forestal o ambiental hasta su ejecución final, son numerosos. Ya desde el inicio, en no pocas ocasiones, se producen importantes retrasos desde que se finaliza la redacción hasta que se inicia su ejecución, generando un problema de partida, al quedar el documento del proyecto total o parcialmente obsoleto, obligando a efectuar numerosas revisiones y modificaciones posteriores. Hay que tener en cuenta, también, que las repoblaciones forestales son actuaciones que se desarrollan en un medio cambiante, sometido constantemente a nuevas alteraciones, por lo que los proyectos inicialmente previstos, si no se acometen rápidamente, ya no pueden cumplir los objetivos deseados o lo hacen con una menor eficacia.

Por otro lado, las redacciones incorrectas o con falta de rigor suponen numerosos problemas en el momento de la ejecución. En sentido contrario, los proyectos redactados

pueden ser excesivamente exigentes, con una gran carga científica o investigadora o con unas pretensiones difícilmente realizables en la práctica. Es fundamental que, en la medida de lo posible, la redacción se plantee asumiendo un principio básico: facilitar el trabajo al equipo responsable de su ejecución que, en muchas ocasiones, es distinto al que intervino en su redacción.

A continuación se presentan, de forma resumida, algunas de las principales dificultades que suelen encontrarse a la hora de ejecutar un proyecto, si bien la casuística es amplia y variable según el ámbito de actuación de la administración de que se trate:

- La falta de disponibilidad de elementos o equipos exigidos en el proyecto, bien por no existir en el mercado o por ser inviables económicamente. Por ejemplo, es el caso de determinadas calidades o tipos de plantas, de cierta mano de obra cualificada, de maquinaria específica, etc.
- La falta de espacio o disponibilidad de terrenos como consecuencia de ocupaciones ilegales o servidumbres o por ser de propiedad privada o estar en litigio. En este último caso, el margen de maniobra de la administración es reducido; puede recurrir a la expropiación, que puede ser inviable económicamente y, también, inasumible políticamente. En cuanto a las ocupaciones, un caso particularmente flagrante, que sufren todas las administraciones, es el que se produce en relación con bienes públicos (dominio público hidráulico, montes públicos, vías pecuarias o carreteras y caminos). El deslinde es un procedimiento lento, complejo e impopular. Al respecto, los ciudadanos cada vez están mejor preparados y asesorados en la defensa de sus derechos, por lo que existe una resistencia a llevarlo a cabo, quedando, en muchas ocasiones, en una situación que, en la práctica, es de “mínimos”. Para intentar soslayar estas dificultades, últimamente se está estudiando la posibilidad de emplear otras fórmulas, otros sistemas de adquisición de terrenos o de derechos sobre ellos, como la compra voluntaria, la permuta o el arrendamiento, entre otros.
- El aumento de la complejidad social. Actualmente existen numerosas organizaciones o sectores con intereses concretos que demandan la compatibilización de los diferentes usos posibles en un mismo territorio (organizaciones ecologistas con mayor o menor criterio técnico, universidades y mundo científico, asociaciones populares, colectivo de cazadores, ganaderos, etc.). Algunos de estos sectores pueden llegar a imponerse sobre otros, en función de su mayor capacidad de influir en una clase política realmente poco comprometida con la conservación del medio natural y condicionada por un horizonte electoral no superior a cuatro años.
- Los procesos de participación social. En estos procesos, cada vez más habituales, los técnicos, que antes tomaban decisiones de forma unilateral sobre la forma de ejecutar este tipo de proyectos, deben ahora explicar y convencer sobre los objetivos y las técnicas a emplear, buscando una aceptación social. Cabe aclarar que estos procesos sociales de participación, aunque laboriosos, son muy recomendables en aquellos lugares donde puede darse algún tipo de conflicto por intereses de colectivos, o en zonas donde se haya criticado mucho las actuaciones de repoblación ejecutadas en el pasado (figura 24.2). En ellos se trata de exponer a los asistentes qué es lo que se pretende realizar y justificar su conveniencia. Los



Figura 24.2. Jornada de participación social para el desarrollo de un proyecto en Badajoz (foto: CH Guadiana).

proyectos que cuentan con un proceso previo de participación o consulta acaban siendo mucho mejor aceptados por la sociedad y, también, por las instituciones de la Unión Europea, hecho que facilita su financiación.

- El marco normativo y las condiciones impuestas que afectan a la ejecución del proyecto de repoblación forestal. Al respecto las normas y las tramitaciones ambientales, exigen un gran esfuerzo en la planificación de las operaciones y los procedimientos de trabajo.
- El marco administrativo y su funcionamiento. Las unidades administrativas intervinientes, con sus luchas competenciales, su mayor o menor celo, su falta de colaboración y la multiplicidad de trámites generan problemas que, a la hora de la verdad, imposibilitan la realización de los proyectos o el establecimiento de planes realmente eficaces a medio y largo plazo. Estas situaciones conducen, finalmente, a la desmotivación de los técnicos responsables. Hay que destacar, por ejemplo, la complejidad de los trámites ambientales, que llegan a retrasar en años hasta la más sencilla de las actuaciones. Pueden llegarse a producir situaciones verdaderamente absurdas y ridículas como consecuencia de un celo mal entendido, en un contexto de solapamiento de normas que, además, se interpretan de manera subjetiva. A estas se le une, en ocasiones, la falta de valor de algunos técnicos a la hora de tomar decisiones. Todos estos inconvenientes conducen al consiguiente retraso de las actuaciones o, incluso, a su suspensión de forma indefinida. En aquellas zonas con un grado de protección mayor, como en la Red Natura 2000, se llegan a desestimar proyectos de mejora y conservación en estos espacios por la complejidad que entraña su tramitación.
- La insuficiencia en la administración de personal claramente multidisciplinar, con cualificación para poder asumir con mayor eficacia y motivación proyectos ambientales o de repoblación forestal. Está más que demostrado que la visión de diferentes especialistas mejora la calidad de los proyectos, en especial cuando estos son complejos. Al respecto, parecería que las intenciones políticas van, cada vez más, en ese sentido, pero, en la práctica, se sigue ignorando esta necesidad.

- La escasez de inversiones públicas en proyectos que buscan realmente la restauración ambiental. La falta de presupuestos y el retraso en su aprobación es uno de los mayores problemas para el desarrollo de estas actuaciones. No obstante, para algunas de ellas se logra obtener cofinanciación con fondos europeos.
- Los proyectos de repoblación forestal con objetivo prioritario impropio. En algunas regiones se sigue manifestando la costumbre, en la que los proyectos de tipo forestal se tratan en realidad de meras inversiones a repartir localmente con el objetivo principal de generar mano de obra temporal. La obra forestal propiamente dicha, por tanto, no es más que una justificación, quedando las actuaciones tan atomizadas en el territorio que imposibilitan poner en práctica proyectos ambientales, incluidas las repoblaciones forestales, realmente ambiciosos.
- A todos los problemas anteriores se añaden los comunes a cualquier proceso de contratación, a la tipología de las empresas, a las subcontrataciones, a las cuestiones relacionadas con las condiciones de seguridad y salud, a los controles europeos cuando las actuaciones están cofinanciadas, entre muchos otros.

Teniendo en cuenta la problemática asociada a la realidad de llevar a cabo una repoblación forestal u otro proyecto ambiental, antes de iniciar los trabajos, se debe proceder a revisar el proyecto para adaptarlo a los cambios que pudieran haberse sucedido desde su redacción. Muchas veces, el tiempo transcurrido entre la finalización de la redacción del proyecto y el inicio de su ejecución es tal que aquél debe descartarse y redactar uno nuevo. Otras veces bastará con comprobar la viabilidad del proyecto, adaptando sólo aquellas partes que puedan ser necesarias, por ejemplo, por existir nuevos procedimientos o normas que cumplir.

2. Fase de preparación

Antes de proceder a su ejecución, todo proyecto debe someterse a una lectura y estudio cuidadoso por parte del equipo técnico que va a llevar la dirección de los trabajos en la fase de ejecución. El proyecto puede haber sido redactado por un equipo de técnicos diferentes y, por lo tanto, debe ser bien comprendido en su totalidad antes de comenzar su ejecución. Asimismo y como ya se mencionó, puede ocurrir que, debido al tiempo transcurrido desde que finalizó su redacción, existan algunos aspectos técnicos y legales que deban modificarse o actualizarse para permitir la viabilidad del mismo o mejorar sus características técnicas; por ejemplo, para incorporar nuevos materiales y técnicas más eficaces o para cumplir requisitos administrativos que en el momento de la redacción no existían.

2.1. La tramitación ambiental

Las exigencias derivadas de la legislación autonómica, estatal y europea en materia de evaluación ambiental, así como otras específicas en caso de proyectos cofinanciados, obligan a destinar importantes recursos técnicos y una cantidad nada despreciable de tiempo a la elaboración de la documentación ambiental y a su tramitación ante los organismos competentes. Por otro lado, la implementación en Europa de la Red Natura 2000, y en el caso particular de España por la gran cantidad de territorio que ésta ocupa, lleva consigo cada vez un mayor intervencionismo de la administración ambiental en los proyectos que afectan a estos espacios.

Aunque la tramitación ambiental es un proceso que debe realizarse durante la redacción del proyecto, es habitual que durante su ejecución se deba, no sólo cumplir con las condiciones y medidas ambientales que se hayan aprobado, sino también, realizar nuevos trámites ambientales por caducidad de los anteriores o, en su caso, por cambios en las condiciones de ejecución.

Si bien se ha desarrollado con mayor grado de detalle en el capítulo 22, conviene aclarar en este apartado los términos de promotor, órgano sustantivo y órgano ambiental, así como sus competencias en el proceso de tramitación ambiental:

- Promotor: cualquier persona física o jurídica, pública o privada, que toma la iniciativa respecto a la puesta en marcha de un proyecto.
- Órgano sustantivo: órgano de la administración pública que, conforme a la legislación aplicable al proyecto, ha de conceder la autorización para su realización.
- Órgano ambiental: órgano de la administración pública que elabora, en su caso, el documento de alcance, que realiza el análisis técnico de los expedientes de evaluación ambiental y formula las declaraciones de impacto ambiental y los informes de impacto ambiental. Dependiendo de la administración que ha de conceder la autorización para la realización del proyecto, corresponderá el siguiente órgano ambiental:
 - Cuando el órgano sustantivo pertenezca a la Administración General del Estado, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
 - Cuando el órgano sustantivo pertenezca a la Administración Autonómica será el que haya determinado la comunidad autónoma como órgano competente de entre los suyos.

Actualmente, la legislación ambiental ha otorgado un mayor grado de responsabilidad al órgano sustantivo (que es, en muchas ocasiones, el mismo promotor) en todo el proceso de evaluación y, además, se ha hecho más exigente cuando los proyectos afectan a la Red Natura 2000.

Durante la fase de redacción de los proyectos de repoblación forestal se debe cumplir con la legislación ambiental vigente en materia de evaluación ambiental siguiendo, en su caso, los procedimientos ambientales que la ley establece en cada momento (figura 24.3). Debido a la complejidad de los trámites administrativos de los proyectos, es frecuente que la resolución de este expediente ambiental, ya sea en forma de Informe de Impacto Ambiental, o de Certificado de no afección a Red Natura o, incluso, de Declaración de Impacto Ambiental, haya caducado debido al tiempo transcurrido desde la finalización del expediente hasta el inicio de la ejecución. En este caso deberá solicitarse una nueva aprobación que, en determinadas ocasiones, puede exigir un nuevo trámite, no pudiendo iniciarse parte de las actuaciones hasta finalizado este trámite. La responsabilidad de realizar estas segundas tramitaciones, revisiones o renovaciones suele corresponder, en la práctica, a los propios equipos de dirección de obra.

Es conveniente conocer en cada caso a las personas responsables en materia ambiental con los que habrá que tratar y comunicarse durante la ejecución de los proyectos de



Figura 24.3. La planificación y la ejecución de esta repoblación en la ribera del Chanza (Huelva) resultó relativamente compleja al estar afectada el área de actuación por múltiples disposiciones normativas, como las relativas a Red Natura 2000 (ZEC), al plan INFOCA o a limitaciones por períodos de cría, entre otras (fotos: CH Guadiana).

repoblación forestal. Se debe cumplir de forma estricta, durante la ejecución, las medidas descritas en el informe de impacto ambiental o en la declaración de impacto ambiental, que además pueden obligar a realizar un Plan de Vigilancia Ambiental a desarrollar durante la ejecución de los trabajos e, incluso, durante el mantenimiento posterior.

2.2. Financiación de los proyectos

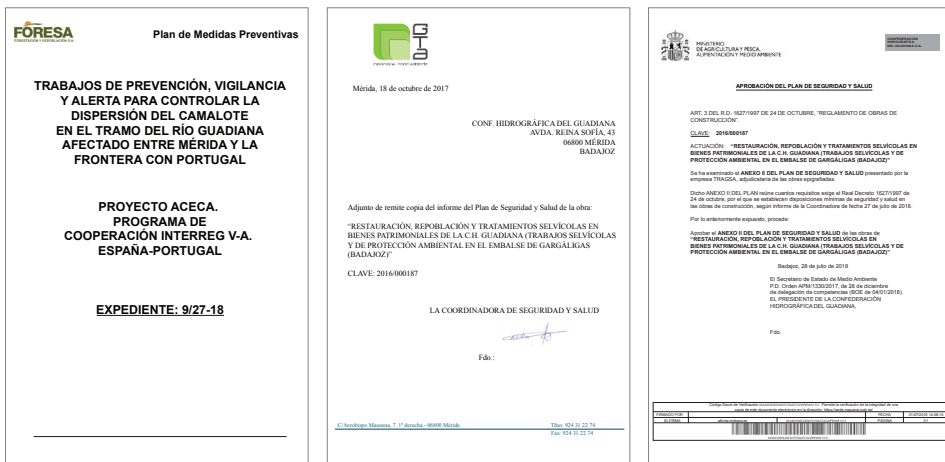
La cofinanciación de los proyectos con fondos europeos conlleva el cumplimiento de una serie de requisitos que están recogidos en los correspondientes reglamentos. Además de la necesidad de contar con las resoluciones del trámite ambiental mencionadas en el apartado anterior (el certificado de no afección a Red Natura 2000, el informe de impacto ambiental, la declaración de impacto ambiental o en su defecto un certificado ambiental del técnico competente en materia medioambiental), existen otros, como los informes de elegibilidad, los informes anuales de ejecución, los indicadores de ejecución, de impacto y de resultado, las normas de publicidad, etc. Aunque lo habitual es que sea otro departamento el que se encargue de la gestión necesaria para obtener el retorno de los fondos europeos (normalmente, el departamento de presupuestos y contabilidad), los servicios (o unidades) “ejecutores” tiene que estar preparados para proporcionar información relativa a las actuaciones de forma periódica, desde el inicio del expediente de contratación, o incluso antes, y en unos determinados formatos. La gestión de estos proyectos cofinanciados requiere una dotación nada despreciable de medios humanos y de tiempo, hecho que debe tenerse en cuenta desde su planteamiento inicial.

Los proyectos de repoblación forestal se interrumpen o retrasan, en numerosas ocasiones, como consecuencia de una meteorología adversa, falta de disponibilidad de planta u otras razones. Cuando existe financiación europea, estos retrasos pueden suponer la pérdida de la elegibilidad y de los fondos asignados. Es fundamental, por tanto, prever estas posibles situaciones con una adecuada planificación que permita realizar una justificación basada en razones inevitables e impredecibles en el caso de que no pueda ser cumplida.

2.3. La seguridad y salud. El coordinador de seguridad y salud

La normativa sobre seguridad y salud es uno de los aspectos que más se ha desarrollado en los últimos años, hasta tal punto que acaba siendo una de las principales causas de paralización de las obras, seguida del incumplimiento de las medidas ambientales.

La normativa establece que los proyectos deben incluir en su redacción un Estudio de Seguridad y Salud o un Estudio Básico de Seguridad y Salud (ver capítulo 21). Inicialmente se plantearon muchas dudas sobre si esta obligación afectaba o no a las obras de tipo forestal-ambiental, ya que la definición de obra civil que realiza la ley es un tanto confusa. Sin embargo actualmente, las diferentes administraciones van asumiendo la obligación de contar con alguno de estos estudios de seguridad y salud, independientemente del tipo de obra a realizar (figura 24.4). Se debe tener en cuenta, y así se debe reflejar también en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares, que corresponde a la empresa ejecutora hacer frente a todos los gastos necesarios de seguridad y salud que se precisen, con independencia de que estos queden o no correctamente reflejados en los correspondientes presupuestos.



Plan de seguridad y salud realizado por la empresa adjudicataria.

Informe de aprobación del plan realizado por el coordinador de seguridad y salud.

Aprobación del plan de seguridad y salud realizado por la Administración.

Figura 24.4. Documentos relativos a la seguridad y salud en las obras.

El coordinador de seguridad y salud debe estar expresamente nombrado antes del inicio de las obras; en caso contrario es el director de las obras quien asume dicha responsabilidad. Se trata, por tanto, de una figura clave que se encuentra adscrita al equipo de dirección de las obras o servicios, con independencia de que pertenezca a la administración contratante o a una empresa privada contratada para tal fin. La única condición es que debe ser nombrado por la misma administración responsable de la ejecución del proyecto de repoblación.

2.4. Otros trámites previos

Dependiendo de las características de las obras o de la forma en que está prevista su financiación, puede ser necesario realizar diferentes trámites, normalmente en paralelo a la redacción del proyecto. Sin embargo, muchas veces esto no ocurre o hay que proceder a revisarlos debido al tiempo transcurrido. En estos casos es la dirección de obra quien debe solucionar, completar, repetir o iniciar todos los trámites que se requieran para poder ejecutar el proyecto. Muchas veces y cuando es posible, esta tarea se delega en la contrata o el medio propio. Sin embargo, no se debe abusar de esta posibilidad ya que el responsable final de la actuación es su promotor, normalmente la administración contratante, y no siempre se puede delegar su representación en una empresa, aunque haya sido contratada para la ejecución de las obras.

De entre los posibles trámites previos, necesarios para iniciar la ejecución, destacan, entre otros, los permisos, las autorizaciones, los informes preceptivos de otras administraciones y las notificaciones de inicio, relacionados con las siguientes cuestiones:

- las vías pecuarias
- la Comisaría de Aguas (en dominio público hidráulico o zona de policía)
- las carreteras
- la disponibilidad de terrenos de ayuntamientos, de CC.AA. o del Estado
- las solicitudes de aprovechamientos
- los informes de viabilidad técnica y económica
- los compromisos de usos para posteriores cesiones
- el visto bueno del proyecto por parte del usuario final
- los permisos de paso por terrenos de terceros
- la anulación de concesiones en precario (pastos, áridos, etc.)
- los desalojos por ocupaciones ilegales
- los expedientes de expropiación
- la declaración de interés general
- los estudios arqueológicos
- las normas de publicidad
- los convenios de colaboración

Es imprescindible que, antes de proceder al inicio de la ejecución de un proyecto y aunque el mismo se encuentre ya adjudicado, se realice una revisión de toda la documentación disponible y una relación de aquella otra de la que todavía no se dispone. Puede ser necesario, incluso, retrasar el inicio de las obras hasta que se proceda a la obtención de los documentos que faltan. Es recomendable, en su caso, incluir en el acta de comprobación del replanteo (ver apartado 3.3.) la necesidad de realizar aquel trámite preceptivo que pueda estar todavía pendiente.

2.5. Adjudicación de los contratos

La forma en que se adjudica o contrata la ejecución de un proyecto de repoblación forestal es, sin duda, un factor determinante, ya que puede suponer la diferencia entre el éxito o el

fracaso del mismo. Con frecuencia, la prevalencia de criterios exclusivamente económicos, aun cumpliendo con todas las condiciones y garantías legales que la norma del momento establece, da lugar a contratos que difícilmente pueden llevarse a cabo con la calidad y corrección que el proyecto establece. En estos casos la precariedad de los contratos puede derivar en proyectos de baja calidad, distintos a los proyectados, o en retrasos, suspensiones y conflictos administrativos y legales. En todo caso, es necesario buscar un equilibrio que permita garantizar que los contratos se adjudiquen de forma transparente y adecuada, pero que permita, asimismo, que sea viable económicamente para la empresa que lo ejecuta. También es fundamental que se promuevan mecanismos que permitan adjudicar este tipo de contratos a empresas realmente dedicadas a los trabajos previstos, con capacidad, conocimiento, profesionalidad y experiencia suficientes.

En el caso de los proyectos de repoblación forestal, es muy difícil precisar con un detalle completo las operaciones, las condiciones y las calidades que se pretenden, por lo que no es aconsejable que el único criterio a valorar en los procesos de adjudicación sea el precio. En este sentido, se debe utilizar, además del económico, otros criterios que valoren la capacidad de las empresas para ejecutar este tipo de obras. Sin embargo, muchas administraciones utilizan las mal llamadas subastas como forma de adjudicación, eludiendo así toda responsabilidad en la fase de adjudicación o bajo la creencia de que, con este sistema, las actuaciones se abaratan y los presupuestos se estiran. Es posible que las actuaciones sean menos costosas mediante estos procedimientos, pero, en la mayoría de los casos, es a cambio de ejecuciones de peor calidad o diferentes a las realmente proyectadas. Para realizar este tipo de obras, las administraciones recurren, también, a encargos o encomiendas a empresas públicas. En estos casos, los precios se encuentran definidos en las correspondientes tarifas de la empresa pública, aunque su ajuste al precio real de mercado es muy discutible. No obstante, es cierto que esta vía representa una comodidad para la administración y una reducción de la incertidumbre sobre el resultado final.

Lógicamente y por muchas razones, lo deseable es que exista un equilibrio entre los diferentes sistemas que se utilizan para contratar las obras o servicios forestales (con sus ventajas e inconvenientes). No obstante, debe tenerse en cuenta que, según cómo se realice esta contratación, el esfuerzo en el control y seguimiento de la ejecución puede ser mucho mayor.

3. Fase de ejecución

3.1. Composición y función de los equipos de dirección de la obra forestal

Una vez adjudicado un expediente de contratación, comienza el trabajo más importante de la dirección de obras; es en la ejecución donde se comprueba si el documento redactado se ajusta o no a la realidad de la obra y si sirve para facilitar la ejecución.

Aunque, en la gran mayoría de las repoblaciones forestales en nuestro país, las correspondientes direcciones de los trabajos suelen ser responsabilidad de un solo técnico, habitualmente con la ayuda de algún guarda o agente ambiental, lo deseable y exigible es poder formar un equipo suficientemente cualificado que permita realizar un control efectivo con garantía y calidad de los trabajos. En los contratos más habituales de obra forestal entre administración y empresa, existen dos protagonistas fundamentales que representan a cada una de las partes: i) el director de obra, director facultativo o

director de los trabajos, responsable del equipo de dirección de obra y ii) el jefe de obra, responsable de los medios que aporta la empresa (ver capítulo 20). Es fundamental que exista una comunicación fluida y respetuosa entre ambos equipos por los cauces que, en cada caso, sean más adecuados; entre ellos (de más a menos habituales) cabe mencionar:

- reuniones presenciales periódicas, visitas conjuntas a las obras, conversaciones telefónicas
- comunicación mediante nuevas tecnologías (correo electrónico, *WhatsApp*, reuniones *online*, etc.)
- libro de órdenes.
- fax como registro, oficios, etc.
- reuniones con levantamiento de acta

Al aludir a la dirección de obra habría que referirse al “equipo de dirección de obra”, ya que, si bien la figura del director de obra es unipersonal y es él, en última instancia, el máximo responsable en la ejecución de una obra, puede estar asistido por un conjunto de técnicos, tanto de la propia administración como de empresas colaboradoras (asistencias técnicas) (figura 24.5). Según la Ley de contratos del sector público, puede existir un director facultativo distinto del responsable del expediente; este último siempre perteneciente a la administración contratante, aunque en el sector forestal, habitualmente, suele ser la misma persona. El número de técnicos que constituye el equipo de dirección de obra va a depender de factores como: la dificultad del proyecto, el dimensionado de las obras, la complejidad de las mediciones o los controles y, por supuesto, la disponibilidad de medios de la administración correspondiente.

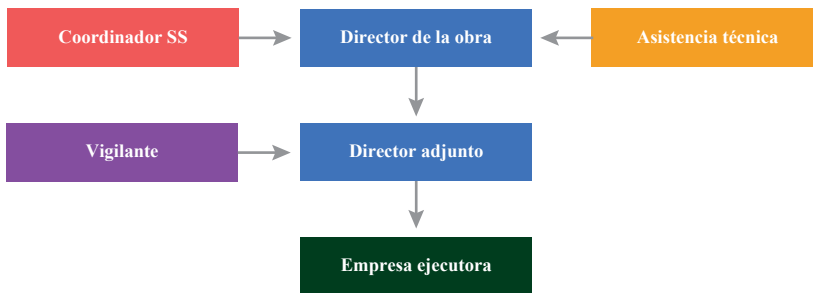


Figura 24.5. Organigrama básico del equipo de dirección de obra.

Es muy importante la figura del coordinador de seguridad y salud adscrito a la dirección de las obras; personal que puede ser funcionario o pertenecer a una consultoría externa con una formación específica en la materia (ver capítulo 21). Conviene recordar que, en caso de no existir este apoyo, el director de las obras asume una responsabilidad todavía mayor; hecho que puede dificultar notablemente su trabajo. También es importante insistir en que el director de las obras no queda exento de toda responsabilidad en esta materia, aunque exista un coordinador de seguridad y salud. Por tanto, la dirección de una obra va mucho más allá de visitar de vez en cuando los trabajos, e implica saber cuándo debe

ir a controlar los trabajos *in situ* y resolver los problemas que surjan. Del mismo modo, el coordinador de seguridad y salud no es un mero vigilante y no es el responsable de que los operarios utilicen los EPIs (casco, pantallas, zahones, gafas, etc.), puesto que los trabajadores se los pueden quitar cuando aquél abandone la obra, sino que es responsable de que el trabajador tenga dichos medios a su disposición y sepa cuándo, cómo y por qué debe utilizarlos. El encargado de que estos medios se usen en todo momento será el recurso preventivo de la propia empresa y el propio trabajador.

Las empresas consultoras que realizan asistencias técnicas a la dirección de obra desarrollan fundamentalmente dos funciones: i) facilitar el trabajo cotidiano de control, seguimiento y tramitación administrativa mediante la incorporación al equipo de personal técnico, y ii) emitir informes específicos por personal más especializado.

La dirección de obra debe asegurar que la obra se ajusta a las especificaciones de calidad necesarias y que la inversión está siendo la adecuada en las diferentes fases del proceso, aunando los intereses particulares de la empresa con los intereses públicos de la inversión. Teniendo en cuenta que, en la mayoría de las ocasiones, la dirección de los trabajos requiere de ciertos desplazamientos, es recomendable establecer un calendario para la realización de las diferentes inspecciones y mediciones en campo, sin perjuicio de que éste se modifique posteriormente o se incrementen su frecuencia cuando así se considere oportuno.

Otra figura a mencionar es la dirección ambiental de las obras. En las grandes obras, principalmente civiles, puede existir una figura diferente del director de las obras principales, encargada de asesorar en materia ambiental y del seguimiento de las medidas ambientales. En estas obras, independientes pero relacionadas con la obra principal, actúa como director de obra. Actualmente se ha dado, incluso, un paso más en la planificación, de forma que las medidas protectoras, correctoras y compensatorias que acompañan a esas grandes obras pueden constituir un proyecto independiente con su propio director de obras.

3.2. La empresa forestal. El jefe de obra

Las empresas adjudicatarias también cuentan con equipos que pueden ser más o menos complejos (jefe de producción, director de proyecto, jefe de calidad, director medioambiental, etc.) pero que, a la hora de la verdad y en la mayoría de las actuaciones forestales, se reduce a un jefe de obra que a su vez cuenta, como mucho, con la ayuda de un encargado o capataz (figura 24.6).

Se debe dar importancia a la profesionalización, colegiación y especialización de los técnicos de las empresas forestales. Desgraciadamente, es habitual poner al frente de las obras a técnicos recientemente egresados, con poca experiencia, que se limitan a realizar una labor de intermediario entre la administración y un conjunto de subcontratas o contratos temporales. Se debe exigir seriedad y rigor a las empresas en cuanto a las características y perfil deseables del técnico que actuará como jefe de obra. En ocasiones, y en especial cuando la obra no transcurre como debería, algunas empresas recurren a sustituir al jefe de obra por otro nuevo; hecho que, con frecuencia, supone un inconveniente más. Con

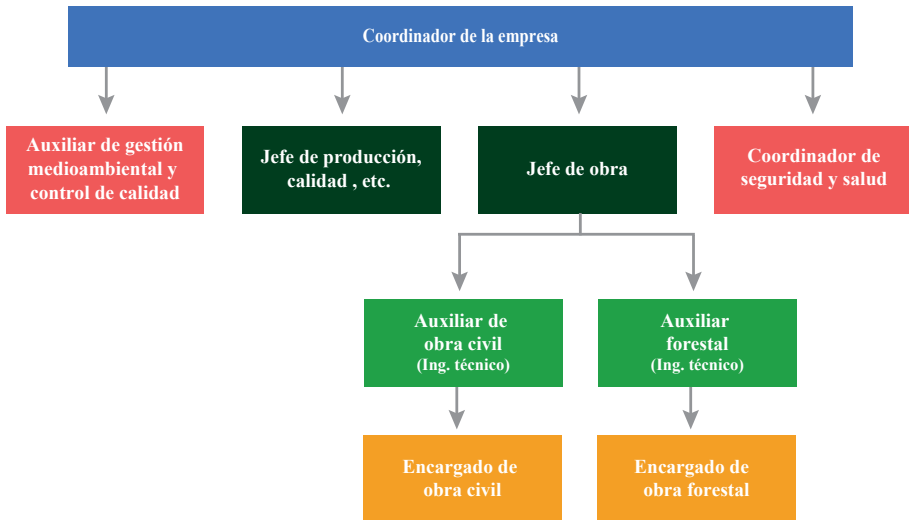


Figura 24.6. Organigrama básico del equipo de la empresa ejecutora.

esta forma de proceder parece que se responsabiliza de los problemas de la obra, de una manera injusta, a dicha persona, que es quien seguramente tiene menos culpa.

La incorporación de nuevos jefes de obra distintos a los incluidos en las ofertas requiere de una presentación formal al director de las obras y de su visto bueno. La dirección de obra debe respetar y entender que las empresas tienen también su propia estructura y jerarquía interna. Así, las instrucciones o directrices deben de comunicarse, en la medida de lo posible, directamente al jefe de obra, y deben realizarse, exclusivamente, por los técnicos adscritos a la dirección de obra.

3.3. Documentos de la obra. Funciones

El trabajo de dirección de obras requiere el conocimiento técnico necesario para las actuaciones que se van a ejecutar y para su adecuada puesta en obra, así como de los aspectos administrativos que conlleva la obra. En ocasiones, se tiene la creencia de que los aspectos administrativos o relativos a la normativa, que a veces no se entienden muy bien y pueden parecer tediosos, son menos importantes que las cuestiones puramente técnicas de la obra. Esta percepción es un gran error. La dirección de las obras no sólo debe preocuparse de la buena ejecución desde el punto de vista técnico y económico, sino que debe velar por el cumplimiento de lo establecido por la normativa en cada caso y de todos los trámites administrativos que se exigen en cada momento. Y es que cualquier actuación, por muy sencilla que parezca *a priori*, puede llegar a complicarse mucho desde el punto de vista administrativo o, en último extremo, llegar a ser objeto de un proceso contencioso. Por ello, es importante conocer y cumplir correctamente con todos los documentos que la legislación sobre contratación pública establece a lo largo del desarrollo de un contrato.

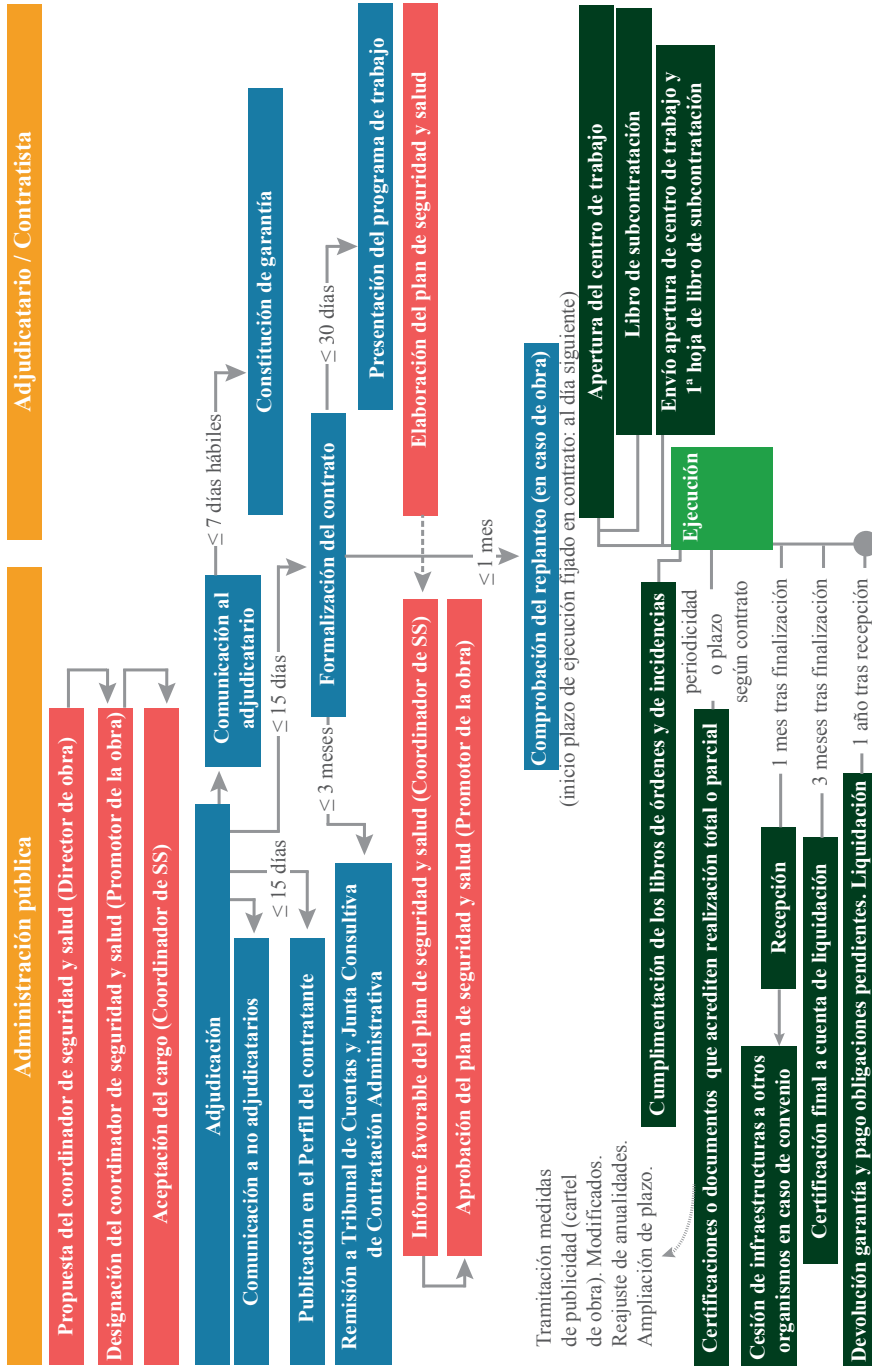


Figura 24.7. Procedimiento y plazos establecidos por la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público para la adjudicación de una obra, su ejecución y su finalización.

En la figura 24.7 se expone un esquema del proceso de adjudicación y ejecución de una obra desde el punto de vista administrativo, de acuerdo con la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público. A continuación, se comentan algunos de los actos o documentos de mayor relevancia a los efectos de este capítulo:

- **Replanteo previo.** Es el acto administrativo en el que se da fe de que los terrenos donde se van a realizar las obras existen y son acordes con la realidad que refleja el proyecto, así como que no existen otros problemas que impidan la ejecución de las mismas. Se levanta acta que firman los técnicos responsables antes de la licitación. Esta fase no se debe confundir con la "comprobación del replanteo", acto que se realiza una vez adjudicadas las obras y antes de su inicio.
- **Plan de seguridad y salud.** Es el documento que desarrolla las previsiones del Estudio de Seguridad y Salud, en función del propio sistema de ejecución de la obra que tiene la empresa. El proyectista realiza el Estudio de Seguridad y Salud de manera genérica, pero no sabe ni puede saber cómo va a realizar la obra la empresa adjudicataria. Por ello, el contratista será el encargado de realizar el Plan de Seguridad y Salud de la obra, especificando todas las acciones que va a realizar y los medios de que dispondrá (número de operarios que participarán, tipo de maquinaria a emplear, características de posibles instalaciones auxiliares, etc.) (ver capítulo 21). Si en la obra intervienen varias empresas, cada una deberá elaborar un Plan de Seguridad y Salud distinto y realizar un acta de coordinación de operaciones, o bien cumplir el plan elaborado por la empresa principal adhiriéndose al mismo. Una vez elaborado dicho plan y para que pueda ser considerado como válido, deberá ser aprobado por el coordinador de seguridad y salud nombrado por la administración contratante. Las obras no podrán dar comienzo sin dicha aprobación. Si se produce alguna modificación del proyecto que pueda implicar cambios en el Plan de Seguridad y Salud (por ejemplo, maquinaria distinta de la prevista inicialmente, otra zona de actuación, etc.), debe comunicarse este hecho al coordinador de seguridad y salud por si éste estima oportuno incluir un anejo o una adenda a dicho plan.
- **Apertura de centro de trabajo.** La empresa debe comunicar en documento escrito la apertura de centro de trabajo a la autoridad laboral competente (autonómica), quién lo remitirá a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social dentro de los treinta días siguientes al comienzo de los trabajos. La comunicación se realiza rellenando, por cuadruplicado, el ejemplar oficial que contiene los datos e informaciones siguientes (figura 24.8):
 - datos de la empresa
 - datos del centro de trabajo
 - datos de producción y/o almacenamiento del centro de trabajo
- **Libro de órdenes.** Documento en el que la dirección de obra refleja las instrucciones u observaciones dadas al contratista para la ejecución de la obra (figura 24.9). Este documento, que debe custodiarse en la obra, es para uso exclusivo del personal perteneciente a la dirección de las obras. Es un instrumento muy útil ya que puede servir para justificar pequeños cambios y para recordar decisiones tomadas *in situ* por parte de la dirección de obra.

CÓDIGO CIP P2792 COMUNICACIÓN DE APERTURA O REANUDACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE CENTROS DE TRABAJO JUNTA DE EXTREMADURA

1 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL SOLICITANTE

2 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRABAJO

3 REPRESENTANTE

4 DATOS DE NOTIFICACIÓN

5 DATOS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL CENTRO DE TRABAJO

AIA, SR. DIRECTOR GENERAL DE TRABAJO

Figura 24.8. Formulario (hojas 1 y 2) de comunicación de apertura de centro de trabajo o de reanudación de la actividad de la Junta de Extremadura.

LIBRO DE ÓRDENES Y ASISTENCIAS

CLAVE:

OBRA:

INGENIERO DIRECTOR DE LA OBRA:

INGENIERO TÉCNICO DE LA OBRA:

CONTRATISTA:

LIBRO DE ÓRDENES NOM:

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HERRIZALZAS Y OBRAS DE LAS AGUAS

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

LIBRO DE ÓRDENES Y ASISTENCIAS Nº:

FECHA 30 de FEBRERO de 19

de TITULAR DE OBRA

A JEFE DE OBRA

ASUNTO:

IND. SE ENCUESTA LA PRUEBA DE PLANTACIÓN DE TATARUX EN LAS ZONAS ANTERIORES AL RIESGO POSTERIOR, YA QUE LA EXISTENCIA DEL RIESGO (LA DERREGACIÓN) EN EL EXISTENTE INVENTARIO DE RIESGOS DE LA COMUNIDAD ES PREVENIBLE

SE DETERMINAN EN LA SUPERFICIE DE LA ZONA, OBRAS A EFECTO DE RECONSTRUCCIÓN EN LA ANTERIOR, DISPUESTAS A GARDAR O DE UN CILINDRO INTERCULAR

ENTRADO DE CONTRATO

Figura 24.9. Modelo de portada de libro de órdenes y asistencias y ejemplo de apunte.

- Libro de incidencias.** Documento que debe estar siempre accesible en la obra (figura 24.10). En cada centro de trabajo debe haber uno con fines de control y seguimiento del plan de seguridad y salud. Consta de hojas por duplicado. En él pueden escribir el director de obra y el coordinador seguridad y salud, los contratistas, los subcontratistas y los autónomos, los técnicos de prevención de las administraciones y las personas con responsabilidades en seguridad y salud

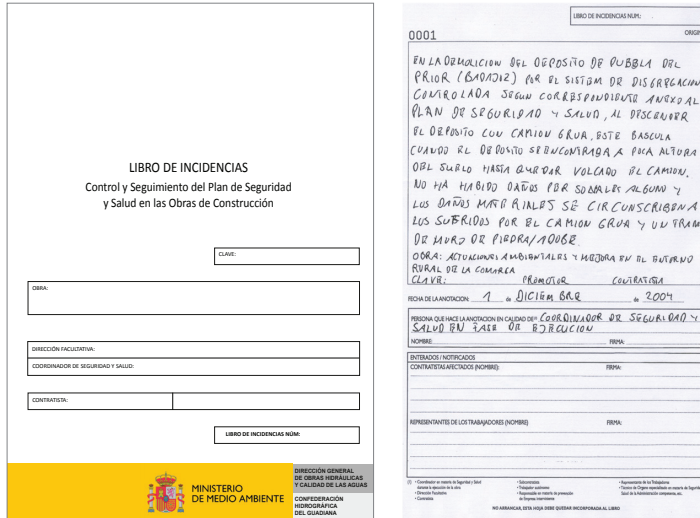


Figura 24.10. Modelo de portada de libro de incidencias y ejemplo de apunte.

de las empresas intervinientes. Hay que tener claro que, una vez cumplimentado, se debe dar parte a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social competente.

- **Comprobación del replanteo.** En este acto se comprueban los elementos principales del proyecto (topografía del monte, parcelas de muestreo, pendientes, rodales, etc.). Tras la comprobación realizada *in situ* por parte de la dirección facultativa y de la empresa adjudicataria, se procede a redactar el Acta de Replanteo, que acredita el inicio formal de las obras (figura 24.11). Es un paso trascendental en la obra, porque un error detectado en esta fase puede ahorrar mucho tiempo y dinero en la fase de ejecución; por ello, es fundamental dejar claramente definidas las referencias físicas (límites) o los criterios para el seguimiento de la obra. Este documento no sólo es el que da comienzo al plazo de ejecución; también debe recoger aquellas observaciones realizadas en el replanteo y cualquier dificultad no detectada con anterioridad (una zona que se ha quemado, una línea aérea, un nuevo camino, una ocupación, etc.). Con el respaldo de este documento, llegado el caso se podrá facilitar una interrupción en el plazo de ejecución o justificar un retraso en el inicio de la obra. Sobre la base de las deficiencias observadas y reflejadas en el contenido del acta de replanteo, si fuera necesario, se puede apoyar más fácilmente la tramitación posterior de un modificado, o, incluso, la suspensión de las obras sin perjuicio para la empresa adjudicataria. La demora de este acto puede ser causa de resolución del contrato, con los diversos matices que se describen en la Ley de contratos del sector público.

A modo de resumen, la documentación obligatoria que debe estar en el lugar de las obras es:

- Copia del Plan de Seguridad y Salud aprobado
- Libro de incidencias

- Libro de órdenes
- Libro de subcontratación, sellado y registrado por Trabajo
- Apertura del Centro de Trabajo

Además de esta documentación, se recomienda que en las obras también estén disponibles los siguientes documentos:

- Proyecto técnico, con planos de suficiente calidad
- Documentación de la maquinaria utilizada
- Documentación de la subcontrata
- Relación nominal de los trabajadores que están en la obra (RNT, antiguo TC2)
- Acta de adhesión al Plan de Seguridad y Salud de las subcontratas
- Certificados de formación, información y entrega de los EPIs
- Certificados de información a trabajadores autónomos y subcontratistas



Realizando la comprobación del replanteo de una obra (foto: CH Guadiana).

Acta de comprobación del replanteo.

Figura 24.11. Ejemplo de comprobación de replanteo y acta asociada.

3.4. Control de la obra. Procedimientos

En toda obra es importante que, previamente a su inicio, la dirección de la obra y la empresa ejecutora establezcan una planificación de revisiones y un sistema de comunicaciones periódicas para tener conocimiento de la evolución de la obra, la aceptación de determinados materiales, la comprobación de los procedimientos de ejecución y la medición previa a todo abono. Debe tenerse presente en todo momento cuál es el objetivo principal de la actuación a desarrollar (figura 24.12); como se ha señalado anteriormente, ésta debe ajustarse, en la medida de lo posible, a lo proyectado, aprobado y licitado. Se debe tener precaución respecto de aquellos



Figura 24.12. En las actuaciones efectuadas en la cuenca vertiente del río Múrtigas, en Sierra de Aracena y Picos de Aroche, se conjugaron trabajos de mantenimiento del dominio público hidráulico, de protección de las especies autóctonas y de control de la erosión (foto: CH Guadiana).

pequeños cambios o decisiones que se tomen durante el proceso de ejecución de las obras, para que no supongan un desvío de lo realmente contratado, con independencia de que se apoyen en un criterio técnico más acertado o se efectúen con la mejor intención. Son muchos los ejemplos de ejecuciones realizadas de forma distinta a lo proyectado y que deberían haber contado, al menos, con la tramitación previa de un proyecto modificado. Es mejor realizar una suspensión temporal o definitiva de las obras que enfrentarse a un posible incumplimiento de lo que la ley de contratación establece en cada caso.

3.4.1. Tratamiento de la vegetación existente

Se debe distinguir entre el tratamiento de la vegetación existente y el procedimiento de preparación del terreno donde se asentará la repoblación (ver capítulos 13 y 14). Aunque en alguna ocasión y para disminuir los costes, ambas operaciones se llevan a cabo conjuntamente, normalmente se ejecuta primero el tratamiento de la vegetación existente, para disminuir el grado de competencia futura con la nueva planta, y posteriormente se realiza una adecuada preparación del suelo (por ejemplo, un desbroce por laboreo con grada de discos y después un subsolado mediante *bulldozer*). Los elementos o parámetros que deben controlarse en esta operación varían en función del procedimiento elegido (figura 24.13). Por ejemplo, si la actuación es por fajas se controlará la anchura de la faja, la anchura de la entrefaja, la cota elegida para que siga la curva de nivel, los puntos intermedios de corte, la disposición a tresbolillo en máxima pendiente, etc. Si, por el contrario, el procedimiento elegido es un desbroce con gradas de discos, se deberá controlar el peso de la grada para medir la profundidad de la labor, la pedregosidad del terreno, la época de realización por peligro de incendios forestales, la afición a otras especies que deben ser preservadas,



Labores de desbroce manual con motodesbrozadora.



Tractor *bulldozer* provisto de flecos frontales.



Eliminación de la vegetación mediante fajas por curvas de nivel.



Operación de destocoado de eucaliptos.

Figura 24.13. Distintas operaciones de tratamientos sobre la vegetación. La elección de un tipo u otro deberá tener en cuenta numerosos factores, como las características de la vegetación que se pretende tratar, la época del año prevista para su ejecución, la pendiente del terreno, el objetivo a alcanzar o las especies elegidas y los medios disponibles. Los indicadores que se establezcan para el control posterior de la ejecución deberán ajustarse a las características de cada tipo (fotos: CH Guadiana).



Figura 24.14. Labores de desbroce manual con motodesbrozadora en las inmediaciones de la presa del Andévalo sobre *Cistus ladanifer*, según lo indicado en el proyecto (foto: CH Guadiana).

etc. Al igual que es fundamental controlar sobre las especies sobre las que se realiza esta labor (figura 24.14), también se debe vigilar que no se realicen estas actividades en zonas de protección, en puntos cercanos a cursos de agua y en determinadas quebradas que puedan originar problemas de erosión.

3.4.2. Preparación del terreno

Existen numerosos procedimientos de preparación del terreno, como queda reflejado en el capítulo 14. La elección de un tipo u otro debe estar suficientemente justificada en el proyecto según los numerosos factores de los que depende su elección, aunque, en la práctica, es uno de los aspectos que más se modifican en la fase de ejecución. Al respecto, suele proyectarse un único procedimiento de preparación del suelo para toda la superficie a repoblar, cuando lo más habitual es que existan zonas que requieren de otras técnicas, o bien el procedimiento elegido no es eficaz y supone un excesivo coste o existe una nueva maquinaria o técnica más adecuada y eficaz, entre otras. Al respecto, debe tenerse en cuenta que se trata de un proceso irreversible y que una mala ejecución puede traducirse en perjuicios a medio o largo plazo, por lo que es trascendental efectuar una correcta ejecución. En estos procedimientos se debe controlar que las condiciones son las adecuadas para ejecutar la preparación y que ésta se efectúa correctamente (figura 24.15):

- **Extensión de la labor.** El control del procedimiento de preparación del suelo ha de basarse en la comprobación de la ejecución correcta en cuanto a su extensión superficial: en preparaciones puntuales, dimensiones y distancias; en preparaciones lineales, dimensiones, separación y nivelación, etc.
- **Control de las condiciones adecuadas para la preparación.** Es necesario conocer las propiedades del suelo: no es lo mismo actuar en suelos calizos, donde no es recomendable efectuar labores profundas con inversión de horizontes para que no aflore la caliza activa, que en suelos arcillosos, donde la preparación no se deberá hacer con suelo húmedos para evitar compactaciones, o que en suelos demasiados sueltos y arenosos, donde una roturación excesiva puede perjudicar la futura plantación, además de favorecer los fenómenos erosivos.
- **Procedimiento y equipos de ejecución.** Los factores limitantes son la pendiente y la pedregosidad superficial del terreno, que condicionan el tipo de maquinaria a utilizar y el coste económico. La preparación manual del terreno es mucho más costosa que la mecanizada y menos efectiva (Tecnagro 2007). Hay que controlar si los equipos que se emplean son los proyectados en cuanto a potencia, aperos, tracción, etc.
- **Profundidad.** Este factor está justificado y determinado en el proyecto, sobre la base de sus objetivos y de las condiciones edáficas. En este punto se trata de comprobar que se alcanza la profundidad proyectada, observándola, preferentemente, en el momento de la ejecución de los trabajos (por ejemplo, en los subsoladores, en el cazo de las retroexcavadoras, en las dimensiones de las barrenas, etc.).

3.4.3. Método de repoblación

El método de repoblación puede ser mediante siembra o plantación. La elección de un método u otro depende de multitud de factores (ver capítulos 10 y 15), aunque hay que



Máquina hundida por condiciones edáficas no adecuadas.



Operación de subsolado con suelo arcilloso y demasiado húmedo en donde el rejón actúa como un cuchillo.



Operación en suelo arenoso con surco abierto demasiado profundo, de tal manera que éste supera la altura de la planta.



Se debe comprobar la densidad de los hoyos practicados, en este caso los efectuados por la retroaraña en pendiente, con objeto de lograr la densidad de plantación fijada en el proyecto.



Control de profundidad del subsolado.



Medición del distanciamiento entre líneas de subsolado.

Figura 24.15. Ejemplos de situaciones que deben evitarse en la fase de preparación del terreno y de mediciones de control de cumplimiento de las especificaciones indicadas en el proyecto (fotos: CH Guadiana).

destacar que la siembra se practica de forma puntual o excepcional en España. La siembra es más sencilla y menos costosa, *a priori*; pero habitualmente se utiliza el método de plantación, ya que su garantía de éxito es mayor (Serrada 2000). En cualquier caso, en el proyecto se debe establecer cuál será el procedimiento. En el caso de que se elija el método de siembra, en la ejecución es fundamental controlar:

- la especie y la identidad (origen) del lote de semillas (mediante las etiquetas o los documento de acompañamiento de las partidas)
- los posibles tratamientos o revestimientos requeridos
- la forma de conservación de la semilla hasta su siembra
- la densidad de siembra (kg ha^{-1} o semillas ha^{-1} en función de la densidad objetivo) (Catalán 1977)
- la separación de las hileras de siembra
- la profundidad de la operación para una correcta germinación
- el cierre del surco
- el monitoreo del logro obtenido

El otro método de repoblación es la plantación. De nada sirve tener el mejor material forestal de reproducción si no se emplea de forma adecuada en la fase de plantación. El uso de especies adaptadas al lugar donde se quiere repoblar y el método adecuado de preparación del terreno son factores esenciales para garantizar el éxito de la repoblación (Prada *et al.* 2012), pero también lo es el tratamiento de la planta, su transporte, presentación, cuidados previos, plantación y posterior mantenimiento (ver capítulo 15). Para asegurar la adecuada ejecución de la plantación será necesario controlar (figura 24.16):

- el lugar de la plantación (ubicación, pendiente, tipo de suelo, etc.)
- las especies a plantar. En caso de usar mezclas, debe comprobarse que se aplican los módulos de plantación o se establecen correctamente los bosquetes definidos
- el tipo de plantas (raíz desnuda, contenedor) y su morfología y estado fisiológico
- la densidad, con la comprobación del marco de plantación
- la forma de ejecución
- la época de plantación
- el manejo de las plantas previo a la plantación (transporte, aviverado, manipulación, etc.)
- la forma de plantar. Se debe efectuar un control frecuente del resultado del trabajo de la cuadrilla de plantación (sin bolsas de aire en el hoyo de plantación, cuello de la raíz un poco por debajo del suelo, parte aérea sin enterrar y las raíces en posición vertical, etc.) (ver capítulo 15).

3.4.4. Calidad de las plantas

Para los casos en que el método elegido sea el de plantación, se deberá tener en cuenta:

- **El origen y la calidad genética de las plantas.** Es un condicionante fundamental para la adaptación de los materiales utilizados y puede determinar el éxito de



La profundidad del hoyo de plantación debe controlarse en el momento de su ejecución.



Se debe procurar que las partidas de plantas no estén expuestas a vientos y temperaturas desecantes, por lo que debe controlarse hasta el tiempo desde su salida desde el vivero hasta su plantación sea lo más reducida posible, evitando el aviverado en monte.



En plantaciones de especies de ribera a raíz desnuda o con plantones debe comprobarse que la profundidad de plantación es la adecuada para el acceso de las raíces a la capa freática.



En las plantaciones sobre subsulado debe controlarse que los hoyos de plantación no se hayan efectuado fuera de las líneas de trabajo de la máquina.



En plantaciones en zonas de pendiente es importante controlar la profundidad del hoyo y la ejecución adecuada de una pequeña cuenca de retención de agua.



Figura 24.16. Ejemplos de control de la ejecución en la fase de plantación (fotos: CH Guadiana).

toda plantación (ver capítulos 12 y 16). Se debe utilizar y buscar plantas adaptadas a condiciones locales; si el material genético utilizado es de la misma zona geográfica que la de actuación se tendrá, en general, mayores garantías de éxito. A efectos prácticos, para cada lote de plantas debe ir acompañado en su movimiento por la siguiente documentación:

- etiqueta y documento de acompañamiento, una por cada lote de plantas, según lo dispuesto en el Real Decreto 289/2003 (Iglesias *et al.* 2012).
- pasaporte fitosanitario, uno para cada lote de plantas, según lo dispuesto en el Reglamento UE 2016/2031 y los Reglamentos de ejecución UE 2017/2313 y UE 2019/2072.

Se debe comprobar el contenido de dichos documentos, verificando que cumpla con lo dispuesto por la normativa en cuanto a forma y contenido (ver capítulo 16 para mayor detalle). Con esta información y documentos de trazabilidad se garantiza que la planta forestal utilizada es la proyectada y que tendrá una mejor adaptación al nuevo medio. Además, se deberá comprobar cómo han sido las condiciones de producción en el vivero.

- **Calidad exterior.** Además de su calidad genética, se debe exigir a la planta forestal el cumplimiento de unos criterios de conformación que garanticen su calidad externa (figura 24.17) y, por tanto, su aceptación en las obras forestales. En el caso de las plantas habitualmente empleadas en repoblaciones forestales (en alveolo, bandeja forestal o maceta de pequeño tamaño), esta aceptación se hará tras la comprobación de los siguientes aspectos (CHG 2011):
 - equilibrio entre la parte aérea y su sistema radical
 - no espiralización radical (existen envases con costillas interiores que ayudan a que no se produzca este fenómeno)
 - repicado de la raíz principal (se debe cortar el crecimiento de la raíz principal para favorecer las laterales y que exista un sistema radical más ramificado)
 - existencia de raíces secundarias en el cepellón
 - yemas apicales erectas y vigorosas
 - verticilos no muy separados
 - en coníferas, presencia de 3 verticilos con acículas vigorosas, no lacias
 - ausencia de daños físicos en el tallo por un inadecuado transportes o por podas
 - ausencia de plagas y enfermedades (sin signos de desecación, enmohecimientos, podredumbres, secreciones inusuales, etc.)
 - buena coloración general y cepellón bien conformado
 - una sola planta por cepellón
 - cepellones bien hidratados y sustrato idóneo con textura franco-arenosa
 - diámetro mínimo del cuello de la raíz especificado en el proyecto
 - sin bifurcación del tallo principal
 - transporte no superior a 24 h
 - tiempo de aviverado en campo no superior a 5 días



Revisión en campo de la calidad externa de las plantas recibidas y de la consistencia del cepellón.



Si se requiere avirerar las plantas en monte, debe verificarse que las condiciones del sitio sean las adecuadas para evitar la acción de agentes abióticos y bióticos que puedan mermar su calidad. Asimismo, debe procurarse que se mantengan separadas e identificadas las distintas especies y lotes.

Figura 24.17. Comprobaciones relativas a la calidad de los materiales forestales de reproducción y de un adecuado aviverado (fotos: CH Guadiana).

Todas estas comprobaciones son genéricas; en este sentido, se deberá tener en cuenta las particularidades de cada especie, tipo de planta, lugar de plantación, etc., a la hora de fijar los criterios y límites en cada caso.

La dirección de obra debe poder tener acceso a los viveros de producción con objeto de inspeccionar y comprobar cuáles han sido los criterios que se han utilizado en la gestión del cultivo y, en especial, si la planta se ha sometido a un proceso previo de preacondicionamiento antes del transporte al lugar de plantación, cuando proceda, si se ha encepellonado correctamente, si se ha repicado, deshermanado, etc. Es recomendable visitar el vivero antes de cualquier operación, ya que se puede comprobar *de visu* el estado de las plantas, el sustrato, la fertilización, las condiciones de protección, etc. (figura 24.18). Además, de esta forma y en el caso

de considerar que determinadas partidas no son de aceptación para la dirección de las obras, se pueden reducir costes frente a un posible rechazo en destino y tomar las medidas oportunas, si fuera posible, para su remplazo por otras partidas.

- **Recepción de la planta en el lugar de la plantación.** Este control debe realizarse por personal con la experiencia suficiente para detectar las posibles deficiencias y malformaciones. Incluso, si tras un procedimiento de evaluación visual aún no se está seguro de la calidad del material, se puede solicitar análisis fitosanitarios, verificación documental, test destructivos de la calidad fisiológica en una muestra, etc. Los resultados de esta valoración, particularmente y en su caso, cuando se detectan deficiencias, deben cuantificarse en la medida de lo posible (por ejemplo, dimensiones fuera de rango admitido, porcentaje de plantas mal conformadas o con síntomas de desecamiento, etc.) y quedar reflejados en un documento (figura 24.19).



Control del desarrollo de lotes de *Quercus* spp.

Inspección de partidas antes de su salida al monte.

Figura 24.18. Inspección de las plantas en vivero en distintos períodos (fotos: CH Guadiana).

CUADRO 2		Datos
de campo para Árboles y Arbustos		Especie:.....
ESTADO FISIOLÓGICO		
PARÁMETROS	DATOS	OBSERVACIONES
Edad de la planta		
Nº de plantas		
Calibre a 1,30m (cm)		
Altura (cm)		
Formación del cepellón: riz, dividida, conector, escayolado, etc.		
Formación de la copa: guía principal, distancia entre nudos y coloración		
ESTADO FITOSANITARIO		
PARÁMETROS	DANOS OBSERVADOS	
Observación de la raíz: estado de desecación, cortes, podriones, etc.		
Observación del tallo: charnos, podredumbres, perforaciones, abultamientos		
Observación de la copa: hojas, venas y ramitos terminales		
Nº de plantas dañadas:	<input type="text"/>	
OBSERVACION GENERAL DEL VIVERISTA:		

Figura 24.19. Estadillo de recepción de plantas a pie de obra.

El rechazo de partidas de plantas, ya sea en el vivero o en el lugar de repoblación, debe ajustarse a un criterio técnico objetivo y justificarse mediante un informe explicativo basado en el resultado de una valoración. Aunque es la dirección de obra quien tiene la capacidad de decidir sobre la idoneidad de los materiales y métodos a utilizar, y aunque es la administración quien sustenta la capacidad última de interpretar lo contratado, hay que tener en cuenta que estas decisiones pueden afectar gravemente a la empresa que ejecuta la obra, por lo que deben estar debidamente argumentadas y suficientemente documentadas. Además, este informe permitiría sustentar la justificación de la decisión adoptada ante posibles reclamaciones posteriores.

3.4.5. Densidad de plantación

Una vez seleccionadas las especies se debe controlar la densidad de plantación, que dependerá de los factores analizados en el capítulo 10. De manera genérica, la densidad de plantación es mayor en las repoblaciones protectoras que en las productoras, con el fin de conseguir una mayor eficacia de su función protectora (a corto plazo) y promover, a la vez, la estabilidad de la masa a largo plazo. En este sentido, el rigor en la comprobación de dicha densidad puede ser menor en las repoblaciones con objetivo protector que en el caso de las repoblaciones productoras. Existen distintos métodos de control de la densidad de plantación, pero el más efectivo y usual es efectuar conteos de pies en parcelas de muestreo con el objetivo de estimar parámetros estadísticos que indican si la densidad real se corresponde con la fijada en el proyecto. Dicho conteo se debe realizar en parcelas de muestro de aproximadamente 100 m², a razón de una por cada hectárea repoblada. Estas parcelas se establecen al ejecutarse las operaciones de plantación; en ellas se debe contar el número de pies existentes. Los valores de densidad promedio estimados se pueden reflejar en un mapa para su control (figura 24.20).

En cualquier caso, se debe tener una visión amplia de todo el monte y entender que no existirá la misma densidad de plantación en un llano que una ladera donde la pendiente y la accesibilidad dificultan los trabajos, o donde la existencia de afloramientos rocosos es abundante.

3.4.6. Cuidados culturales posteriores a la plantación. Mantenimiento

Toda repoblación forestal con un fin preferentemente protector debe estar dirigida a lograr una cierta naturalización, de tal forma que llegue un momento en el que la masa pueda desarrollarse y evolucionar por sí sola y sin necesidad de una intervención externa continuada. No obstante, en función de las condiciones del medio, en los primeros momentos, y al menos en el primer año, es necesario llevar a cabo ciertas operaciones de mantenimiento. Una vez realizada la repoblación, se realiza un mantenimiento ajustado a las necesidades de cada plantación (ver capítulo 19), con la ejecución de riegos manuales o sistematizados, cavas, binas, laboreos o desbroces para el control de la vegetación espontánea, aporcado de tubos protectores, repaso de alcorques, aporte de nutrientes, tratamientos fitosanitarios de control en caso de detección de plagas y enfermedades, actuaciones de prevención de incendios, etc. Algunas de las actuaciones de mantenimiento más frecuentes a las que debe efectuarse un control de calidad de acuerdo con las especificaciones indicadas en el proyecto son (figura 24.21):

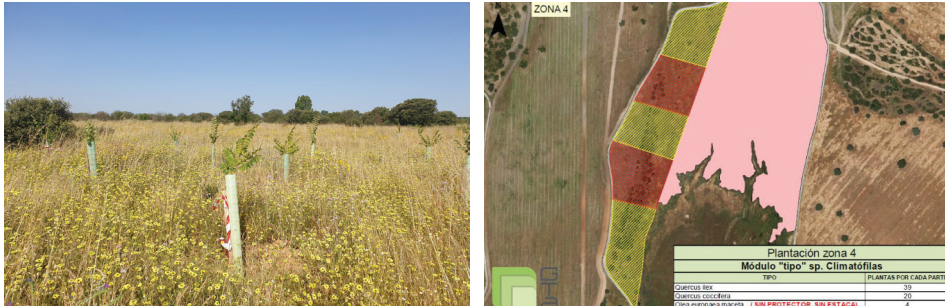


Figura 24.20. Parcela de control y plano representativo (fotos: CH Guadiana).

- Instalación de tubos protectores. Bajo la denominación de tubos protectores se agrupan diferentes productos que tienen características y finalidades muy diversas. Los de uso más frecuente son los de malla y los tubos invernadero de diferentes tamaños (ver capítulo 17). Los primeros se utilizan para la protección física de la planta frente al ganado o la fauna silvestre, mientras que los segundos se emplean, además, para mejorar las condiciones microclimáticas del ambiente en su interior con objeto de mejorar el arraigo y el crecimiento de la planta.
Se debe de comprobar tanto la calidad de los materiales como la adecuada ejecución de su instalación, de tal manera que cumplan la función para la cual han sido dispuestos. Asimismo, en función de si son biodegradables o no, debe comprobarse que se retiran a tiempo cuando ya no cumplen su función.
- Binas. En estaciones con lluvias primaverales y veranos muy secos, se puede desarrollar un herbazal que compita con la repoblación y aumente el riesgo de incendios. Para evitar estos riesgos, se proyectan y aplican binas o gradeos sobre las calles formadas por las filas de plantación (ver capítulo 18). Se debe comprobar que se cumplen la frecuencia y el modo de ejecución proyectados para las binas.
- Riegos. El objetivo de proyectar este tratamiento cultural es conseguir un mayor desarrollo en las primeras edades y asegurar un bajo porcentaje de marras (Paredes y Ballesteros 2012). El proyecto determina y presupuesta realizar uno o varios riegos de apoyo en el primer año de vida de la planta hasta que ésta desarrolle su sistema radical. El riego suele realizarse pie a pie con tractor y cisterna, regando en los alcorques de cada planta (aunque existen muchos otros métodos, como los riegos a manta o por goteos, eco bags, drenes, mechas, etc.) (ver capítulo 19). Se debe aportar y comprobar el volumen de agua por planta proyectado para que sea efectivo; el número de riegos debe ser sólo el mínimo necesario que asegure la supervivencia de la planta durante el primer año. Esta operación se puede controlar sabiendo el número de pies regados durante los días de ejecución de la operación, los tiempos utilizados por planta, los tiempos de vaciado de una cuba, etc. Un sistema muy sencillo y práctico en obra es calcular el tiempo que se tarda en llenar de agua un cubo de volumen conocido con el equipo a emplear; extrapolando se tendrá una idea de la cantidad de agua que recibe la planta en el alcorque en función del tiempo que se esté regando cada una de ellas.



Debe comprobarse el estado de los alcorques antes de ejecutar el riego.



Al eliminar la vegetación competidora, en este caso mediante una bina manual, debe comprobarse que no se han producido descalces o daños a los tubos protectores o a las plantas.



Tras el paso de un fuego debe efectuarse una estimación de las plantas y de los tubos protectores que será necesario reponer.



Plaga de caracol (*Iberus* spp.) en el interior de un tubo invernadero.

Figura 24.21. Ejemplos de control de diferentes cuidados posteriores a la plantación (fotos: CH Guadiana).

- Recalce o aporcados. Esta operación consiste en acumular tierra en la base del tallo de una planta formando un pequeño montículo que evita la formación de huecos en el cuello de la raíz, ya que estos podrían provocar el desecamiento de la misma. También se realiza esta operación en los tubos protectores, que después de las operaciones de riego se pueden llegar a mover y es necesario repararlos para que cumplan su función.
- Reposición de marras. En el proyecto de repoblación debe definirse un porcentaje medio de marras como nivel aceptable, que depende de la densidad de plantación (ver capítulo 19). Si el porcentaje de marras supera lo admisible se debe de investigar cuál ha sido la causa y si ésta es debida a una mala ejecución. La dirección de obra es la responsable de estimar el porcentaje de marras producido y de elegir el método utilizado para su cálculo (las metodologías de estimación de marras se exponen en el capítulo 25). En las parcelas de muestreo replanteadas en la repoblación, la dirección de obra debe hacer un seguimiento de todas las operaciones realizadas. Si estas parcelas se han

replanteado adecuadamente en la repoblación, teniendo en cuenta las diferentes variables ambientales, es de esperar que el porcentaje de marras estimado en ellas sea extrapolable a toda la repoblación. En el caso de que se observe una proporción de marras inadmisibles, se debe procurar establecer su causa (mala ejecución de la plantación, material utilizado de calidad inadecuada, falta de mantenimiento, condiciones ambientales extremas, etc.).

La reposición de marras se realizará siguiendo las instrucciones del proyecto. No obstante, puede ocurrir que en el caso de utilizar diferentes especies y observar que las marras se producen solo en alguna de ellas, pueda ser conveniente realizar la reposición de marras utilizando solamente aquellas que han presentado un mayor éxito.

- Otras labores de mantenimiento. Existen numerosos agentes que pueden afectar negativamente a la plantación (plagas, incendios, catástrofes naturales, vandalismo, etc.). Se debe tomar las medidas necesarias, en función de los medios disponibles, para evitar o minimizar posibles daños originados por estos agentes. Cuando se producen daños sobre una repoblación, es necesario determinar su magnitud y analizar si estos son responsabilidad de la empresa correspondiente o si se deben a causas ajenas a ella.

3.5. La gestión económica en las obras forestales

No se debe olvidar que, aunque existe la obligación de emitir certificaciones de carácter mensual, incluso si son “a cero”, se trata de un abono a cuenta; es decir que, en la práctica, se podría considerar como un adelanto a cargo de la medición final y podría corregirse en ésta. Estas certificaciones no suponen aprobación ni recepción de la obra certificada. Por lo tanto, no existe obligación de certificar y/o acreditar todo lo ejecutado, pudiéndose justificar esta situación por diferentes razones:

- que la relación valorada no se haya hecho con exactitud y simplemente sea una aproximación a la baja por precaución; la auténtica medición será la final.
- que el momento en que se realizan la medición y la relación valorada es muy anterior al de la certificación.
- que, aun reconociendo que determinadas unidades de obra se han realizado, resulta conveniente dejar pendiente su pago hasta que se finalicen otras. Se trata de evitar obras incompletas o calidades finales insuficientes.
- que la obra es de muy poco importe y, por simplificación, se decide un único pago final.
- que se detecta un riesgo de abandono o incumplimiento grave de lo especificado en el proyecto.

En las relaciones valoradas, así como en muchos otros documentos, lo normal es exigir la firma de un conforme del representante de la empresa, pero hay que recordar que la última palabra, es decir, la capacidad de interpretación, la tiene la dirección de obra; todo ello sin perjuicio de los mecanismos legales para recurrir que puede tener cualquier empresa. En este contexto, es importante que la propia dirección de obra tenga también un conocimiento de las características económicas y financieras de los

trabajos a realizar. Se debe tener cierta empatía hacia las empresas forestales que, en numerosas ocasiones, deben enfrentarse a la ejecución de las obras en condiciones muy desfavorables. No se trata de regalar nada, pero se deben agilizar, en la medida de lo posible, los trámites que faciliten la realización de los pagos de la parte de la obra debidamente ejecutada.

Puede ser aconsejable para la dirección de obra, y obligatorio para la empresa ejecutora, calcular el coste teórico de las unidades. Así, se dispondrá de una aproximación del resultado económico de una determinada actuación, calculando su viabilidad económica (por ejemplo, en ocasiones puede ser necesario volver a tarifar o revalorar una determinada unidad de obra y proponer la redacción de un modificado, o bien no ejecutarla porque está mal proyectada). De esta forma, la propia dirección de obra, al conocer cuál es la parte de la actuación que menos rentabilidad supone, también puede prever dónde existirán problemas durante la ejecución y dónde se debe realizar un mayor esfuerzo de control. Para esta previsión se debe comenzar haciendo un pequeño balance de los recursos y del coste de los trabajos según la siguiente relación:

- Recursos necesarios:
 - mano de obra
 - materiales
 - maquinaria
- Estructura de costes:
 - costes directos
 - costes indirectos
 - costes externos

Un análisis práctico y sucinto de aplicación del método financiero podría ser:

- Asumir que la financiación de la obra será a cargo de la empresa porque la administración o el propietario tardarán en pagar.
- Calcular un cobro a lo largo de anualidades en cantidades equitativas. Se calcula teniendo en cuenta que el primer cobro se efectuará en una serie de meses posteriores a la firma del acta de comprobación de replanteo.
- Dividir el coste de la obra en plazos, según se estime conveniente de acuerdo con los meses de actuación o la financiación que se pueda soportar. Para hacer un cálculo aproximado de lo que se debería cobrar por certificación mensual, hay que tener presente que ésta se compone de seis conceptos: coste de actuación + costes de financiación + costes de aplazamiento + tasas oficiales + coeficiente de adjudicación + gastos de estructura.
 - Los costes de financiación hacen referencia al interés ofertado en el proceso de licitación, es decir, al precio del dinero al que recurre la empresa para soportar el anticipo de los costes de la obra.
 - Los costes de aplazamiento son los soportados por la empresa por el desfase temporal entre sus pagos y sus cobros.
 - Las tasas oficiales. Pueden existir tasas no incluidas en los presupuestos del

- proyecto o tasas a abonar por la empresa en concepto de gastos de dirección de obra, anuncios y publicaciones en boletines oficiales, cartel de obra oficial, etc.
- El coeficiente de adjudicación. Es normalmente el mayor de los costes. Se trata de la baja económica que la propia empresa ha establecido en el proceso de licitación; un descuento sobre los precios establecidos en el proyecto. Este descuento puede llegar a ser excesivo, limitando e, incluso, haciendo inviable una correcta ejecución de las obras.
 - Los costes de estructura. Incluyen multitud de gastos, como pueden ser los seguros de obra, las oficinas, los servicios de prevención de seguridad y salud, la asesoría fiscal y laboral, la licencia de obra, entre otros.
 - Las certificaciones y mediciones se realizan mensualmente a lo largo de la duración de la obra. Normalmente, estas certificaciones tienen validez para justificar la financiación a la entidad financiera, determinar posibles revisiones de precios (compuestos por índices mensuales) y cierres económicos internos de la empresa.

Aunque corresponde a la empresa asumir el riesgo y ventura que supone el haber realizado determinadas ofertas en ciertas circunstancias, a veces es posible establecer nuevos procedimientos que, siendo menos costosos, son perfectamente adecuados para la correcta ejecución de las obras. La dirección de obra debe asegurar que ésta se ajusta a las especificaciones de calidad necesarias y que la inversión está siendo la adecuada en las diferentes fases del proceso, aunando, cuando sea posible, los intereses particulares de la empresa con los intereses públicos de la inversión.

3.6. La recepción

La recepción de las obras es un acto por el cual la administración contratante da por finalizadas las obras. El acto de recepción de la obra se puede considerar como el más importante en la ejecución de la misma, aunque hay muchas otras situaciones relevantes que pueden tener lugar a lo largo de su ejecución, como es la necesidad de realizar suspensiones parciales, tramitar modificados técnicos, establecer penalizaciones o realizar ampliaciones de plazos.

Para un director de obra, la recepción de obra tiene que ser, sin duda, el acto administrativo más importante, por lo que debe estar bien planificada. Cuando se recibe la obra, lo normal es que ésta se enseñe a diferentes autoridades o representantes de la administración.

En algunos casos puede ocurrir que se dictamine que las mismas no han sido correctamente ejecutadas o que presentan algunas deficiencias, debiéndose reflejar en el acta los defectos y el plazo para corregirlos. Hay que tener claro que una recepción negativa se debe, en la mayoría de los casos, a una mala dirección de los trabajos. Existen suficientes mecanismos en las normas, en relación con las formas de trabajar, de coordinar y de dirigir, para evitar llegar a este tipo de situaciones.

Salvo escasas excepciones, una dirección de obras no debería solicitar la realización de la recepción si las obras no están en condiciones de ser entregadas o dadas por finalizadas. Si las obras están correctas comienza el plazo de garantía.

BIBLIOGRAFÍA

- Catalán G (1977) Semillas de árboles y arbustos forestales. Monografía nº 17, ICONA, Madrid
- Confederación Hidrográfica del Guadiana (2011) Protocolo para el control de calidad de la planta forestal en la Cuenca Hidrográfica del río Guadiana. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid
- Iglesias S, Nicolás JL, Alía R, Peñuelas JL, Prada MA, San Juan A, Calvo JM, Rueda EJ, Mallofret E, Pérez V, Samaniego B, Vallejo M, Martín E, Villanueva I, Fernández G (2012) Criterios orientadores para el cumplimiento del Real Decreto 289/2003. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid
- Paredes V, Ballesteros F (2012) Restauración del espacio fluvial. Criterios y experiencias en la cuenca del Duero. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid
- Prada MA, Cubero D, Rueda J, Magdaleno F, Pérez F, Martínez R, Bellera MC, Nicolás JL, Aparicio M, Tranque J, Herrero A, Martínez S, Martín E (2012) Guía técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid
- Serrada R (2000) Apuntes de repoblaciones forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid
- Tecnagro siglo XXI (2007) Repoblación Forestal: Forestación de tierras agrícolas. ASAJA y Junta de Castilla La Mancha, Serie Forestal 4, Toledo

Capítulo 25

Control integral y seguimiento de repoblaciones forestales

Antonio D del CAMPO, Rafael M^a NAVARRO CERRILLO,
Guillem SEGURA ORENGA, Javier HERMOSO DE MENA

1. Introducción

El éxito de una repoblación viene determinado, en primera instancia, por lo adecuado de las decisiones, la planificación y las actuaciones recogidas en el proyecto técnico, y subsiguientemente, por las condiciones de la estación, la ejecución de la obra y por la capacidad de la planta de expresar su potencial de crecimiento en unas condiciones ambientales particulares (Grossnickle 2000). En esta línea, South *et al.* (2001) indican que los factores que influyen en el establecimiento de una planta en el monte son, en orden de importancia: las condiciones ambientales del lugar de establecimiento (adecuación de la especie, preparación del terreno y cuidados culturales); el manejo de la planta (plantación); y su morfología y su fisiología (material forestal de reproducción y calidad de la planta), a las que habría que añadir la calidad genética. Cada uno de estos factores conlleva multitud de otros implicados e interrelacionados, por lo que el estudio del éxito de una repoblación debe hacerse en un contexto que considere las posibles interacciones entre ellos (Navarro-Cerrillo y Palacios 2004).

Los controles de calidad en repoblaciones forestales son una parte intrínseca a la propia actividad repobladora, del mismo modo que la redacción del proyecto, su puesta en obra o el material forestal de reproducción; y están sólidamente justificados como un elemento integral en la cadena que va desde la selección de unos materiales de base y el cultivo en vivero de una planta de calidad funcional adecuada, hasta los cuidados culturales posteriores a la repoblación (reposición marras, control de la competencia, protección, etc.). A ello se une que existe un porcentaje elevado de marras propio de la acción repobladora (Kith y Tassara 1949; Jiménez-Castellanos Conde 1964; Alloza 2003; del Campo *et al.* 2007), siendo preciso identificar sus causas. Aunque la evolución de las condiciones del tiempo meteorológico es, en buena parte, responsable principal de marras en condiciones mediterráneas, también hay una causalidad asociada a la inadecuada realización de la repoblación, tanto en el diseño del proyecto (cómo se

piensa la repoblación) o bien en su ejecución (cómo se hace la repoblación) (ver capítulo 20). Aspectos tales como la mala elección de la época de plantación, el mal manejo de la planta durante el transporte y el aviverado, las malas prácticas de plantación, la delimitación de rodales con poca base en aquellos parámetros más influyentes en la calidad de estación, la falta de criterios fundados al aplicar algunos cuidados culturales según especies y estaciones (por ejemplo, tubo invernadero), la calidad de planta, etc., pueden ser igual o más importantes que las condiciones meteorológicas. Todo lo anterior pone en evidencia la necesidad de que las repoblaciones forestales, como otras actividades propias de la silvicultura, requieran de un control de calidad.

La valoración de la calidad de una repoblación forestal precisa de un conjunto de actividades inherentes a la misma, y que permiten juzgar su grado de éxito (Serrada *et al.* 2005). No obstante, es frecuente que, dado que los distintos elementos que comprenden la cadena del proceso repoblador se producen en tiempos y lugares distintos (gabinete, vivero, transporte y manejo de la planta, y plantación), los controles de calidad tienden a ser parciales, en correspondencia con el responsable de cada una de estas actividades. Así, es frecuente un control de calidad del proyecto, otro del material forestal de reproducción (semilla o material vegetal), uno del proceso de cultivo y de la calidad funcional de la planta de vivero, uno de la calidad de ejecución de la obra, etc. Si se asume que el primer objetivo a corto plazo de una repoblación forestal es conseguir un buen arraigo de los plantones transcurridos los dos primeros años críticos desde plantación, entonces es comprensible que todos los controles de calidad previos deben estar acoplados para que haya una secuencia lógica de unos con los otros, y de ahí la necesidad de realizar un control de calidad integral. En un control integral los objetivos pueden ser múltiples y diversos, pero la principal finalidad es garantizar el éxito de la repoblación forestal y extraer conclusiones para mejorar la técnica repobladora.

De este modo, un control integral de la repoblación debería incorporar tanto los controles de calidad propiamente dichos (calidad de obra, calidad de planta, etc.), como el seguimiento y la valoración de otros elementos de juicio que forman parte indisociable de la actividad repobladora (factores ambientales). De este modo, en la figura 25.1 se esquematizan los distintos factores que explican el establecimiento de una repoblación, y sobre los que debería incidir el control integral. Los tres elementos inferiores de la izquierda del organigrama representan los controles de calidad (calidad del proyecto, calidad del material forestal de reproducción y calidad de ejecución), mientras que el seguimiento o caracterización afecta a los dos elementos de la derecha (factores ambientales), que tienen un peso importante en los resultados de arraigo, y que son los responsables de que éstos puedan variar temporalmente. Si, además, se tiene en cuenta el medio y largo plazo, entonces, más allá del arraigo de los plantones, es preciso constatar si la actuación realizada ha alcanzado los objetivos establecidos para la repoblación. Así, el control de calidad inicial debería transformarse a partir del segundo o tercer año en un monitoreo y/o seguimiento de la plantación, de modo que éste siga proporcionando información veraz sobre lo acertado o no de la actuación y, por ende, permita modificar o adecuar la técnica repobladora (del Campo *et al.* 2009a; Bautista y Alloza 2009).

De hecho, las ventajas derivadas del control integral de repoblaciones se encuadran cronológicamente en tres fases sucesivas (del Campo *et al.* 2009a):

- En un primer momento se evalúan los aspectos relacionados con la calidad funcional de la planta y con los trabajos de ejecución de la obra, lo cual permite dar criterios objetivos para valorar la responsabilidad del contratista en los resultados de la repoblación.
- La siguiente fase contempla el seguimiento a corto plazo del éxito de la restauración (proceso de arraigo), que será útil, por ejemplo, para establecer la influencia de una meteorología adversa;
- Por último, el análisis de los resultados a largo plazo permitirá analizar el logro de los objetivos de la repoblación, y mejorar la técnica repobladora empleada en las condiciones propias de una actuación particular.

Este capítulo está más orientado al seguimiento integral que a los controles de calidad específicos, si bien para exponer mejor la totalidad del proceso, se mencionan superficialmente los controles de calidad del proyecto (ver capítulo 12) y de los materiales forestales de reproducción (ver capítulo 17), y se incide en particular en el control de la ejecución de la obra de repoblación.

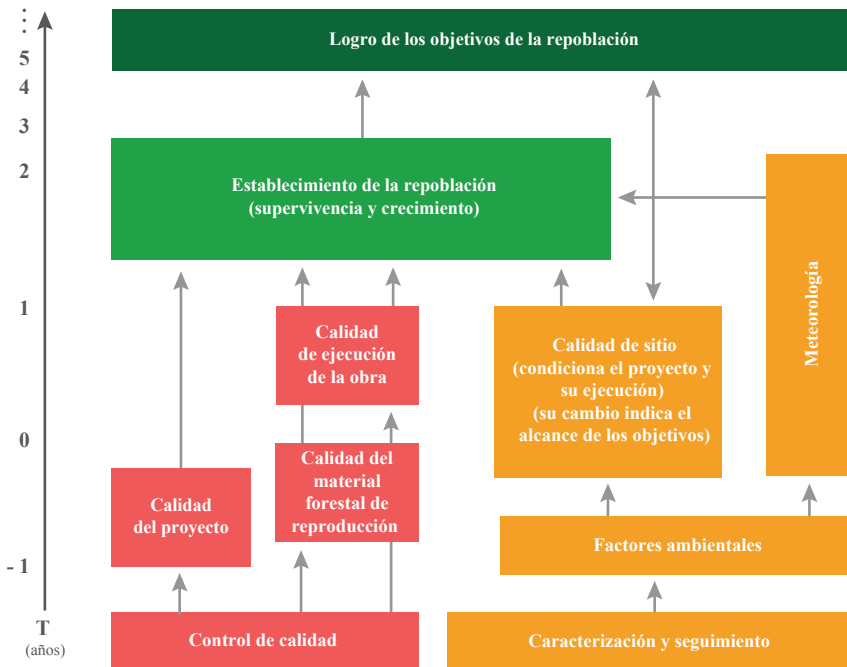


Figura 25.1. Representación esquemática de los elementos que conforman un control integral de repoblaciones forestales y sus relaciones mutuas (la escala temporal en la izquierda se centra en el momento de la ejecución de la obra y es aproximada) (modificado de del Campo *et al.* 2009a).

2. Control sobre el proyecto y la calidad de planta

2.1. Control de calidad del proyecto

Se trata de revisar una serie de decisiones clave tomadas en el proyecto de repoblación. Serrada *et al.* (2005), proveen una lista detallada de criterios de valoración que ayudan a eliminar subjetividad de este control. La tabla 25.1 muestra los criterios que deben utilizarse.

No obstante, cabe decir en este punto, que aunque los criterios enumerados en la tabla 25.1 ayudan a quitar subjetividad a la valoración, es frecuente que en numerosas ocasiones surjan dudas o diferentes opiniones respecto a algunas de las decisiones tomadas en el proyecto, sin que ello implique una calidad deficiente del mismo. Por ejemplo, la asignación de una especie o grupo de especies a un rodal con una calidad de estación determinada, la elección de determinados cuidados culturales, las características de la calidad de planta establecidas en el pliego de condiciones, etc., pueden ser elementos susceptibles de discusión técnica. En este sentido, es muy conveniente la instalación de parcelas experimentales (véase punto 3.1.1) incluidas en la propia repoblación y ejecutadas simultáneamente que permitan contrastar distintas hipótesis en estos casos de duda o desacuerdo con alguna/s de las decisiones tomadas en proyecto. La utilidad de estas parcelas va mucho más allá de este objetivo, pues no sólo permitirán cuantificar el efecto positivo o negativo de una determinada medida tomada en el proyecto, sino que sobre ellas pueden recaer otras muchas determinaciones para el conjunto de la repoblación tales como el seguimiento meteorológico, seguimiento permanente de la repoblación, etc. y en última instancia contribuirán decisivamente a la información más concluyente sobre cómo mejorar la técnica repobladora.

2.2. Control de calidad de los materiales forestales de reproducción

La calidad de la planta mide varios aspectos relacionados con su genética, morfología, fisiología y biología. Buena parte de estos aspectos varían según el uso que se vaya a dar a la planta y las necesidades del usuario, por lo que es preciso establecer dicho contexto. En este sentido se pueden considerar dos partes en el control de calidad de la planta:

- **Control de calidad funcional**, relacionada con el contexto de uso y usuario de la planta. Pueden no estar definidos algunos de estos criterios y la planta ser aceptable para repoblación. Se distinguen:
 - Control genético (procedencias)
 - Control de atributos materiales y de respuesta (criterios cuantitativos)
 - Calidad biológica (micorrizas y enfermedades)
- **Control de calidad comercial**, relacionada con la presencia de defectos o daños por mal manejo o cultivo (criterios cualitativos). Estos defectos excluyen definitivamente a las plantas y, aunque pueden ser subjetivos, deben ser siempre considerados, independientemente del destino o uso que se vaya a hacer de la planta.

Este apartado se trata específicamente en el capítulo 17 de este libro. Al igual que se ha comentado en el punto anterior, la instalación y el seguimiento de parcelas experimentales

Tabla 25.1. Resumen de los criterios de valoración de una buena actuación en la toma de decisiones de un proyecto de repoblación (modificado de Serrada *et al.* 2005 y Dougherty y Duryea 1991).

Decisiones estratégicas para el proyecto de repoblación	Criterios de valoración de la calidad
División en rodales de repoblación	Estudio fisiográfico, climático y edáfico con interpretación de sus resultados analíticos. Estudio de la vegetación actual.
Propuesta de un objetivo preferente para la repoblación forestal de un rodal	Planificación forestal del entorno. Estudios de calidad de estación y de estados erosivos. Formulación de objetivos concretos, manteniendo la idea de multifuncionalidad.
Identificación de especies, incluso ecotipos, compatibles con la estación	Estudio climático. Estudio edáfico e interpretación de resultados analíticos. Conocimiento suficiente de la autoecología y rasgos funcionales de las especies forestales.
Elección de la composición específica de la repoblación	Evolución de la composición, según tratamientos, hasta el turno y en etapas intermedias. Selvicultura. Definición de los porcentajes de mezcla y del modelo de distribución en masas mixtas. Diferenciación entre especies con carácter de principal o dominante y de las acompañantes o subordinadas. Definición del origen y procedencia del material forestal de reproducción
	Parcela experimental de contraste de especies y lotes de planta
Densidad y marco iniciales	Atender, con preferencia, a criterios selvícolas. Espesura suficiente al servicio de la diversidad genética.
Método de repoblación	Comprobar la oportunidad de ambos métodos. En caso de elegir la siembra, definir la protección para evitar la predación de la semilla.
Desbroce	Justificación de que es necesario. Definición según extensión, selectividad, modo de ejecución y forma de afectar al matorral.
Preparación del suelo	Estudio edafológico completo. Definición de objetivos para esta tarea. Definición según extensión, acción sobre el perfil, modo de ejecución y profundidad. En ambientes mediterráneos valorar el efecto hidrológico.
Elección del tipo de planta	Técnica de cultivo: raíz desnuda o envase. Calidad: genética; morfológica; fisiológica; y biológica. Definir actuaciones para el mantenimiento de la calidad en la manipulación.
Plantación	Determinar campaña acorde a las exigencias de la estación.
Instalación de protectores	Justificar en todo caso su necesidad. Elección del tipo adecuado (mallas cinegéticas, mallas de sombreado, tubos invernadero). Determinar las características del material (altura, color, sección, perforaciones, etc...). Prever la retirada en plazo adecuado.
Reposición de marras	Fijar porcentaje admisible.
Podas de guiado y resalveos	Justificar objetivos y eficacia en la morfología de las plantas.
Acotado al pastoreo	Normas e instalaciones eficaces.
Tratamientos de mejora en desarrollo	Prevención de incendios. Claras, desbroces y podas en tiempo y con modo oportunos.
Factores limitantes	Identificación de los factores limitantes de la repoblación para alcanzar los objetivos propuestos.
Costes y beneficios	Evaluación de los costes de repoblación y los beneficios en función de los objetivos alcanzados.
Control de calidad	Previsión de un control de calidad y seguimiento de la repoblación con el fin de conocer la consecución o no de los objetivos y sus causas.

en la propia repoblación van a ser extremadamente útiles para contrastar distintas calidades funcionales y aportar una información muy valiosa sobre el papel de la calidad de planta en los resultados de arraigo de la plantación.

3. Control en la ejecución de los trabajos

3.1. Aspectos prácticos sobre muestreo de repoblaciones

3.1.1. Tipo de parcelas

El seguimiento de los trabajos de restauración requiere un control global de la supervivencia y crecimiento de las plantas establecidas. El objetivo de este control es ver la adecuación de las actuaciones y de la ejecución de los trabajos, así como saber la razón de las marras (si estas aparecen) y a que causa pueden ser imputadas: circunstancias externas (meteorología, etc.) o derivadas de la obra. En este sentido, la parcela de muestreo es una unidad fundamental del citado control y seguimiento. De forma genérica, podemos establecer tres tipos de parcelas en función de la finalidad con la que se establecen: parcelas de certificación, control y seguimiento, parcelas de contraste y parcelas experimentales (figura 25.2).

Parcelas de certificación-control-seguimiento de la repoblación

Son las más numerosas pues se establecen con el criterio de recoger toda la variabilidad espacial del área repoblada y cuantificar las distintas características y variables de la obra realizada. Su finalidad es doble. En un primer momento, sirven como parcelas para la certificación provisional de los trabajos mediante un muestreo sistemático de las variables de ejecución de la repoblación (preparación del terreno, densidad de la preparación, profundidad de los hoyos, densidad y composición específica de la plantación, etc.); y posteriormente, son las parcelas sobre las que recae el seguimiento de la repoblación a lo largo del tiempo (crecimiento y supervivencia). También son la principal fuente de información para la caracterización y seguimiento de la mayoría de las variables ecológicas de interés (variación espacial de la profundidad del suelo y la calidad de estación, seguimiento temporal de la humedad del suelo, inventarios florísticos, etc.). La distinta naturaleza de las parcelas de certificación (donde prima controlar la ejecución de la obra) y las de seguimiento (donde prima el seguimiento del arraigo de la plantación) hace que a veces las segundas se establezcan como una submuestra de las primeras (Segura Orenga 2011). Estas parcelas son las más importantes en número y se extienden regularmente por toda la superficie repoblada. Se establecen por la dirección de obra y/o la asistencia técnica de control de calidad de la obra, dentro del área ejecutada por la contrata.

Parcelas de contraste

Su finalidad es aportar información veraz para contrastar los datos arrojados por las parcelas de certificación-control-seguimiento. Se ejecutan con presencia de dirección de obra, que se personará durante la ejecución completa de las mismas, y su número es inferior a las anteriores (normalmente un 15% de las anteriores con un mínimo de 3-5 por rodal). Sirven como referencia común para las distintas partes (contrata, dirección

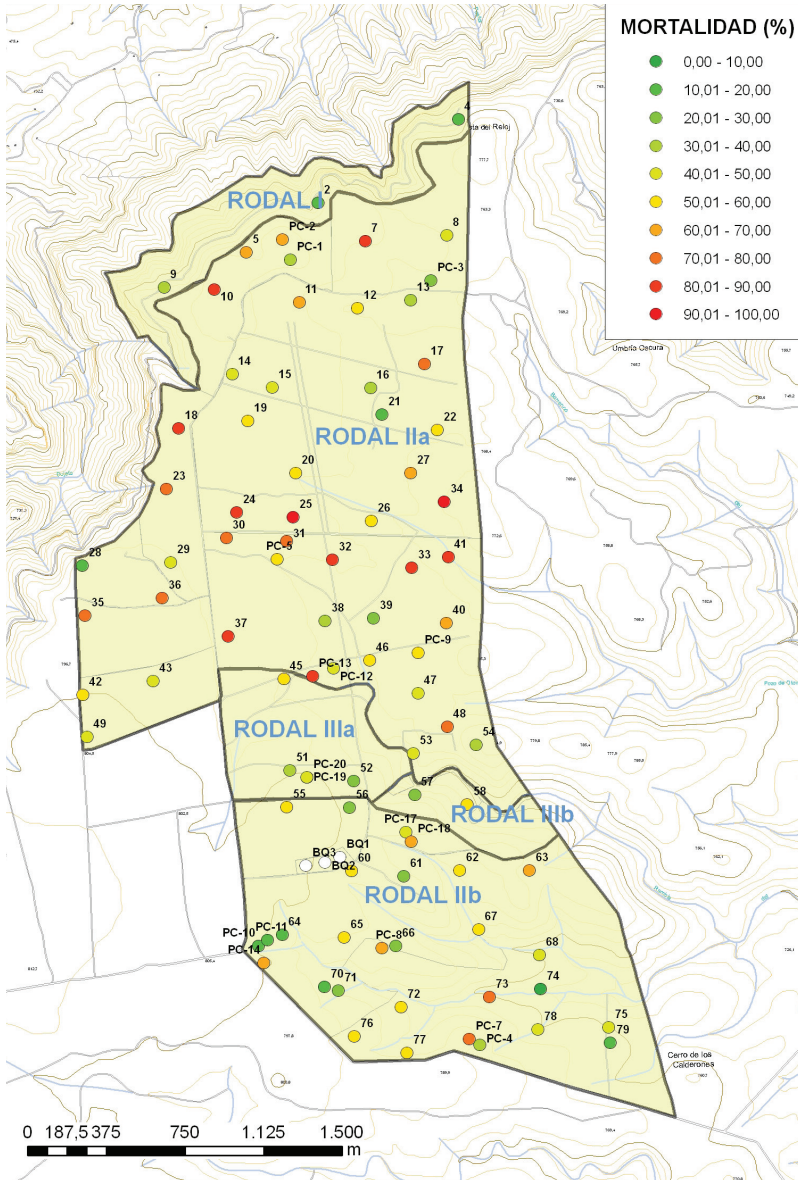


Figura 25.2. Ejemplo de parcelas de muestreo sobre las que se presentan los datos de mortalidad al segundo año para una repoblación forestal realizada en la provincia de Valencia. Se representa una red de 79 parcelas de control-seguimiento (que son una sub-muestra de un total 138 parcelas de certificación de la obra), 21 parcelas de contraste (PC-#) y tres bloques o repeticiones de una parcela experimental ubicada en una zona representativa de la superficie repoblada (en blanco, BQ-#) (fuente: Segura Orenga 2011).

técnica, dirección facultativa y asistencias técnicas) de lo que es una ejecución correcta acorde al proyecto y a las posibilidades reales de la estación. Sirven por tanto para valorar, objetivamente, la ejecución de la obra. La distribución de estas parcelas se realiza teniéndose en cuenta la distribución y características de los diferentes rodales de actuación y su seguimiento es igual al de las parcelas de certificación-seguimiento.

Parcelas de experimentación

Dentro de la superficie de repoblación se pueden establecer parcelas de experimentación cuya finalidad principal es la de realizar ensayos de naturaleza más científica para contrastar distintas opciones o alternativas tales como calidades de planta, especies, tratamientos culturales (por ejemplo, uso de tubo protector), etc. Se usan frecuentemente para tener un mejor conocimiento de la respuesta al establecimiento de los distintos lotes de planta (dentro de una misma especie y entre varias especies) usados en la repoblación bajo unas condiciones controladas de ejecución y de estación (Navarro-Cerrillo *et al.* 2001b; Segura Orenga 2011), lo que da información sobre si se ha acertado en la elección de la composición de la repoblación y también en las respuestas de las distintas calidades de planta plantadas en la repoblación. Se trata, por tanto, de un elemento importante del control integral dado que elimina incertidumbre sobre el efecto de la calidad de planta (u otro factor cualquiera) en la repoblación y por tanto se puede conocer que parte de la mortalidad puede ser atribuida a ella. Estas parcelas se suelen establecer en una zona representativa de la repoblación, que sea fácilmente accesible y procurando hacer varias réplicas o repeticiones dentro de la parcela que garanticen la robustez estadística de los resultados que de ellas se desprendan (ver anexo 18.1). Quedan pues al margen del muestreo sistemático general de la repoblación.

3.1.2. Zonificación y tipo de muestreo

La unidad básica de repoblación es el rodal, que corresponde, en el proyecto, con unidades de características más o menos homogéneas, tanto ecológicas como de actuación (Pemán y Navarro-Cerrillo 1998; capítulo 9 y 11). El replanteo de los rodales de repoblación sirve para recoger toda la información, tanto gráfica (coordenadas, fotografías, etc.), como temática (bases de datos asociadas) de cada una de las unidades de ejecución de los trabajos de restauración. El correcto levantamiento de los rodales es de vital importancia para el desarrollo posterior de las obras, ya que la interpretación de cada etapa del proyecto se apoya en el análisis de cada unidad de obra propuesta y su adecuación en la ejecución de la misma.

La división territorial del monte en rodales es, por tanto, la base para el muestreo y establecimiento de las parcelas, lo que además facilitará la recogida y tratamiento de los datos. Establecidos los rodales, el siguiente paso es el diseño de un muestreo que identifique en su interior a las parcelas de muestreo, en las que se medirán las variables principales del estudio (figuras 25.2 y 25.3). Para ello se parte de un muestreo sistemático utilizando parcelas circulares de superficie fija (Torres y Magaña 2001). La ventaja de estas parcelas es su facilidad de instalación y marcaje (un solo punto) si bien en repoblaciones, con disposición de pies en filas y columnas, se pueden replantar parcelas rectangulares con un número fijo de pies, conociendo siempre su superficie para luego posibilitar

extrapolaciones al resto del área repoblada. Las parcelas de muestreo irán ubicadas en los vértices de una malla imaginaria de lado “1” metros, que se calcula como la raíz cuadrada del cociente entre el área de la plantación o rodal, en metros cuadrados, y el número de parcelas (véase punto 3.1.3). Mediante un SIG se obtienen las coordenadas de los puntos generados, se introducen en un GPS y se crea una ruta de muestreo con todos los puntos georreferenciados. El punto elegido como inicio de la cuadrícula, que debe ser al azar, se marcará en el terreno mediante un sistema permanente que garantice su localización posterior. Es importante remarcar que la elección de este punto sea aleatoria.

Una vez en el terreno, en cada uno de los puntos se replantea la parcela circular (o en su caso rectangular) con radio variable (normalmente 11-20 metros) dependiendo de la densidad de plantación y la intensidad de muestreo. Una vez situados en el punto que define el centro de la parcela, se marca con una estaca de madera con inscripción del número de parcela (si la parcela va a ser permanente será preciso un marcaje duradero); por medio de una cinta métrica con un extremo fijado en la estaca y desde el otro extremo se describe una circunferencia con el radio escogido. También se puede hacer por medio de un medidor de distancias tipo VERTEX IV©, lo que resulta más cómodo si existe vegetación arbustiva o arbórea que dificulte el tránsito.

3.1.3. Intensidad del muestreo

La intensidad de muestreo o superficie a muestrear es variable dependiendo sobre todo de la superficie total de repoblación o del rodal y de su heterogeneidad, pero se considera adecuado un rango del 1-5% de la superficie en la mayoría de las situaciones. La tabla 25.2 da una aproximación de la intensidad de muestreo según Murillo y Camacho (1997). No obstante, en condiciones muy homogéneas de estación (y de repoblación) y grandes superficies, estas intensidades podrían bajarse ligeramente.

Tabla 25.2. Intensidad de muestreo según la superficie del área a muestrear.

Tamaño del rodal o plantación (ha)	Intensidad muestreo (% del área total)
1-3	5
3,1-6	4
6,1-10	3
10,1-20	2
20,1-50	1,5
>51	1

Fijada la intensidad de muestreo, es preciso determinar cómo va a distribuirse la superficie a muestrear en la matriz de la superficie ejecutada, es decir, qué tamaño de parcela de muestreo se va a escoger, lo que en consecuencia genera el número de parcelas a establecer. En general, a menor densidad de plantación, mayor tamaño de parcelas y menor su número (tabla 25.3). Además, en repoblaciones (o rodales) pluriespecíficos (> 4 especies), sólo se considerarán radios a partir de 18 m.

Tabla 25.3. Tamaño de parcela según densidad de plantación.

Densidad plantación (plantas ha ⁻¹)	Superficie parcela (m ²)	Radio cálculo (caso parcela circular) (m)
>1100	380,13	11
851-1100	530,93	13
701-850	615,75	14
551-700	804,25	16
400-550	1018*	18 ¹
< 400	1257*	20 ¹

¹ En repoblaciones (o rodales) pluriespecíficos (> 4 especies), sólo se considerarán radios a partir de 18 m.

Con lo anterior, el número de parcelas a establecer se obtiene de dividir la superficie de muestreo (tabla 25.2) entre la superficie de la parcela escogida (tabla 25.3) y redondeando siempre al número entero superior:

Número de parcelas = superficie total a muestrear / superficie de la parcela de muestreo

En cualquier caso, el radio de la parcela debe ser corregido con la pendiente del terreno para que la superficie real muestreada se corresponda con la proyección ortogonal de la superficie de cálculo (tabla 25.4), luego,

$$Radio_{\text{corregido}} = Radio_{\text{cálculo}} / \cos \alpha ,$$

siendo:

α el ángulo de la pendiente en radianes (que debe medirse en el punto con un clisímetro o similar).

Además, este radio debe corregirse sólo en la dirección de la pendiente y no en sus secciones transversales.

Tabla 25.4. Corrección del radio de la parcela de muestreo según radio de cálculo y pendiente del terreno.

Pendiente	%	15	25	35	45	55	65	75
	°	8,53	14,04	19,29	24,23	28,81	33,02	36,87
Radio cálculo (m)	Radio corregido según pendiente (m)							
12	12,14	12,37	12,72	13,17	13,69	14,31	15,01	
15	15,18	15,46	15,90	16,46	17,12	17,89	18,77	
18	18,21	18,55	19,08	19,75	20,54	21,47	22,52	
20	20,24	20,61	21,20	21,95	22,83	23,86	25,03	

Debe indicarse que lo dicho hasta aquí es para hacer un muestreo integrado de varias variables (por ejemplo, preparación del terreno, densidades, mortalidad, etc.). El estimador de la media poblacional de la variable de interés (para todo el rodal) se obtiene a partir de las medias obtenidas en n parcelas de muestreo, es decir, se obtiene a partir de una población de medias (la varianza de la población de medias correspondiente a las n parcelas será $1/n$ la varianza de la población). Si para alguna variable concreta se necesitara realizar un muestreo *ad hoc*, las intensidades de muestreo pueden calcularse, alternativamente, en función de la varianza de esa variable y del error máximo admisible, para un nivel de confianza deseado (de acuerdo al estadístico t). Conocer la variabilidad de la población en la variable de interés, suele requerir de un *muestreo piloto* para estimar su varianza o bien obtenerse de estudios previos.

En este caso, el número de parcelas o tamaño de la muestra por rodal (n_r) para una variable determinada se calcula por:

$$n_r = (t^2 \cdot S_y^2) / \varepsilon^2$$

donde:

n_r es el número de parcelas a realizar en el rodal, S^2 es el estimador de la varianza de la variable de interés, ε es el error máximo admisible en las mismas unidades que la variable de interés, t es el valor de Student para el nivel de confianza del 95% y un número muy grande de grados de libertad (>100).

El error de muestreo comúnmente referido en estudios y pliegos de condiciones es del 10%. Para variables discretas, el tamaño de la muestra por rodal (n_r) se calcula (con fracción de muestreo $<0,05$):

$$n_r = 4(p \cdot q) / \varepsilon^2$$

donde:

p representa la proporción de plantas con la característica de interés (por ejemplo, plantas vivas) y $q=1 - p$.

Se suele aplicar la opción más desfavorable $p = 0,5$ que hace mayor el tamaño muestral. Para el nivel de confianza del 95% y un número muy grande de grados de libertad (> 100), el valor de la t de Student es 1,96; se suele tomar 2 (luego $t^2 = 4$ en la expresión).

Independientemente de esto, hay que tener en cuenta que sobre la red de parcelas se pueden medir numerosas variables de naturaleza muy diferente, por lo que es conveniente diseñar un muestreo que sea lo más polivalente posible. Por ello, puede ser aconsejable, como ya se ha dicho, fijar una intensidad de muestreo en el rango del 1-5% de la superficie, que sea suficientemente amplio como para recoger un tamaño de muestra adecuado en la mayoría de las variables, frente a emplear un muestreo basado en la varianza de una única variable particular. Por ejemplo, para estimar supervivencias se aconseja que el número de plantas a medir no sea demasiado bajo (tablas 25.5 y 25.6).

En cualquier caso, toda estimación de una variable debe ir acompañada siempre con los estadísticos de tendencia central y de dispersión comúnmente empleados en la estadística descriptiva (número de casos, media, desviación estándar, mediana, máximo, mínimo,

etc.). Además, puede ser apropiado representar un gráfico de frecuencias de la distribución de cada variable muestreada.

En caso de que haya que muestrear dentro de la parcela (por ejemplo, si además de la supervivencia o las dimensiones de los hoyos se desea descalzar la planta para observar la colocación del cepellón, esta labor se realizará sólo en una muestra de hoyos dentro de la parcela en cuestión), este muestreo se realiza en puntos equidistantes que caigan sobre circunferencias concéntricas a partir del punto central.

Tabla 25.5. Número esperado de plantas en parcelas de diferentes tamaños de acuerdo a la densidad de plantación (en negrita, muestra recomendada) (fuente: Torres y Magaña 2001).

Densidad de plantación (m × m)	Tamaño de la parcela (m ²)						
	50	75	100	200	300	500	1000
1 × 1	50	75	100				
1,5 × 1,5	22	33	44	88	133		
2 × 2	12	18	25	50	75	125	
2 × 2,5	10	15	20	40	60	100	
2,5 × 2,5	8	12	16	32	48	80	
2,5 × 3	6	10	13	26	40	66	133
3 × 3	5	8	11	22	33	55	111
3 × 3,5	4	7	9	19	28	47	95
3 × 4	4	6	8	16	25	41	83
3,5 × 3,5	4	6	8	16	24	40	81
3,5 × 4,5	3	5	7	14	21	35	71
4 × 4	3	4	6	12	18	31	62
4 × 4,5	2	3	5	10	15	25	50

3.2. Control de la ejecución de las obras

El objetivo del control de la ejecución de la obra es ver la adecuación de las actuaciones previstas y de la ejecución de los trabajos, lo que permitirá, en caso de existir marras, determinar si éstas pueden ser imputadas a una ejecución deficiente de la obra, a los materiales empleados y/o a otras causas.

Este control se realiza durante el transcurso de las obras en el monte y sirve para determinar aspectos claves como la calidad de la preparación del terreno o la calidad de la plantación. La calidad de ejecución se basa en dos elementos complementarios, el diario de obra, donde se recoge lo relativo a movimiento de planta, actuaciones, fechas, restricciones o incidencias meteorológicas, calendarios, personal, etc., y el muestreo de la obra sobre el terreno, en el que además, se registran otros datos como supervivencia, crecimientos, calidad de estación, etc. Del cruce de ambas informaciones se obtendrá información suficiente como para diagnosticar la calidad de la ejecución de la obra; por ejemplo, las fechas exactas de plantación de cada zona (figura 25.3).

Tabla 25.6. Resumen de indicadores y características del muestreo llevado a cabo en diferentes montes repoblados en los años 2006-2008 en la provincia de Valencia (*: Repoblación mixta incluye rodales de repoblación convencional, otros de enriquecimiento de frondosas bajo cubierta de pinar y otros de densificación de montes claros) (del Campo y Segura 2009b, c).

Monte - Tipo de repoblación	Superficie repoblada (ha)	Densidad de plantación (pies ha ⁻¹)	Número de parcelas	Superficie de la repoblación / parcela (ha)	Superficie muestreada (%)	Rango de radios (o lados) de las parcelas (m)	Rango de superficie de las parcelas (m ²)
V1002-Mixta*	160,6	200-800	18	8,92	1,09	15-20	707-1257
V1008-Repoblación	27,3	1250	6	4,56	1,18	12-15	452-707
V1009-Bajo cubierta	199,4	800	23	8,67	0,82	15	707
V1011-Rest. Ribera	2,2	100-600	3	0,74	8,57	(32x15)-15	480-707
V1046-Repoblación	43,8	1000	17	2,58	1,91	(30x10)-15	300-707
V1050-Rest. Ribera	16,6	200	5	3,32	3,86	(30x22)-22	660-1520
V1051-Rest. Ribera	6,7	200	4	1,68	2,69	12	452,4
V1073-Repoblación	80,3	350-800	19	4,23	1,44	12-18	452-1018
V1012-Mixta	434,6	400-1000	31	14,02	0,73	(42x9)-24	378-1810
V1016-Repoblación	148,0	800-1000	17	8,71	0,96	15-18	707-1018

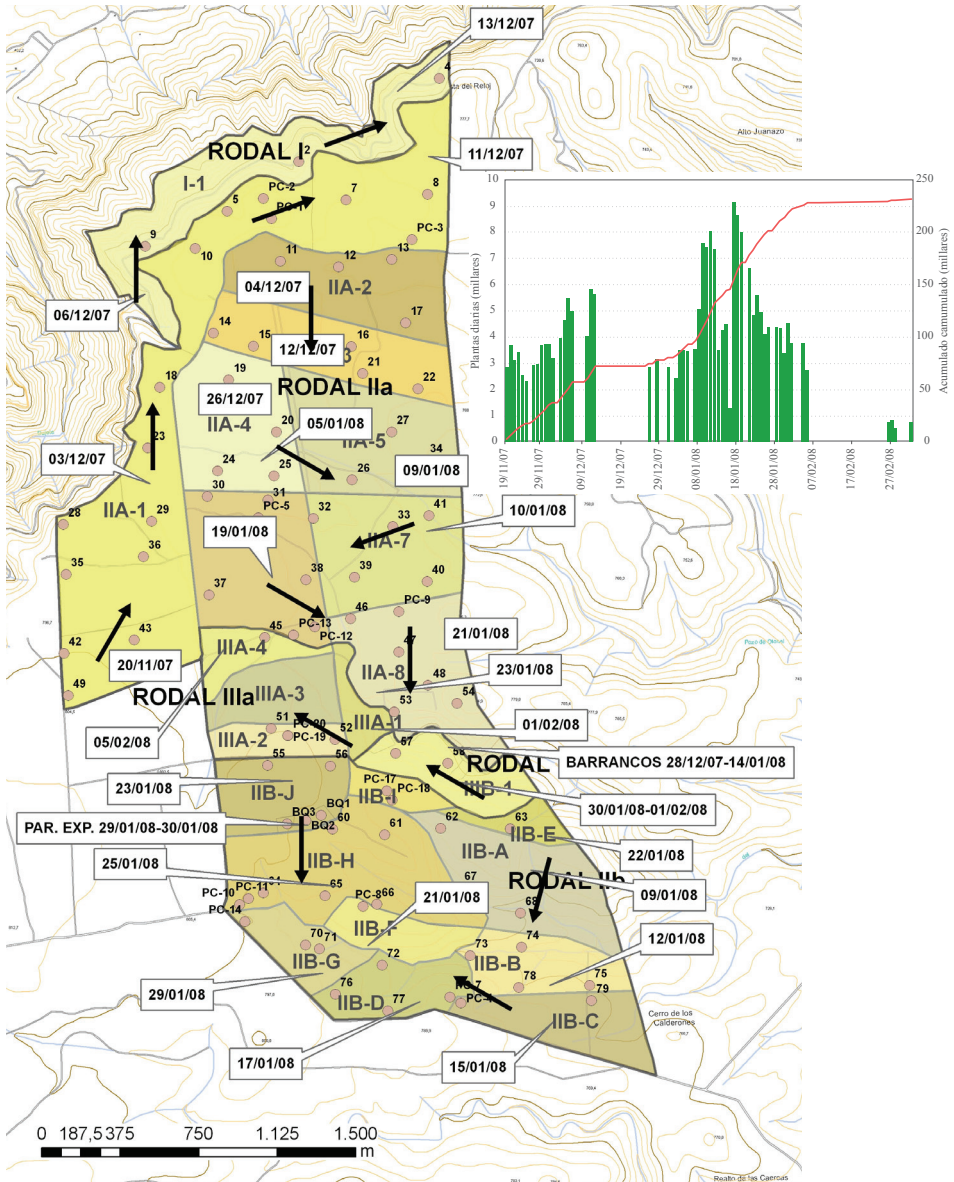


Figura 25.3. Evolución de la plantación a lo largo de la campaña 07-08 en una repoblación efectuada en la provincia de Valencia a partir de la información contenida en el diario de obra. Las fechas negras indican el sentido de la repoblación y la gráfica insertada el ritmo diario de plantación. Obsérvese el parón de la plantación en diciembre del 2007 como consecuencia de la falta de lluvias y de tempero en el suelo (modificado de Segura Orenga 2011).

3.2.1. Diario de obra

La ficha de control de obra o diario de obra es un material en soporte papel (tipo a la tabla 25.7) o digital en el que se registra diariamente, con resumen semanal, la marcha de los trabajos en lo referente al avance de los tajos, restricciones o incidencias meteorológicas, modificación del calendario, incidencias con el personal, superficies plantadas, etc. Este diario de obra debe ser realizado por la asistencia técnica de control de calidad de obra y supervisado por la dirección de obra; es decir, debe realizarse por un actor independiente de la contrata que ejecuta la obra, aunque con apoyo de ésta. La información básica que debe contener se refiere a la trazabilidad de las plantas, a la marcha de los trabajos de acuerdo con lo programado y a las incidencias externas de tipo meteorológico.

Trazabilidad de la planta

Es necesario mantener una adecuada manipulación de la planta desde el vivero al rodal, proceso que muchas veces es poco vigilado y puede ser origen de diferentes causas de estrés en la planta (Stjernberg 1997; McKay 1997) (ver capítulos 16 y 17). Una vez la planta ha sufrido un estrés severo durante el manejo previo a la plantación, la capacidad de supervivencia se ve notablemente limitada (Tabbush 1987). Los errores en este punto se manifiestan, muy frecuentemente, en el fracaso de la repoblación por causa de una alta mortalidad inicial o un desarrollo inadecuado.

La mencionada ficha debe contener información detallada de la planta recibida en el monte, sus condiciones de mantenimiento y la localización del lugar de plantación. Se hará, por tanto, un control del transporte y puesta en monte de la planta (embalaje, transporte, descarga y almacenamiento) y de su manejo durante la plantación (distribución de la planta entre las brigadas de plantación, manejo de los cepellones durante la distribución y la plantación, exposición de los cepellones al aire en los tiempos de espera durante la distribución y la plantación y tiempos de espera en cada una de las operaciones). Al final, para cada lote de planta es necesario tener su trazabilidad completa, lo que supone conocer: i) la hora y día de salida del vivero y del día que llegó al monte, ii) los posibles percances sufridos durante su transporte y descarga, iii) documentación oficial del lote de planta (pasaporte fitosanitario, acta de recepción, etc.), iv) las condiciones ambientales del aviveramiento (luz, temperatura, riego, etc.) y su duración, v) el día de plantación, vi) la cuadrilla de plantadores, vii) si la planta recibe un riego a saturación antes de ser plantada (mismo día) y el tiempo que queda expuesto el cepellón antes de plantarse, y viii) la localización de ese lote en el monte.

Avance de los trabajos y adecuación a lo establecido en la programación

La dirección de obra y asistencias técnicas deben procurar, en todo momento, efectuar el replanteo de acuerdo a los diseños establecidos en el proyecto. La comprobación del replanteo debe incluir, como mínimo:

- Localización de los distintos rodales de repoblación.
- Trazado aproximado de vías de acceso a la repoblación con puntos de referencia,
- Emplazamiento de pequeñas obras complementarias.
- Ubicación aproximada de parcelas de contraste (a realizar con posterioridad).

Tabla 25.7. Ejemplo de estadillo para información contenida en el diario de obra.

Estadillo de recogida de información			
Información general	Fecha	Nombre del técnico	Nombre del técnico responsable)
	15/11/2008		
	Especie	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Quercus faginea</i>
	Lote o partida (código id.)	Lote 1-Vivero A	Lote 6-Vivero B
	Fecha y hora de llegada al monte	11/11/2008	15/11/2008
	Mantiene la calidad comercial	Parte del 11-11-08	Si
	Pasaporte fitosanitario, acta recepción y otros documentos	idem	En orden
	Percances durante transporte y/o descarga	idem	Bandejas mal apiladas (sin deterioro en plantas)
	Condiciones aviverado: exterior, almacén, umbráculo, etc.	idem	Almacén cerrado (poca luz)
	Condiciones aviverado: riego	Suficiente	Suficiente
	Condiciones aviverado: duración en días	4	2
	Fecha plantación	15/11/2008	15/11/2008
	Tiempo de exposición cepellones antes de plantar (minutos)	<2	<2
	Rodal y localización del lote en la plantación (con GPS)	Rodal 3a	Rodal 3a
	Tareas en curso	Plantación PIHA (Lote 1 Vivero A) y QUEA (Lote 6 Vivero B) en rodal 3a	Colocación protectores rodal 2b
	Empresa y cuadrilla de plantadores	Forestal SA. Cuadrilla 1 (8 plantadores)	Forestal SA. Cuadrilla 2 (7 plantadores)
	Unidades en la jornada	1800 plantas	600
	Rendimientos	120 plantas/jornal	200 protector/jornal
	Cambios respecto al plan de trabajo (Observaciones)	No	No
	Vientos secos y/o fuertes	Viento ligero y frío del norte que gira del oeste (menos frío) a las 13.00 h	
	Heladas (T mínima y máxima)	Ligera helada (-3 °C por la mañana, 7 °C a las 13 h)	
	Precipitación (lluvia, nieve, granizo)	No	
	Tempero suelo (cuantificar)	Buena. Lectura TDR en zona plantada: media 19% (12 cm superiores)	
	Estado de tareas		No se planta hoy
	Incidencias meteorológicas		

Mientras se van realizando las distintas unidades de obra de la repoblación se van comprobando, de manera cualitativa, las características de las mismas: preparación del terreno, método de repoblación y adecuación a los programas de tiempos establecidos en la programación. Se anotan así las tareas en curso, los rendimientos, las superficies parciales, las modificaciones respecto al plan de trabajo, etc. La superficie ejecutada se determina delimitando superficialmente el área ejecutada mediante GPS (1 m de error), bordeando el contorno de la repoblación o unidades de actuación en su interior, y tomando puntos de manera que se refleje fielmente dicho perímetro. La existencia de áreas no plantadas en el interior del perímetro se puede detectar a partir del muestreo sistemático, debiéndose registrar tanto si caen en una parcela de muestreo como si no. Durante este recorrido de la zona repoblada se puede hacer una verificación visual de las especies, la preparación del terreno, el estado de los protectores, etc., evaluación extensiva, de utilidad para diseñar el muestreo.

Incidencias meteorológicas

Respecto al tiempo atmosférico que acontece durante la ejecución de la plantación, es importante prestar atención a factores críticos como vientos secos o fuertes, heladas, precipitaciones (lluvias, nevadas, granizos, etc.), condiciones de tempero del suelo, etc., que pueden suponer una pérdida de agua en la planta al afectar la temperatura, el déficit de presión de vapor (humedad relativa) o la velocidad del viento (ver capítulo 17). La plantación debe suspenderse en caso de encontrarse alguna variable en condiciones críticas. No hay restricciones para plantar en días nublados y, en días soleados, las mejores horas son las previas al mediodía.

3.2.2. Variables de ejecución obtenidas del muestreo

El muestreo de la repoblación forestal mediante el establecimiento de una red de parcelas de distintas tipología (temporales o permanentes, de experimentación, contraste o control, etc.) es uno de los ejes centrales del control integral de repoblaciones forestales. La información que puede extraerse de esta red es fundamental para cubrir los tres resultados básicos que arrojan el control y seguimiento integral de repoblaciones. En concreto, el muestreo proporciona información sobre: la calidad de la ejecución, la calidad de estación y la evaluación de la mortalidad y del crecimiento de la plantación.

Una vez que la parcela de muestreo queda marcada, se inicia la medida de las variables de interés. Se consideran las siguientes variables, o grupos de variables, que deben cuantificarse en la red de parcelas de certificación-control-seguimiento y de contraste.

Tratamiento previo de la vegetación

La justificación de aplicar este tratamiento, que pudiera no ser necesario, está en la valoración del grado de competencia actual y futura que el matorral presente. Puede ser muy variable e ir desde claras o clareos, en repoblaciones bajo cubierta, hasta tratamientos simultáneos a la preparación. El desbroce debe ser definido, en el proyecto, en función de sus cuatro atributos: extensión superficial; selectividad respecto de algunas especies; forma de afectar al matorral (roza o arranque) y modo de ejecución (Serrada 2000). El desbroce diseñado no reforzará o inducirá fenómenos erosivos y permitirá

que se incorporen a la nueva masa ejemplares de especies preexistentes de interés. Los desbroces en fajas, según curvas de nivel, resultan muy aconsejables en muchos casos para evitar erosión, favorecer el desarrollo de la masa introducida, mantener presencia suficiente de vegetación inicial a efectos de alimentación y cobijo de la fauna, entre otros motivos, aunque presentan influencia paisajística negativa transitoria y reversible.

El control de ejecución del tratamiento de la vegetación preexistente se realiza sobre las parcelas de contraste y de certificación-seguimiento, donde se indicarán las especies afectadas (selectividad), las dimensiones (en caso de que no coincidan con la preparación del terreno), la forma de eliminación de los residuos, altura de corte, etc., es decir, el grado de concordancia entre lo proyectado y lo ejecutado.

Procedimiento de preparación del suelo

Esta actividad siempre es necesaria en la repoblación forestal, aunque su justificación resultara ser, únicamente, acoger la semilla o la planta. Sin embargo, existe una justificación casi constante en las repoblaciones que es la posibilidad y la necesidad de mejorar alguna propiedad edáfica de tipo físico, que mejore la calidad del rodal y posibilite el arraigo de las nuevas plantas y su desarrollo posterior. En este sentido, en ámbitos semiáridos, aumentar la disponibilidad hídrica para la planta, es uno de los principales objetivos de la preparación, circunstancia por la cual las preparaciones deben ser intensas en estos ambientes, respondiendo al famoso principio de Demontzeny (Jordana 1896): de que cuanto “más seco sea el clima y más expuesto esté el terreno a desecarse por su propia naturaleza o por su exposición, tanto más profunda debe ser la labor; único medio de combatir eficazmente los efectos de la sequía”. La preparación del suelo influye en la supervivencia de las plantas instaladas, en particular en climas mediterráneos (Querejeta *et al.* 2001; Castillo *et al.* 2001).

Este procedimiento queda definido en función de sus cuatro atributos: la extensión superficial; la acción sobre el perfil, con o sin inversión de horizontes; el modo de ejecución; y la profundidad (Serrada 2000). La preparación del suelo diseñada cumplirá, en la medida de lo posible, los objetivos de mejora de la profundidad efectiva del suelo, la mejora de la permeabilidad y la anulación de escorrentías, y no resultará inconveniente respecto de ninguna de sus propiedades. Otro aspecto importante es la interacción entre la fecha de plantación y el procedimiento de preparación, que parece indicar que las limitaciones impuestas por la irregularidad de la precipitación después de la plantación pueden verse compensadas por la intensidad de la labor (Navarro-Cerrillo y Palacios 2004). En todas las fechas de plantación estudiadas, estos autores encontraron que el subsolado obtuvo valores de supervivencia muy superiores al ahoyado manual. En esas condiciones, parece que la escasa modificación de las variables ambientales que inducen los ahoyados manuales (Pemán y Navarro-Cerrillo 1998), y el efecto positivo de las preparaciones de cierta intensidad (Querejeta *et al.* 2001), influyen positivamente y de forma significativa en la supervivencia.

El control de ejecución de la preparación del suelo es una de las fases más importantes del control de calidad de la ejecución. Se realiza sobre las parcelas de contraste y de certificación-seguimiento, donde se indicará el número total de hoyos (puede no coincidir

con el número de hoyos plantados) y las dimensiones geométricas de la preparación y del hoyo (ancho × largo × profundidad) usando cinta métrica y barrena. En preparaciones lineales se pueden dar los metros lineales de preparación (largo) y ancho de la misma, distanciamiento medio entre líneas (subsulado, banquetas, etc.) y hoyos (o plantas) dentro de una misma línea; siempre dentro de la parcela de muestreo. Esta información nos dará idea del porcentaje de superficie trabajado en la repoblación y ayudará a contextualizar los rendimientos y costes.

Como se ha indicado, el efecto hidrológico y la creación de microcuencas de la preparación es importante, estando demostrada su influencia en la supervivencia en condiciones de aridez y sequedad (Fuentes *et al.* 2004; Pausas *et al.* 2004). Por ello, es conveniente su caracterización, especialmente si existen microcuencas, para lo cual se puede seguir la propuesta de Martínez y Mongil (2001), es decir, medir: contrapendiente del terreno en el punto de plantación, área de impluvio / área de recepción, altura del resguardo o caballón del alcorque así como su estabilidad y estanqueidad y capacidad del microembalse (volumen alcorque + volumen aire del hoyo) (ver anexo 14.1). Si no hay microcuencas, basta con estimar si la preparación cortará los flujos superficiales y subsuperficiales y los conduce al interior del hoyo y asignar un valor cualitativo (ejemplo, 0: poco probable; 0,5: más probable; 1: evidente).

Diseño de la repoblación: densidad (total y parcial por especies) y marco

La evolución futura de la espesura de la masa, y sus correspondientes tratamientos de mejora, dependen de la densidad y del marco inicial. La función preferente, al final del turno, se consigue si la espesura inicial resultó ser la adecuada; la geometría de las labores de desbroce y de preparación del suelo depende del marco adoptado. Los costes de ejecución y el mantenimiento de la masa también dependen de la densidad y del marco inicial. Por ello, la densidad inicial y la función preferente deben ser concordantes (Serrada 2000). En caso de repoblaciones pluriespecíficas, el estudio de masas mixtas pueden aportar información las densidades, los marcos y la forma de mezcla más conveniente.

Es muy frecuente que los valores de densidad obtenidos del muestreo estén desfasados con relación a los teóricos establecidos en proyecto. En general, una vez finalizado el proceso de ejecución, la densidad de plantación realmente establecida en campo suele ser inferior a la teórica como consecuencia de la propia puesta en obra (replanteo de distancias de plantación, afloramientos rocosos que restan superficie útil, etc.). En ocasiones, la densidad real se calcula como el cociente entre la planta salida del vivero, descontada la planta pérdida por distintos motivos, y la superficie ejecutada, pero es mucho más aconsejable basar la estimación de densidad real en los resultados arrojados por las parcelas de muestreo. En algunos casos de contratación a destajo, pago por número de plantas puestas, se han observado distintas irregularidades de plantadores para “hacer desaparecer” plantas, por ejemplo, plantando dos o más plantas por hoyo o simplemente enterrando varias plantas en el hoyo de plantación (figura 25.4).

Aparte, la aparición de distorsiones entre los valores de densidad de proyecto y reales también puede tener su origen en los errores propios del proceso de toma de datos: errores de localización de individuos por el personal que realiza las mediciones, la mortalidad

inicial, la proliferación de malas hierbas con el paso del tiempo, daños por perturbaciones (inundaciones, arrastres) y distintas labores de mantenimiento (gradeo) (tabla 25.8).



Varias plantas por hoyo.



Enterramiento de plantas en un mismo hoyo.

Figura 25.4. Ejemplos de malas prácticas de plantación para falsear los números cuando los pagos son por planta puesta (fotos: A del Campo).

Tabla 25.8. Discrepancias en la cantidad total de plantas plantadas según distintas fuentes de información en una repoblación del interior de Valencia. En esta repoblación hubo que reducir considerablemente los valores de proyecto por la mala calidad de estación debida a la escasez de suelo.

Especie	Establecido en proyecto	Entrada en vivero de acopio	Plantada según diario de obra	Plantada según muestreos
<i>Pinus pinaster</i>	282412	133380	113095	136970
<i>Pinus halepensis</i>	219640	106964	89124	121864
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>	30143	18100	12943	16006
<i>Quercus faginea</i>	20882	13300	9808	10806
<i>Arbutus unedo</i>	2545	2500	2884	2817
<i>Fraxinus ornus</i>	463	480	489	551
<i>Juniperus phoenicea</i>	6715	2000	1762	1452
Total	562800	276724	230105	290470

Este control se realiza en el interior de las parcelas de muestreo (certificación-control-seguimiento y de contraste) contando todas las plantas e indicando especies y número de plantas por especies dentro de la parcela, lo que permite calcular densidades totales y parciales, caso de existir más de una.

Plantación / siembra

Por motivos de eficacia, para asegurar la supervivencia y la regularidad en la repoblación, y por motivos de logística y, frecuentemente, de economía, el método de repoblación ordinario y habitual es la plantación (ver capítulos 11 y 16). Sin embargo, en algunos casos muy concretos puede resultar indicado repoblar por siembra, como es el caso de los lugares de difícil acceso, cuando se persiguen elevadas densidades o cuando la plantación no está recomendada. Tal es el caso de la encina en ambientes xéricos, donde si bien los resultados de supervivencia son contradictorios, sí se observa un notable descenso del crecimiento en las plantas de encina procedentes de plantación. La razón puede encontrarse en la alteración en el sistema radicular que producen los contenedores forestales reduciendo la longitud de la raíz pivotante a menos de 20 cm, circunstancia que podría limitar enormemente su arraigo y crecimiento en el monte, si la planta no es capaz de recomponer su sistema axonoforo con relativa rapidez antes del período estival (Pemán *et al.* 2006). Otro caso donde las siembras pueden ser recomendables es cuando es muy urgente instalar y favorecer a la población arbórea en áreas extensas, como puede ocurrir tras un incendio en el que no hay posibilidad de regeneración natural, especialmente con especies como pino piñonero, rodeno o carrasco (Castel y Castelló 1996; Domínguez *et al.* 2000).

La plantación se realiza habitualmente mediante la preparación de un hoyo de plantación, que se formará mediante el refinado de la labor de preparación del terreno. El hoyo o cata de plantación se hará formando una plataforma de la cual se eliminarán las posibles piedras, y los terrones que se hayan formado en la preparación con el fin de evitar la aparición de oquedades que puedan, posteriormente a la plantación, dejar espacios abiertos que produzca la desecación de los sistemas radicales.

Las variables relacionadas con la calidad de la plantación se realizarán, en un primer momento, sobre una muestra aleatoria reducida de 5-10 plantas por parcela de muestreo (ubicadas equidistantes en una circunferencia concéntrica a la parcela de muestreo), y sólo si la aparición de irregularidades lo recomendara, se ampliará la muestra, al tratarse de mediciones semi-destructivas (tabla 25.9). Es recomendable determinar: i) la ubicación de la planta en el hoyo o preparación respecto a la recepción de escorrentía; ii) la verticalidad del cepellón en el hoyo (se descubre, cavando, un lateral del cepellón de la planta sin alterar su posición y se mide aproximando a grados: 90° cepellón vertical, 0° horizontal, si el cepellón presenta forma de “L” se toman 45°); iii) integridad del cepellón (relacionado con la calidad de planta y/o un mal manejo en monte; se constatará si el cepellón está desmoronado, casi a raíz desnuda, si el desmoronamiento es parcial o hay aplastamiento, o si el cepellón está íntegro en forma y volumen); iv) enterramiento del cepellón con referencia en el nivel del suelo (0 cm) e indicando la longitud (cm) por debajo (valor negativo) o por encima (valor positivo) de la superficie del cepellón, y v) compactación del terreno en el hoyo (tabla 25.9). Se

ha demostrado que el enterramiento de la planta es contraproducente para el desarrollo de nuevas raíces (Domínguez Lerena *et al.* 2001).

En este control suelen manifestarse los efectos de una deficiente calidad de planta cuando ésta no es extraída fácilmente de los alvéolos, pues los cepellones aparecen desmoronados. Este problema es importante y denota la necesidad de aumentar el tamaño de la planta (mayor duración del cultivo, fertilización, etc.) o bien disminuir el volumen de los contenedores.

Aprovechando la inspección del cepellón en el punto anterior, se puede anotar el grado de actividad radical (por ejemplo, asignando una escala cualitativa según la planta haya o no “movido” raíces). Igualmente se pueden constatar otros daños en la planta por manipulación inadecuada tales como yemas rotas, heridas, etc.

En el caso de las siembras, los parámetros de ejecución a evaluar pueden ser la profundidad de la siembra (cavando suavemente hasta descubrir las semillas); el número de semillas por hoyo, protección o repelente frente a predadores que éstas lleven, etc.

Para los castilletes, alcorques y aporcados, en los casos donde se realicen estos cuidados, se podrá controlar su ejecución mediante un baremo cualitativo (0: ausente o muy deficiente; 0,5: deficiente o parcial; 1: correcto o completo) (tabla 25.9).

Época o campaña de plantación

El periodo o campaña de plantación teórica debe ser fijada atendiendo al clima del lugar, marcando un inicio tras la paralización vegetativa o, en su caso, tras superar intensas heladas invernales si existen, y un final antes de la recuperación de la actividad. La fecha de plantación ha sido considerado uno de los factores de mayor importancia en la supervivencia al final del primer año (Royo *et al.* 2000; Navarro-Cerrillo y Palacios 2004) (ver capítulo 17). En trabajos realizados con especies mediterráneas se ha encontrado que las plantaciones durante el periodo noviembre-enero, parecen asegurar el éxito de la repoblación, pero un retraso excesivo en la fecha de plantación, compromete la supervivencia final, independientemente de la calidad del resto de las labores, en particular del procedimiento de preparación (Navarro-Cerrillo y Palacios 2004). Los resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Royo *et al.* (2000), que encontraron que la época de plantación con elevadas posibilidades de supervivencia (> 90%) para pino carrasco, se extiende desde primeros de noviembre a primeros de marzo en condiciones mediterráneas. La ausencia de intensas heladas invernales y la sequía primaveral de estos climas explican el proceso.

El periodo o campaña de plantación efectiva se obtiene fundamentalmente de los datos del diario de obra, si bien el muestreo puede ayudar a complementar esa información (figura 25.3). Normalmente, las plantaciones se realizan dentro del periodo comprendido entre la segunda quincena de octubre y finales del mes de febrero (a veces hasta marzo). Sin embargo, la irregularidad de las condiciones meteorológicas durante la plantación, obligan en muchos casos a parar los trabajos de plantación (falta de tempero, heladas, inundaciones, etc.). En estas circunstancias el periodo de plantación se ve alterado, dada la imposibilidad de realizar los trabajos, lo

Tabla 25.9. Resultados obtenidos en muestreos de varias repoblaciones forestales realizadas en la provincia de Valencia entre los años 2006 y 2009. Las escalas cuantitativas de 0-1 se corresponden con: 0 ausente o muy deficiente; 0,5 deficiente o parcial; 1 correcto o completo (fuente: del Campo y Segura 2009b y c; Segura Orenga 2011).

Monte	Tipo de preparación	Verticalidad del cepellón (°)	Enterramiento del cepellón (cm)	Integridad del cepellón (0-1)	Crecimiento de la raíz (0-1)	Efecto hidrológico (0-1)	Alcorque (0-1)	Castillete (0-1)	Colocación del protector (0-1)
V1002	Retroaraña	78,20	-2,60	0,75	0,35	0,25	0,45	0,60	
V1009	Mimiretro	77,50	-1,20			0,70	0,40	0,55	
V1012	Retroaraña	66,20	-0,71	0,70	0,50	0,43	0,38	0,88	
	Mimiretro	71,90	-1,68	0,77	0,46	0,13	0,64	0,48	
V1073	Retroaraña	70,40	-0,48			0,38	0,36	0,79	
V1046	Retroaraña	72,90	-0,18			0,85	0,50	0,69	
V1016	Retroaraña	61,60	-2,73	0,69	0,46	0,03	0,32	0,96	
V40	Mimiretro	67,00	-4,10	0,80	0,40	0,25	0,57	0,62	0,85
	Retroaraña	61,00	-5,00	0,53	0,41	0,24	0,73	0,49	0,95
V42	Mimiretro	73,00	-2,50	0,60	0,24	0,47	0,50	0,56	0,99
	Retroaraña	71,00	-3,10	0,90	0,07	0,47	0,49	0,59	
V41	Mimiretro	70,00	-3,50	0,79	0,29	0,06	0,46	0,47	1,00
V59	Mimiretro	74,00	-4,50	0,80	0,34	0,16	0,60	0,48	1,00
	Retroaraña	46,00	-6,20	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	1,00
V1001	Retroexcavadora	73,20		0,95			0,95	1,00	0,95
	Parcela contraste	80,00		1,00			1,00	1,00	1,00

que obliga a una reconsideración de la fecha de plantación si bien en ningún caso se prolongara el periodo de plantación más allá del mes de abril.

Cuidados culturales

Instalación de protectores

La razón más común de su utilización fue inicialmente la protección de la planta frente a los daños ocasionados por el ganado doméstico y cinegético, pero tenía otros beneficios que hizo que su uso se extendiera rápidamente, como era la disminución del coste de aplicación de herbicidas, la reducción del tiempo invertido en la inspección y mantenimiento de la repoblación y la disminución del estrés asociado a la plantación (Potter 1991).

Los tubos invernadero crean un efecto microclimático que, debido a la presencia de un volumen de aire limitado dentro del tubo, inducen un incremento de la temperatura, de la humedad relativa y de la concentración de anhídrido carbónico, unido a una reducción de la radiación y de la acción física (incluso temporal desaparición) del viento (Kjelgren y Rupp 1997; Berger y Dupraz 2000; Navarro-Cerrillo *et al.* 2001a) (ver capítulo 18).

En el control de calidad que se hace en las parcelas de muestreo, se precisa la identificación y caracterización, si no existe en el proyecto, del modelo de tubo o mallas protectora empleado: marca comercial, altura, grado y tipo de ventilación, abocardado de biselado en la boca superior, color y transparencia, diámetro, diseño de la pared interior (espesor, doble, etc.), etc. Muchas de estas características han sido relacionadas significativamente con la respuesta de las plantas en campo (del Campo *et al.* 2006; Puertolas *et al.* 2010; Ceacero *et al.* 2014).

Dentro de la parcela de muestreo se debe cuantificar el porcentaje de plantas sin protector, cifra variable que suele aumentar desde posplantación en adelante por la ocurrencia de vientos fuertes, acción de la fauna, etc. También es importante considerar la correcta ubicación y colocación de los tubos, el efecto del tutor sobre la colocación o caída del protector y el material del tutor, que puede provocar su pudrición a la altura del suelo y caída posterior del protector (figura 25.5).

Se deben controlar, al menos, los siguientes aspectos: tubos con abocardado o vuelo en el extremo superior, y su posición (hay plantadores que colocan el extremo abocardado hacia abajo confundiendo con un sistema de estabilización del tubo); aporcados excesivos del tubo (generan una sombra excesiva y profunda sobre la planta); anclaje, tutor y estabilidad (a veces se embuten los protectores demasiado en el suelo y ello impiden un correcto desarrollo radical); verticalidad del tubo, etc. Estas determinaciones se hacen conjuntamente en las plantas donde se hacen los descalses ($n=5-10$) y se pueden valorar cualitativamente (tabla 25.10) (ejemplo, 0: muy mal colocado, volcado o ausente, 0,5: mal colocado/ubicado, 1: colocación/ubicación correcta).

Fertilizantes, hidrogeles y otros enmendantes

El uso de fertilizantes en repoblaciones no es frecuente en climas mediterráneos y menos aún en la fase de ejecución de la repoblación. La razón fundamental es que los



Mal anclaje.



Descalce por exceso de hidrogel en el hoyo.



Doble tubo por falta de atención al extraerlo.



Excesivo embutido del protector en el suelo.

Figura 25.5. Ejemplos de malas prácticas de colocación de los tubos protectores (fotos: A del Campo).

fertilizantes minerales aumentan la salinidad del hoyo e inducen una mortalidad mayor (Cañellas *et al.* 2004; Pausas *et al.* 2004). No obstante, en climas húmedos y sobre todo a partir del segundo o tercer año, las plantaciones fertilizadas suelen experimentar un mayor crecimiento.

Respecto a los enmendantes, mucho más usados en repoblaciones en nuestro país, el principal tipo utilizado son los hidrogeles y mejorantes de suelo, que son añadidos al hoyo en dosis que oscilan entre los 3 y los 20 gramos. Aumentan la aireación e infiltración del agua en el suelo y su capacidad de retención de agua aprovechable lo que puede ayudar a un arraigo más rápido. Estos productos encarecen el precio unitario de la repoblación y además tienen efectos muy diferentes dependiendo de su calidad, el tipo de suelo y su textura y la dosis empleada (del Campo *et al.* 2011), por lo que es conveniente caracterizar su correcta puesta en obra. Esta determinación sería básicamente cualitativa, de *visu*, y sobre aquellas plantas donde se hacen los descalces (n=5-10) donde se pueda valorar cualitativamente (0: no se observa, 0,5: se observa en exceso o defecto, 1: se observan gránulos en la matriz del suelo o adheridos al cepellón). La adición de otros enmendantes menos comunes como fertilizantes de liberación lenta, compost, lodos, etc., se identificará de *visu* igualmente.

Riego en repoblaciones forestales

Esta práctica puede tener su justificación en las fuertes dificultades para el establecimiento de repoblaciones forestales en clima árido y semiárido, en especial por la escasez de precipitaciones (ver capítulo 21). Esto es particularmente grave cuando hay una necesidad perentoria, según el objetivo de la repoblación, de lograr un porcentaje mínimo de éxito, como por ejemplo en protección de infraestructuras, control de procesos erosivos, etc. En estas condiciones se puede proceder al uso de riego. Los riegos son una práctica frecuente en repoblaciones forestales en clima árido (Gupta 1991), y se ha utilizado en España históricamente en plantaciones en condiciones de fuertes limitaciones hídricas (repoblaciones con “biberón”).

En los últimos años, y en particular dentro de los trabajos de forestación de tierras agrarias, ha aumentado el uso de riego en repoblaciones, bien mediante riego a manta (Navarro-Cerrillo y Martínez 1996), bien mediante micro riego (Sánchez Palomares *et al.* 2004), existiendo ejemplos en la provincia de Cádiz, Granada y Almería. Los resultados obtenidos y otros trabajos en condiciones de clima algo más atenuado, sugieren que el micro riego puede ser una alternativa técnicamente recomendable y económicamente viable, aunque su generalización sigue siendo discutible en repoblaciones forestales.

Control de la vegetación herbácea

Forma parte de los trabajos necesarios para mantener las plantaciones en perfectas condiciones, hasta la recepción final de las obras (ver capítulo 20). Las escardas y binas, eliminan toda la hierba que hay alrededor de las plantas, en un círculo de radio de un metro para brinzales de árboles y treinta centímetros para los matorrales. En estas superficies se suelen entrecavar una profundidad de aproximadamente quince centímetros, dejando la tierra mullida.

En plantaciones sobre terrenos agrícolas, el mantenimiento del suelo en los trabajos de restauración es uno de los trabajos complementarios de mayor importancia, dadas las condiciones de los antiguos terrenos agrícolas (posible contaminación de semillas de especies competidoras, aporte de suelos, etc.), así como la fuerte competencia que la vegetación herbácea puede ejercer sobre las plantas recién instaladas (Navarro-Cerrillo y Saavedra 1997; ver capítulo 19).

4. Seguimiento del éxito de la repoblación

4.1. Seguimiento en los primeros dos años

4.1.1. Variables ambientales

La evaluación y seguimiento de variables ecológicas tiene por objetivo conocer qué variables pueden explicar la distribución espacial de la mortalidad así como la existencia factores que sean limitantes para la consecución de la repoblación.

La importancia de los factores ambientales en el éxito de la repoblación lleva a la necesidad de cuantificar esta influencia cuando se plantean controles de calidad integrales.

Los trabajos de Gandullo y Sánchez Palomares (1994) y Sánchez Palomares *et al.* (2007), han permitido un acercamiento importante a la autoecología de las distintas especies forestales, al cuantificar los rangos de los factores abióticos influyentes mediante un análisis individual de un buen número de ellos (altitud, pendiente, insolación, texturas del suelo, etc.). No obstante, estos trabajos están hechos a macroescala y sobre poblaciones maduras de las especies estudiadas.

Determinadas condiciones de estación favorecen significativamente al establecimiento de las repoblaciones forestales. A escala regional, el clima general de la zona (piso bioclimático) tiene un peso importante en la supervivencia, mientras que a escala local y comarcal, otros factores como la naturaleza de la litología (margas, calizas, areniscas, etc.) y la profundidad útil del suelo (estando ambos a su vez frecuentemente relacionados) suelen ser determinantes. También la orientación, la textura (relacionada con la litología) o el pH (en zonas quemadas) han sido relacionadas con la supervivencia (Alloza 2003). Aunque conocidas, las relaciones entre estos factores y el resultado de la repoblación son difíciles de cuantificar a escala local, de obra, pues es preciso integrar otros factores de ejecución de la obra, de calidad de planta y de climatología para tener una visión completa de todos los factores que determinan el establecimiento de una repoblación.

Se entiende, por tanto, que la evaluación y seguimiento de variables ecológicas debe sustentar y complementar la información obtenida en los otros controles ya mencionados. Por ejemplo, en el levante español, la supervivencia tiende a aumentar a medida que se asciende en el piso bioclimático. Del trabajo de Alloza (2003) se desprende que las repoblaciones en litologías calizas pueden dar entre un 12 y un 30% más de marras que las realizadas sobre litologías de coluvios margo-calizos o que para un intervalo de profundidad de 20-40 cm la supervivencia puede ser del orden de un 14% menor que en el intervalo 40-60 cm.

Se considerarán variables de caracterización de la estación tales como la orientación, la pendiente, la pedregosidad, la profundidad del suelo y la vegetación preexistente (inventarios de vegetación, por ejemplo, mediante el índice de Braun-Blanquet) (tabla 25.10). En repoblaciones bajo cubierta, se medirá ésta mediante un índice de cobertura. Otra variable interesante es la textura del suelo y su contenido en materia orgánica. En la medida de lo posible estos datos se tendrán por cada parcela de control-seguimiento.

4.1.2. Seguimiento de las variables meteorológicas

La irregularidad espacial y temporal de las precipitaciones junto a las temperaturas extremas, dan lugar a que el establecimiento de las plantaciones sea variable entre unos años y otros para unas mismas condiciones de estación, ejecución y calidad de planta. Por ello, es necesario un seguimiento de la evolución de la meteorología antes y después de la plantación para discernir sobre su posible influencia sobre las marras. En cada repoblación se medirá la pluviometría, la humedad del suelo, la temperatura y la humedad relativa para lo cual se dotará de instrumentación de medida oportuna (tabla 25.11). Pueden emplearse *data-loggers*, que se pueden programar para tener lecturas diarias medias de cada una de las variables citadas. Dadas las limitaciones que supone el empleo de este material, se localizará tan sólo en un punto, a lo sumo dos,

que se considere representativo de la superficie repoblada (por ejemplo, en parcelas experimentales, caso de que se hayan instalado). Estas medidas deberían cubrir unos dos años como mínimo, comenzando con la campaña de plantación.

No obstante, en cada una de las parcelas de muestreo, se pueden tomar datos de humedad del suelo en unos 5-10 puntos aleatorios coincidiendo con cada una de las campañas de muestreo del primer año (plantación, control pre-estival y post-estival de supervivencias). Así, además de dar idea sobre la evolución de la humedad del suelo en el primer año de establecimiento, se pueden establecer diferencias entre las distintas parcelas de muestreo.

Para establecer la mayor o menor dependencia de la supervivencia respecto a la meteorología de la campaña, se puede comparar esta con los datos históricos usados en el proyecto, marcando unos umbrales (Gómez-Sanz y Elena-Roselló 1997) (figura 25.6). Otras aproximaciones más empíricas son aquellas que se basan en relaciones estadísticas entre las variables meteorológicas y el resultado de una muestra de repoblaciones (Alloza 2003; del Campo *et al.* 2007). Entre las variables empleadas en estos trabajos, la evapotranspiración acumulada hasta junio, la precipitación estival (junio a agosto incluidos), el periodo seco (definido como el número de días consecutivos con precipitación inferior a 5 mm) y el número de días fríos (T media < 0 °C) y templados (T media 17-22 °C) del primer año de establecimiento, han sido correlacionados significativamente con la supervivencia y alguna otra variable relacionada con el establecimiento.

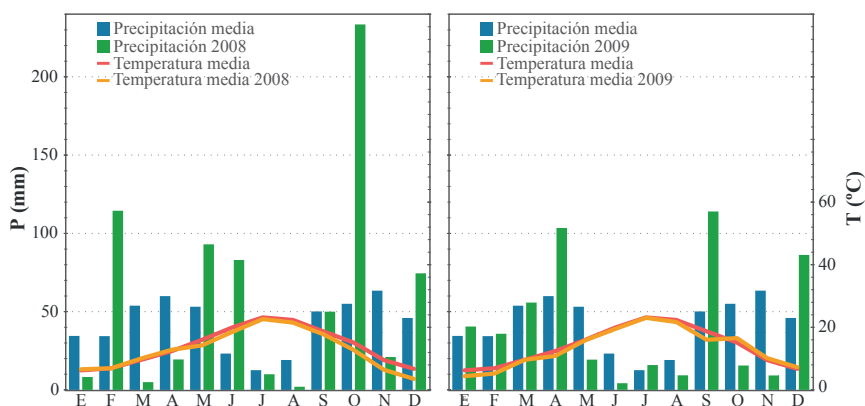


Figura 25.6. Ejemplo de comparación de precipitación y temperatura mensuales entre los valores históricos incluidos en el proyecto y los medidos en la estación meteorológica instalada en la repoblación en la Muela de Cortes (Valencia) durante el período de seguimiento (años 2008 y 2009) (adaptado de Segura Orenga 2011).

4.1.3. Seguimiento de la supervivencia y el crecimiento

El porcentaje de supervivencia, además de reflejar el grado de éxito de la repoblación en sí, permite tener una medida cuantitativa del efecto de las variables de sitio o estación en

Tabla 25.10. Caracterización ambiental de distintos montes/rodales según los resultados del inventario florístico, nivel de madurez de la vegetación, cobertura del terreno y pedregosidad.

Monte	V40	V40	V40	V41	V42
Serie	<i>Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum</i>	<i>Hedero heliis-Querceto rotundifoliae sigmetum</i>	<i>Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum</i>	<i>Rhamno lycioidis-Querceto cocciferae sigmetum</i>	<i>Rhamno lycioidis-Querceto cocciferae sigmetum</i>
Orden, alianza o asociación	Asociación <i>Juniperetum hemisphaerico-thurifera</i>	Asociación <i>Hedero heliis-Quercetum rotundifoliae</i>	Asociación <i>Festuco gautieri-Pinetum salzmanni</i>	Alianza <i>Rhamno lycioidis-Quercion cocciferae</i>	Alianza <i>Rhamno lycioidis-Quercion cocciferae</i>
Descripción	Sabinar mixto supramediterráneo	Pinar de repoblación de <i>Pinus nigra</i>	Pinar de repoblación de <i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus pinaster</i>	Coscojar-enebral con estrato de <i>Pinus halepensis</i>	Coscojar-enebral con estrato de <i>Pinus halepensis</i>
Especies principales	<i>Juniperus thurifera</i> , <i>Erinacea anthyllis</i> , <i>Genista scorpius</i>	<i>Pinus nigra</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Genista scorpius</i>	<i>Pinus nigra</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Juniperus thurifera</i> , <i>Genista scorpius</i>	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Brachipodium retusum</i>	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Brachipodium retusum</i>
Nivel de madurez	5,4	6,2 (regeneración artificial o estado poco maduro)	6,2 (regeneración artificial o estado poco maduro)	6,1	6,1
Cobertura media (%)	70	100	70	80	70-90
Pedregosidad media (1-9)	5	3	3	4	4-6

Tabla 25.11. Lista de variables meteorológicas básicas (B) y opcionales (O) y sus propiedades.

Variable	Unidades	Resolución temporal mínima	Resolución de la medida
Precipitación (B)	mm	diaria	0,3 mm
Temperatura (B)	°C	horaria	0,1 °C
Humedad del aire (B)	%	horaria	1%
Radiación Global (O)	W/m ²	horaria	10 W m ⁻²
Velocidad del viento (B)	m/s	20 minutos	0,1 m s ⁻¹
Dirección del viento (O)	Grados angulares	20 minutos	1,0 °
Humedad del suelo (contenido volumétrico) (B)	Volumen (%)	horaria	1-3%
Temperatura suelo (O)	°C	horaria	0,1 °C

el establecimiento de la misma. Si asumimos que la preparación del terreno o la calidad de planta son factores que se manejan para mitigar las condiciones desfavorables de la estación o sitio, entonces puede deducirse que la supervivencia es un indicador de la calidad global de una repoblación. Sin embargo, esta variable presenta dos problemas: el primero es que se trata de una variable relativa ya que a igualdad de todos los factores técnicos y de diseño varía con la meteorología del año y la calidad de estación, por lo tanto no existe un valor fijo de supervivencia que discrimine entre una calidad de obra aceptable o no. El otro inconveniente tiene que ver con el tiempo necesario para su expresión (mínimo dos años), por lo que es necesario complementar esta variable con otras más objetivas y de mayor rapidez en su evaluación a fin de garantizar la calidad de una obra de repoblación forestal.

Para evaluar el porcentaje de marras, se puede tratar como una variable dicotómica, viva (1) o muerta (0), o por el contrario, como una variable cualitativa de más de dos clases a medida que la planta va presentando una mayor proporción de follaje necrótico o ausente, dado el tiempo que tarda en manifestarse y la gradación del proceso: planta completamente verde y sana; aparición de follaje seco o amarillento; follaje seco o amarillento generalizado (a veces sólo el floema en la base del tallo está vivo, como ocurre en *Quercus*); planta completamente muerta. Se evalúa en tres momentos del año: tras plantación, pre estival (1/2 junio a primeros de julio) y pos estival (a partir del 15 de octubre). Se mide en todas las plantas que quedan dentro de cada una de las parcelas de muestreo.

Por su parte, el crecimiento, permite conocer cómo está respondiendo una plantación antes de que aparezcan procesos de muerte de las plantas. En otras ocasiones, el crecimiento sustituye a la mortalidad como variable más importante de control pues ésta es demasiado baja. Se determina la altura, medida desde el nivel del suelo a la yema más alta, tras forzar la verticalidad de la planta; y el diámetro, a 1 cm del nivel del suelo, cuidando que el aterramiento tras plantación no oculte el punto inicial de medida. Se mide en una muestra mínima de 10 plantas por especie en cada una de las parcelas de muestreo, ubicadas alrededor del punto central. Las plantas medidas deben quedar identificadas en campo para posteriores mediciones. Se evalúa, al igual que la supervivencia, tras plantación, antes y después del verano.

Daños físicos en las plantas. Se indicará la presencia de daños físicos en las plantas de la parcela, distinguiendo en la medida de lo posible entre bióticos (presencia de hongos, plagas, mordeduras, levantamientos de la planta por jabalíes u otra fauna, etc.) y abióticos (térmicos, descalces por heladas, etc.). Estas indicaciones deberán realizarse sobre el total de la planta de la parcela cuando se observe una frecuencia relativamente elevada en los mismos (>5%) indicando el porcentaje de plantas que presenta cada daño en particular.

4.1.4. Seguimiento, trabajos complementarios y labores de mantenimiento

Una repoblación requiere de cuidados culturales posteriores, entre los cuales pueden considerarse como más relevantes en el éxito de la repoblación la reposición de marras, el mantenimiento de protectores, los riegos, las binas y escardas, el control de la vegetación y el acotamiento al pastoreo.

La reposición de marras

El estudio de las causas de marras es un aspecto que cada vez tiene más importancia en el control de calidad de las repoblaciones (Gómez y Elena Rosselló 1997), aunque el análisis de las causas a escala regional es complejo (Alloza y Vallejo 1999). Una vez analizada las causas, o en muchas ocasiones sin ello, la reposición de marras estará bien definida cuando se fija un porcentaje admisible de planta perdida en cada caso, que será función de la densidad real en relación con la densidad ideal. A partir de los datos que vayan arrojando los muestreos del primer y segundo año se identifican las partes del rodal con defectos; y se establece un procedimiento claro de las labores necesarias para esta actividad (Serrada 2000).

Tratamientos de mejora a lo largo del desarrollo

La repoblación forestal se proyecta y ejecuta de modo que tiene que servir a una función preferente y con una densidad inicial concordante a esa función. A partir de este momento, la masa evoluciona aumentando su espesura, incorporando nuevos elementos por regeneración natural, y adquiriendo una cada vez mayor combustibilidad por razón de la inevitable, y a veces necesaria, continuidad vertical y horizontal de combustibles finos. Aunque este punto se puede considerar fuera de la técnica repobladora, es necesario tratar la masa para evitar su desaparición con tratamientos preventivos de incendios, claras, desbroces y podas, ejecutando estas operaciones en el momento adecuado y con procedimientos justificados. El abandono de estas prácticas ha dado numerosos ejemplos de cómo se han malogrado los esfuerzos de las generaciones anteriores.

Las podas de formación

Es un tratamiento complementario para estimular el crecimiento de los pies introducidos o mejorar su porte, no siempre necesario. En algunas especies (pino piñonero, salgareño y carrasco), que en algunas estaciones pueden presentar escasa dominancia apical, se puede corregir este defecto suprimiendo los verticilos basales y no superando nunca la poda un tercio de la altura de la planta o no afectando nunca a las ramas que definen el diámetro máximo de la copa (Serrada 2000).

La determinación de la necesidad de poda o la identificación del achaparramiento se puede comprobar por dos vías: cuando la esbeltez de la copa es inferior a la unidad (esbeltez = cociente entre altura total de la planta y diámetro medio de copa); cuando la longitud de la última metida de la guía principal es inferior o igual al cociente entre la altura total y la edad, significa esta situación que ha habido crecimientos longitudinales anteriores de valor superior al último. Otro caso de poda precoz de guiado es la que se aplica en choperas y otras frondosas para asegurar una única guía que evite bifurcaciones del fuste que perjudican a la calidad de la madera, y que para el chopo se puede realizar en plena actividad vegetativa.

Control vegetación adventicia

Las plantaciones forestales en terrenos agrícolas tienen una distribución espacial y una periodicidad de las labores que favorece la colonización de vegetación herbácea.

La competencia ejercida por esta vegetación suele ser la primera causa de pérdida de planta en terrenos agrícolas, con el consiguiente gasto en reposición de marras, y el deficiente desarrollo vegetativo de las que sobreviven (Navarro-Cerrillo *et al.* 2005). Los procedimientos básicos que pueden utilizarse para controlar la vegetación en plantaciones forestales son el laboreo (o escardas manuales), la aplicación de herbicidas y el uso de acolchados (*mulchs*). Todos ellos permiten, en mayor o menor medida, manejar la vegetación seleccionando y favorecer el desarrollo de las especies más interesantes para defender el suelo de la erosión, o reducir las poblaciones de las especies más competitivas, agresivas o de escaso valor. Actualmente el laboreo es el método más utilizado en forestación de explotaciones agrarias, lo cual no supone más que una generalización de lo que ocurre en los terrenos agrícolas (Navarro-Cerrillo y Saavedra 1997).

El uso de herbicidas, localizado y/o combinado con otras técnicas, puede representar una alternativa en algunos casos, ya que en la mayor parte de las repoblaciones forestales no es necesario ni conveniente eliminar totalmente la vegetación espontánea. La experiencia en España en el uso de herbicidas en plantaciones forestales es relativamente reducida en comparación con la que existe para cultivos agrícolas (Fernández-Cavada *et al.* 1995; Jiménez y Cabezuelo 1995; Peñuelas *et al.* 1997; Ortega *et al.* 1999; Jiménez y Saavedra 1999; Navarro-Cerrillo *et al.* 2005).

Finalmente, los acolchados (*mulchs*) representan técnicas alternativas para el establecimiento de repoblaciones. Los *mulchs* pueden producir efectos beneficiosos por la mejora de las condiciones de humedad del suelo, derivados de la reducción de la competencia por vegetación arvense, disminución de las pérdidas de agua del suelo, debido a que restringen la transpiración vegetal y la evaporación atmosférica, así como una regulación de la temperatura del suelo (Gupta 1991). Sin embargo, no está muy claro su efecto en todos los casos, presentando algunas limitaciones en suelos pesados, y en climas con fuertes restricciones hídricas (Navarro-Cerrillo *et al.* 2005, capítulo 18). En términos de supervivencia los resultados no son concluyentes, en algunos casos se logra una mejora considerable (Haywood 1999), mientras que en otros la supervivencia no se diferenció del testigo (Oliet *et al.* 1997; Navarro-Cerrillo *et al.* 2005), debido posiblemente a que en condiciones climáticas con tendencia a la aridez se reduce considerablemente el efecto beneficioso del tratamiento por la escasa competencia y la evolución de la humedad del suelo. Su efectividad depende del tipo de *mulch* empleado (Barajas-Guzmán *et al.* 2006) y de la superficie cubierta (Zegada-Lizarazu y Berliner 2011).

4.2. Diagnóstico del control integral y seguimiento en el medio-largo plazo

4.2.1. Diagnósticos generados por el control integral

Tal y como quedó expuesto en la introducción, el control y seguimiento integral de repoblaciones forestales es una herramienta muy poderosa que proporciona información veraz y útil en distintas fases cronológicas. En un primer momento es la base para un diagnóstico sobre la calidad de ejecución de la obra; en un plazo entre 1-3 años aporta una información vital para mejorar y ajustar la calidad de planta y la técnica repobladora a las condiciones concretas de la estación; y, finalmente, contribuye al diagnóstico a medio y largo plazo del éxito de la restauración (Bautista y Alloza 2009).

Esto es posible gracias a la confluencia de información de distinta naturaleza, pero que en su conjunto se complementa y afecta a los resultados de las actuaciones. Así, estos controles permiten agregar información relativa a:

- Información de calidad de planta y calidad del proyecto
- Información del control de calidad de la ejecución (diario de obra y muestro en campo)
- Información meteorológica y de características de la estación
- Evaluación de la mortalidad y el crecimiento

Si la calidad de planta y la calidad del proyecto han sido adecuadas, entonces el primer diagnóstico que procede de la metodología expuesta es la calidad en la ejecución de la obra. De la comparación directa entre las parcelas de certificación-control-seguimiento y las parcelas de contraste para las distintas variables medidas y asumiendo ciertos rangos de variación, se obtiene pues si la ejecución es o no deficiente. Incluso se pueden realizar pruebas estadísticas para inferir sobre la diferenciación o no de una misma variable entre un grupo y otro de parcelas. Esto, junto con la información accesoria, permite identificar y cuantificar, objetivamente, defectos en la plantación, de preparación del terreno, mala ejecución de los cuidados culturales, pérdidas de calidad de planta por un mal manejo, adecuación de la plantación a los condicionantes meteorológicos y, por tanto, conocer y valorar la responsabilidad del contratista en los resultados de la repoblación (véase ejemplo práctico).

Causas de mortalidad de *Pinus pinaster* en una repoblación forestal en la Muela de Cortes (Valencia)

Con la información obtenida en un control de calidad integral se puede tener una primera aproximación de cómo los diferentes elementos afectan a la mortalidad o supervivencia. El porcentaje de mortalidad (M) será la suma de los porcentajes en valor absoluto atribuibles a cada uno de los elementos y sus interacciones (p, proyecto; a, planta; e, ejecución; c, climatología; s, estación; i: interacciones):

$$M = p+a+e+c+s+i$$

Se sintetiza el trabajo de Segura Orenga (2011) para este ejemplo, donde se pretende explicar la mortalidad de *Pinus pinaster* en una repoblación del interior de Valencia ejecutada en el 2008.

En el control de calidad de proyecto se identificaron unas decisiones sensibles (uso tubo invernadero) que se contrastaron mediante la comparación de resultados obtenidos dentro de las parcelas de experimentación (figura 25.7).

Para la evaluación de la calidad de la planta, se requiere de igual forma de parcelas de experimentación en la que se planten todos los lotes de la repoblación en idénticas condiciones. Así, al ser las condiciones de ejecución, de estación y climatológicas las mismas, se eliminan todos los sumandos excepto el de la calidad de la planta. De este modo, se puede asignar un valor de mortalidad por diferencia de lotes de la misma especie (figura 25.8). Si únicamente tenemos un lote de alguna de las especies la evaluación cuantitativa resulta complicada de realizar.

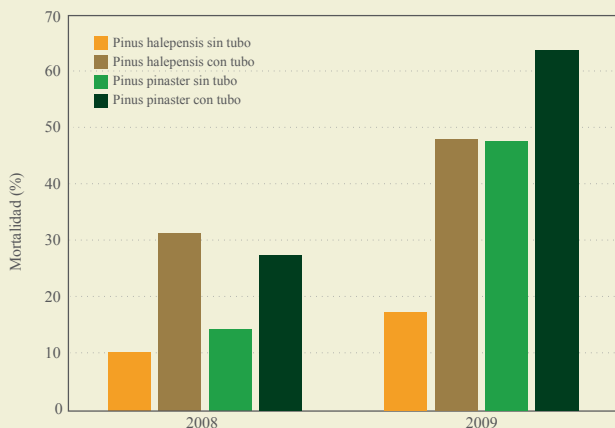


Figura 25.7. Representación gráfica de la mortalidad (porcentaje) en 2008 y 2009 (derecha) con tubo y sin tubo en la parcela de experimentación (Segura Orea 2011).

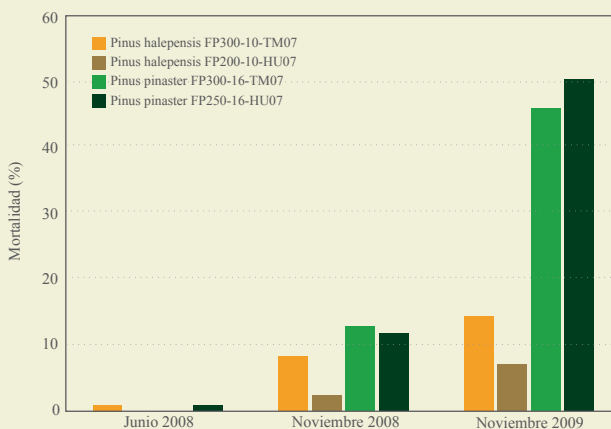


Figura 25.8. Mortalidad (%) en la parcela de contraste para lotes de plantas de *Pinus halepensis* y *P. pinaster* producidos en envases Forest Pot de 250 y 300 cm³ en la campaña 2007 en dos viveros diferentes (TM y HU) y utilizados la plantación (Segura Orea 2011).

En cuanto a la ejecución, el contraste entre parcelas de control y de contraste no dio diferencias significativas entre unas parcelas y otras (tabla 25.12). Respecto a los factores ambientales, la climatología, que se supone constante para toda la repoblación, se evalúa para los años 2008-2009, comparándolas con los datos de un año normal (tabla 25.13).

Por último, la importancia de la calidad de estación, que *a priori* se puede considerar constante, es compleja de evaluar. Si todos los aspectos anteriores han sido adecuados, la calidad de estación es el valor residual que quedaría no explicado (junto a las interacciones). Puede obtenerse un valor medio para toda la repoblación o por rodales si tenemos suficiente información (figura 25.9).

Tabla 25.12. Datos de mortalidad (%) y desviación estándar para los grupos de parcelas de control-seguimiento y de contraste en una repoblación de Valencia. Los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) realizado demostraron que no existen diferencias significativas entre los dos grupos (Segura Orega 2011).

Toma de datos	Tipo parcelas	
	Control-Seguimiento	Contraste
Año 1-Plantación	0,27 (1,58)	0,00
Año 1- Pre-estío	4,4 (4,88)	2,2 (2,92)
Año 1- Post-estío	29,0 (18,8)	19,3 (12,53)
Año 2-Post-estío	54,2 (22,82)	49,8 (18,24)

Tabla 25.13. Evaluación de la desviación de la climatología de los años 2008-2009 respecto a la media histórica (Gómez y Elena 1997). El déficit hídrico del 2009 superó el umbral admisible y se puede considerar causa de marras.

Año	Déficit hídrico en el año de repoblación (dh)	Déficit hídrico medio (DH)	Precipitación en el año de repoblación (p)	Precipitación Medio (P)
2008	76 dh < 1,5*DH	85	714 p > 0,5*P	555
2009	130 dh > 1,5*DH	85	516 p > 0,5*P	555

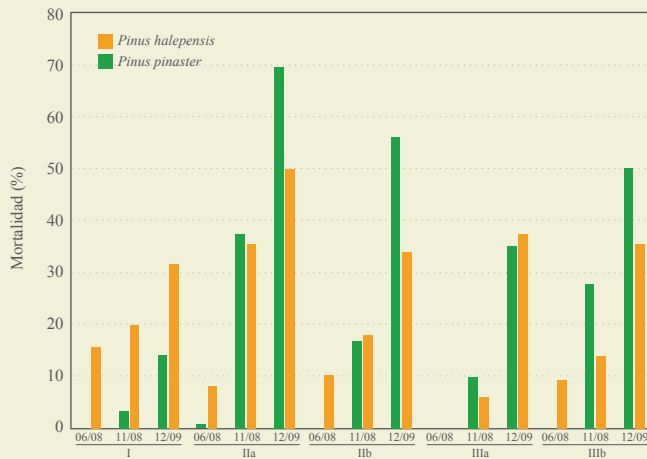


Figura 25.9. Mortalidad de *Pinus pinaster* y *P. halepensis* por rodales durante el primer año (mediciones preestival y postestival) y segundo año (medición postestival). La calidad de estación es distinta en los 5 rodales de la repoblación (Segura Orega 2011).

En la tabla 25.14 se atribuyen pesos para cada elemento. Cabe destacar los porcentajes atribuibles al tubo, 13% (calidad de proyecto), como se puede ver en la figura 25.7, mientras que la calidad de planta y la calidad de ejecución han sido correctas. Por otro lado, se atribuye la parte residual a la calidad de estación, 12 % (que es la mortalidad del *P. pinaster* en la parcela experimental sin tubo, figura 25.8), dado que el primer año fue bastante bueno, meteorológicamente hablando. Pero las condiciones del segundo año fueron bastante malas haciendo que la mortalidad aumentase un 35%, que se asigna directamente a esta parte.

Tabla 25.14. Porcentajes de mortalidad atribuibles a los distintos elementos evaluados en el control integral durante los dos primeros años para *Pinus pinaster* (Segura Orenga 2011).

Plantación/ año	Calidad proyecto	Calidad planta	Ejecución	Calidad estación	Climatología	Mortalidad final
2008					0%	25%
2009	13%	0%	0%	12%	35%	60%

Como consecuencia del análisis, en un segundo período (1-2 años), el control y el seguimiento integral permite ajustar mejor la técnica repobladora para las condiciones locales de actuación. Incorporando a lo anterior la información de las parcelas experimentales, puede mostrar qué especies y tipos de estaciones han resultado mejores; si la preparación del terreno y/o el tratamiento de la vegetación preexistente ha sido adecuado; o si los cuidados culturales (tubos, hidrogeles, riegos apoyo, etc.) han funcionado en las distintas variables en los que éstos han sido programados y ejecutados. Este tipo de información es de suma utilidad también para el desarrollo de modelos que ayuden en la génesis de rodales, en la mejora de la definición de microhábitats para plantación de especies accesorias o secundarias (mejora diversidad), para optimizar la planificación y ejecución de los trabajos subsiguientes en la comarca (por ejemplo, mejor optimización de las fechas de plantación en función de factores como la fisiografía, tipo de suelo, etc.) (tabla 25.15).

4.2.2. Seguimiento a medio y largo plazo del éxito de la restauración

Esta fase final tiene por objeto proporcionar información sobre la intervención realizada y ayudará a entender lo acertado de los trabajos proyectados y ejecutados, es decir, la adecuación del proyecto y de las medidas contenidas en él para el logro de los objetivos planteados. Si bien está aceptada esta necesidad de evaluación y seguimiento de los programas y acciones de restauración forestal, desafortunadamente no es una práctica corriente; ello hace que muchas experiencias exitosas no lleguen a conocerse y, a su vez, que muchas técnicas o decisiones desacertadas persistan en el tiempo (Bautista y Alloza 2009).

La información relativa a la repoblación, así como la que se genera en su seguimiento posterior, debe quedar recogida en algún sistema que permita una consulta ágil. En relación con la evaluación de impacto de la repoblación a medio y largo plazo, resulta conveniente disponer de un banco de datos que incluya información cuantitativa y cualitativa de cómo evoluciona el medio como consecuencia de la nueva situación, con series temporales de datos (análisis físico-químico del suelo, inventarios florísticos y faunísticos, medidas

Tabla 25.15. Resultados de supervivencia registrados en la parcela de experimentación, control de calidad de diferentes lotes de planta, ubicada dentro de la obra de restauración del río Guadiamar (Sevilla) (adaptado de Navarro-Cerrillo *et al.* 2001b) (tipo de envase AF= Arnabat, CE=Bardi y FP ForesPot).

Especie	Lote de plantas (especie-contenedor-volumen-nº de savías)	Supervivencia preestival (%)	Supervivencia postestival (%)
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>	OLEU-AF300-2	96,7	63,3
	OLEU-CE400-1	86,7	63,3
	OLEU-FP300-2	93,3	43,3
<i>Nerium oleander</i>	NEOL-CE400-2	96,7	63,3
<i>Quercus suber</i>	QUSU-CE500-1	100,0	16,7
<i>Ceratonia siliqua</i>	CESI-AB150-1	93,3	56,7
	CESI-CE210-2	100,0	90,0
	CESI-CE400-2	100,0	50,0
	CESI-FP300-1	100,0	83,3
<i>Quercus coccifera</i>	QUCO-CE400-1	100,0	13,3
	QUCO-CE400-2	100,0	3,3
<i>Viburnum tinus</i>	VITI-250-1	13,3	0,0
	VITI-FP250-2	56,7	0,0
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>	QUIL-CE400-1	70,0	3,3
<i>Lavandula stoechas</i>	LAST-AB230-1	33,3	30,0
	LAST-AB230-2	50,0	46,7
	LAST-CE400-1	43,3	40,0
<i>Pistacea lentiscus</i>	PILE-AB230-2	66,7	23,3
	PILE-CE210-2	76,7	53,3
	PILE-FP300-1	90,0	80,0
	PILE-FP300-1	76,7	36,7
	PILE-PL210-1	86,7	63,3
<i>Arbutus unedo</i>	ARUN-CE400-1	96,7	26,7
	MYCO-CE400-2	100,0	26,7
<i>Myrtus comunis</i>	MYCO-FP150-1	100,0	26,7
	MYCO-FP200-1	96,7	6,7
	MYCO-FP300-2	100,0	20,0
<i>Phyllirea angustifolia</i>	PHAN-AB230-2	83,3	13,3
	PHAN-FP300-1	100,0	33,3
<i>Pinus pinea</i>	PIPA-CE400-1	100,0	53,3
	PIPA-FP300-1	90,0	13,3
<i>Retama sphaerocarpa</i>	RESP-FP300-1	40,0	30,0
	RESP-PL250-1	20,0	16,7
<i>Rosmarinus officinalis</i>	ROOF-AB230-1	100,0	0,0
	ROOF-CE400-1	100,0	0,0
	ROOF-CE500-2	100,0	0,0
Promedio		82,1	33,1

de variables climáticas, calidad de los recursos hídricos, etc.) que permitan un análisis detallado y en profundidad de los efectos producidos en el medio (figura 25.10).

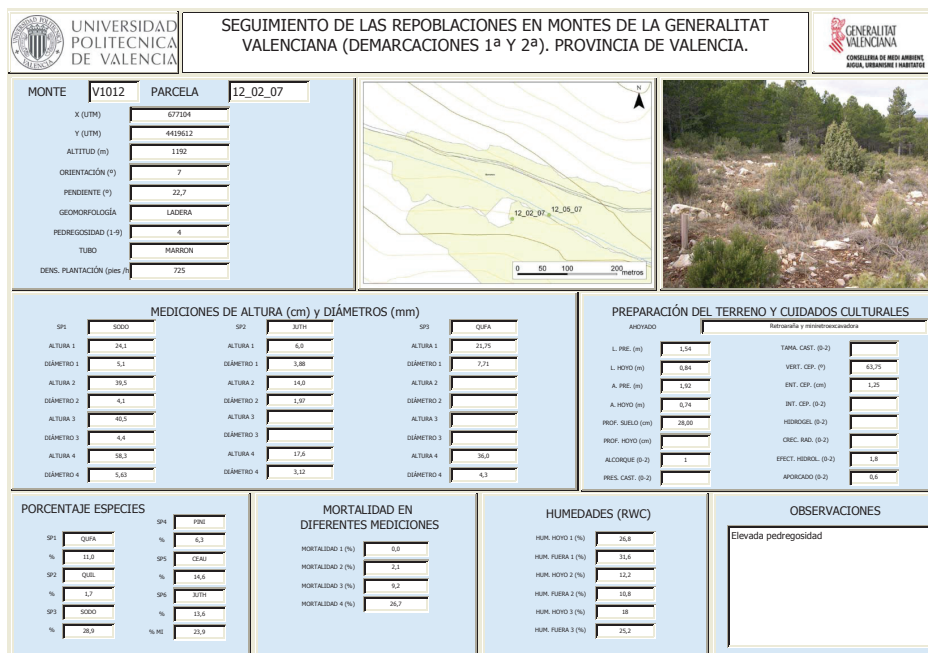


Figura 25.10. Ejemplo de información digitalizada para una parcela de control-seguimiento de la base de datos de la Universidad Politécnica de Valencia. El seguimiento futuro, tanto de la evolución de la obra como de otros indicadores del ecosistema está garantizado.

Tras los dos primeros años de la plantación se supera el periodo crítico de establecimiento y es entonces cuando debería comenzar un monitoreo y seguimiento de la plantación que aporte información sobre el grado de consecución de los objetivos iniciales planteados en la acción restauradora. Las determinaciones a realizar van a depender mucho de estos objetivos, pero casi siempre tendrán en cuenta la evolución del crecimiento de la plantación (incremento de biomasa), la evolución de la cobertura del suelo y de las comunidades vegetales presentes (biodiversidad), la mejora del régimen hidrológico de la ladera (cuenca) y del suelo y los cambios en las propiedades del mismo. En esta línea, Bautista y Alloza (2009) revisaron distintos trabajos de evaluación de programas de restauración forestal de zonas áridas y establecieron que éstos se centran, bien en la evaluación del logro de los objetivos, bien en la comparación del área restaurada con zonas de referencia o bien en la evaluación de atributos de calidad del ecosistema. Yendo más allá, estos autores han desarrollado un protocolo y metodología de evaluación de las acciones restauradoras en el medio y largo plazo llamado REACTION (*Restoration Actions in the Northern Mediterranean* <http://www.gva.es/ceam/reaction>) que contempla

no sólo indicadores biofísicos sino también socio-económicos, a la vez que integra los tres enfoques de evaluación citados.

El seguimiento y evaluación de repoblaciones forestales, en mayor o menor medida, debe seguir contando con la información proporcionada por las parcelas dentro de la propia repoblación, y debe alinearse con metodologías y procedimientos estandarizados de evaluación de ecosistemas forestales, como el de la UNECE (2010). Otras características a definir para esta fase son establecer el momento y frecuencia de los distintos controles y establecer un grupo de indicadores suficientes que permitan verificar el efecto de las actuaciones y ayude a mejorar las técnicas empleadas en las diferentes fases de la repoblación, y si fuera necesario ajustarlas o modificarlas para su correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloza JA, Vallejo R (1999) Relación entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones. *Ecología* 13: 173-187
- Alloza JA (2003) Análisis de repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana. Desarrollo de criterios y procedimientos de evaluación. (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia
- Barajas-Guzmán MG, Campo J, Barradas VL (2006) Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant Soil* 287: 347-357
- Bautista S, Alloza JA (2009) Evaluation of reforestation projects. En: Bautista S, Aronson J, Vallejo R (eds.) *Land restoration to combat desertification. innovative approaches, quality control and project evaluation.* Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo – CEAM, pp:47-72
- Berger JE, Durpaz C (2000) Effect of ventilation on growth of *Prunus avium* seedlings in tree shelters. *Agri For Meteo* 104 (3):199-214
- Cañellas I, Bachiller A, Del Río M, Roig S, Montero G (2004) Efectos de la fertilización orgánica y mineral en el arraigo y desarrollo de especies mediterráneas durante los primeros años de la plantación. *Cuad Soc Esp Cien For* 17:133-144.
- Castell C, Castelló JI (1996) Metodología y resultados de la siembra aérea efectuada en el Parque Natural del Garraf. *Montes* 46:51-57.
- Castillo V, Querejeta J, Albadalejo J (2001) Disponibilidad hídrica en repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill. en medios semiáridos: efectos de los métodos de preparación del suelo. En: SECF (ed.), *III Congreso Forestal Español, Granada, Tomo 3:94-99*
- Ceacero JC, Navarro-Cerrillo RM, Díaz-Hernández JL, del Campo AD (2014) Is tree shelter protection an effective complement to weed competition management in improving the morpho-physiological response of holm oak planted seedlings? *iForest-Biogeosciences For* 7(1):289-299
- del Campo AD, Aguilera A, González E, Navarro-Cerrillo RM (2006) Effect of tree shelter design on water condensation and run-off and its potential benefit for reforestation establishment in semiarid climates. *For Ecol Manage* 235:107-115
- del Campo AD, Navarro-Cerrillo RM, Hermoso J, Ibáñez A (2007) Relationships between site and stock quality in *Pinus halepensis* Mill. reforestations on semiarid landscapes in eastern Spain. *Ann For Sci* 64-7:719-731
- del Campo AD, Segura G, Hermoso J, Roldán M, Butler F, Currás R, Marzo A, García R, Navarro-Cerrillo RM (2009a) Los controles de calidad integrales en repoblación forestal como herramienta para mejorar la técnica repobladora. En SECF (ed.) *5 Congreso Forestal Español. Ávila, Ref: CD304*
- del Campo AD, Segura G (2009b) Seguimiento de repoblaciones forestales en las campañas 06-07 y 07-08 de la 1ª demarcación de Valencia. Informe final, Universidad Politécnica de Valencia, Inédito.

- del Campo AD, Segura G (2009c) Seguimiento integral de reforestaciones en los montes V3009v40, V41, V42, V59. Informe Final, Universidad Politécnica de Valencia, Inédito
- del Campo AD, Hermoso J, Flors J, Lidón A, Navarro-Cerrillo RM (2011) Nursery location and potassium enrichment in Aleppo pine stock 2. Performance under real and hydrogel-mediated drought conditions. *Forestry* 84(3):235-245
- Domínguez-Lerena S, Peñuela Rubira JL, Herrero Sierra N, Nicolás Peragón JL, Costa JC, Rodríguez A, Sánchez M (2000) Siembras directas en zonas degradadas de Andalucía, Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente
- Domínguez-Lerena S, Villar-Salvador P, Fuertes L, Peñuelas-Rubira JL (2001) ¿Puede la profundidad de plantación afectar la calidad fisiológica y el desarrollo en campo de los brinzales de *Pinus halepensis*? En: SECF (ed.), III Congreso Forestal Español, Granada
- Dougherty PM, Duryea ML (1991) Regeneration: an overview of past trends and basic steps needed to ensure future success. En: Duryea ML, Dougherty PM (eds.), *Forest regeneration manual*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp: 3-7
- Fernández-Cavada S, Coscolluela J, Sopena JM, Zaragoza C (1995) Primeros resultados de un ensayo de herbicidas en vivero de *Pinus halepensis* y *P. pinaster*. En: Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología, Huesca, pp:297-301
- Fuentes D, Valdecantos A, Vallejo VR (2004) Plantación de *Pinus halepensis* Mill. y *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. en condiciones mediterráneas secas utilizando microcuencas. *Cuad Soc Esp Cienc For* 17:157-163
- Gandullo JM, Sánchez Palomares O (1994) Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Colección Técnica, ICONA, Madrid
- Gómez Sanz V, Elena Roselló R (1997) Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. *Cuad Soc Esp Cienc For* 4:13-25
- Grossnickle SC (2000) *Ecophysiology of northern spruce species. The performance of planted seedlings*. NCR Research Press, Ottawa, Notario, Canada, 409 pp
- Gupta GN (1991) Effects of mulching and fertilizer application on initial development of some tree species. *For Ecol Manage* 44:211-221
- Haywood JD (1999) Durability of selected mulches, their ability to control weeds, and influence growth of loblolly pine seedlings. *New For* 18:263-277
- Jiménez-Castellanos Conde A (1964) Repoblaciones sobre terrenos calizos de poco o nulo suelo vegetal. *Revista de Montes* 116:87-90
- Jiménez M, Cabezuelo P (1995) Evaluación de la fitotoxicidad de herbicidas sobre plantones de *Quercus rotundifolia* Lam. (Encina). En: Actas Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, Huesca, pp: 225-228
- Jiménez M, Saavedra M (1999) Selectividad de herbicidas en nuevas plantaciones de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. En: Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología, Logroño, pp: 347-352
- Jordana R (1896) *Estadística de las siembras y plantaciones verificadas en montes públicos y cabeceras de cuencas hidrológicas desde la publicación de la ley de 11 de julio de 1877 hasta el año forestal de 1894-95*. Ministerio de Fomento, Imprenta R. Rojas, Madrid
- Kjelgren R, Rupp L (1997) Establishment in tree shelters I: shelters reduce growth, water use, and hardiness, but not drought avoidance. *HortScience* 32(7):1281-1283
- Kith Y, Tassara M (1949) Un método de protección de pequeñas plantas en las repoblaciones forestales que se están efectuando en la provincia de Granada. *Revista de Montes* 26:102-104
- Martínez de Azagra A, Mongil Manso J (2001) Algunos criterios para el diseño de sistemas de recolección de agua en repoblaciones forestales. En: SECF (ed.), III Congreso Forestal Español, Granada, Tomo 3:272-277
- McKay HM (1997) A review of the effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. *New For* 13:363-393
- Murillo O, Camacho P (1997) Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense* 21(2):189-206
- Navarro-Cerrillo RM, Martínez A (1996) Las marras producidas por ausencia de cuidados culturales. *Cuad Soc Esp Cienc For* 4:43-57

- Navarro-Cerrillo RM, Saveadra M (1997) El laboreo de conservación en la forestación de tierras agrarias. En: García Torres L, González Fernández P (eds.), *Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Proyecto Life. AELC/SV, pp:327-346
- Navarro-Cerrillo RM, Oliet J, Contreras O (2001a) El uso de tubos protectores con cuatro especies forestales en Andalucía occidental: estudio microclimático. En: SECF (ed.), *III Congreso Forestal Español*, Granada, Tomo 3:839-845
- Navarro-Cerrillo RM, Saiz JL, del Campo AD, Checa R, Álvarez A (2001b) Sistema de control de calidad de repoblaciones forestales: la obra de restauración del río Guadamar. En: SECF (ed.), *III Congreso Forestal Español*, Granada, Tomo 3:817-823
- Navarro-Cerrillo RM, Palacios G (2004) Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuad Soc Esp Cienc For* 17:199-204
- Navarro-Cerrillo RM, Fragero B, Ceacero C, del Campo AD, De Prado R (2005) Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. using different weed control strategies in Southern Spain. *Ecol Eng* 25:232-342
- Navarro-Cerrillo RM, del Campo AD, Ceacero CJ, Hermos, J (2014) On the importance of topography, site quality, stock quality and planting date in a semiarid plantation: Feasibility of using low-density LiDAR. *Ecol Eng* 67:25-38
- Oliet J, Planelles R, López M, Artero F, González M (1997) Influencia de los sistemas de protección en la humedad del suelo y en la respuesta en plantación de pino carrasco en el semiárido almeriense. En: SECF (ed.), *II Congreso Forestal Español*, Pamplona, Tomo 3:467-472
- Ortega JC, Peñuelas J, Montero G, García-Baudin JM (1999) Respuesta de *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea* a herbicidas: resultados preliminares. *Montes* 53:83-87
- Pausas JG, Bladé C, Valdecantos A, Seva JP, Fuentes D, Alloza JA, Vilagrosa A, Bautista S, Cortina J, Vallejo R (2004) Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes in Spain: New perspectives for an old practice - a review. *Plant Ecol* 171:209-220
- Pemán J, Navarro-Cerrillo RM (1998) Repoblaciones forestales. Edicions de la Universitat de Lleida, Universitat Lleida- Universidad Córdoba, 400 pp.
- Pemán J, Voltas J, Gil E (2006) Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to root confinement: consequences for afforestation. *Ann For Sci* 63 (4):425-430
- Peñuelas J, Ocaña L, Domínguez S, Renilles I (1997) Experiencias sobre el control de la competencia herbácea en repoblaciones en terrenos agrícolas abandonados. Resultados de tres años de campo. *Cuad Soc Esp Cienc For* 4:113-118
- Potter MJ (1991) *Treeshelters*. Forestry Commission, Handbook N°7, HMSO, London, 48 pp
- Puértolas J, Oliet JA, Jacobs DF, Benito LF, Peñuelas JL (2010) Is light the key factor for success of tube shelters in forest restoration plantings under Mediterranean climates?. *For Ecol Manage* 260: 610-617
- Querejeta J, Roldán A, Albaladejo J, Castillo V (2001) Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semiarid climate. *For Ecol Manage* 149:115-128
- Royo A, Gil L, Pardos JA (2000) Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco. *Cuad Soc Esp Cienc For* 10:57-62
- Sánchez Palomares O, Rubio A, Blanco A (2004) Definición y cartografía de las áreas potenciales fisiográfico-climáticas de hayedo en España. *Invest Agrar: Sist Recur For Fuera de Serie*: 13-62
- Sánchez Palomares O, Jovellar LC, Sarmiento LA, Rubio A, Gandullo JM (2007) Las estaciones ecológicas de los alcornoques españoles. *Monografías INIA*, Madrid, Serie Forestal 14, 232 pp
- Sánchez J, Ortega R, Mervás M, Padilla FM, Puignaire FI (2004) El micro riego, una técnica de restauración de la cubierta vegetal para ambientes semiáridos. *Cuad Soc Esp Cienc For* 17:109-112.
- Segura Orenza G (2011) Desarrollo y aplicación práctica de una propuesta metodológica para el control integral y seguimiento de restauraciones forestales. Trabajo fin de máster del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, 201 pp

- Serrada R (2000) Apuntes de Repoblaciones Forestales. Fundación Conde Valle de Salazar, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid
- Serrada R, Navarro-Cerrillo RM, Pemán J (2005) La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(3): 462-481
- South DB, Rose RW, McNabb KL (2001) Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New For* 22:43-58
- Steel RGD, Torrie JH (1989) *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw Hill, Segunda edición, 622 pp
- Stjernberg E.I (1997) Mechanical shock during transportation: effects on seedling performance. *New For* 13: 401-420
- Tabbush PM (1987) Effect of desiccation and water status on forest performance of bare rooted Sitka spruce and Douglas-fir transplants. *Forestry* 60:31-43
- Torres JM, Magaña OS (2001) Evaluación de plantaciones forestales. Limusa, Mexico, 472 pp
- UNECE (2010) Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, UNECE, ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
- Zegada-Lizarazu W, Berliner PR (2011) The effects of the degree of soil cover with an impervious sheet on the establishment of tree seedlings in an arid environment. *New For* 42:1-17

Capítulo 25 - Anexo

Pautas para el diseño experimental en estudios de seguimiento de repoblaciones

Antonio D del CAMPO, Rafael M^a NAVARRO CERRILLO,
Guillem SEGURA ORENGA, Javier HERMOSO DE MENA

Como se ha indicado en el texto principal de este capítulo, el objetivo fundamental de las parcelas de experimentación es realizar ensayos científicos para contrastar distintas opciones, alternativas o hipótesis sobre las cuales exista poca información contrastada al respecto de su oportunidad para la obra. Por ejemplo, distintos lotes de planta con diferencias en su calidad funcional, distintas especies secundarias o accesorias, tipo y grado de determinados tratamientos culturales, etc.

Estas parcelas se suelen establecer en una zona representativa de la repoblación, que sea fácilmente accesible. Aún habiendo seleccionado una zona homogénea para estas parcelas, en la localización exacta siempre se producirán variaciones intrínsecas en algunos parámetros (generalmente de naturaleza edáfica) y en cualquier dirección, por lo hay que adoptar un diseño experimental capaz de permitir estimaciones insesgadas de medias y diferencias de tratamientos y del error experimental. El tipo de diseño experimental seleccionado vendrá impuesto, en cada caso, por los objetivos generales que persigan los ensayos. Así, si se trata de experimentos sin tratamientos, en los que interesa obtener el valor de determinados parámetros (altura, diámetro en el cuello de la raíz, etc.) de la población de plantas para su simple determinación, es decir, sólo se busca la respuesta global de la plantación, entonces no tiene porqué haber diseño estadístico; bastaría con tener cuidado en alternar las distintas especies (caso de que se utilizaran más de una) en el interior de la parcela tanto en filas como en columnas. Por el contrario, si se trata de experimentos con tratamientos, en los que se pretende ver si existen discrepancias en la respuesta postrasplante entre grupos de plantas, sometido cada uno de estos grupos a un tratamiento diferente respecto de otro/s grupo/s de plantas, entonces se hace necesario el diseño experimental; para impedir que las heterogeneidades del terreno sesguen los resultados.

1. Conceptos

Con el objetivo de fijar determinados conceptos, se considera útil definir los siguientes términos (Steel y Torrie 1989):

- **Unidad experimental.** Es la unidad a la cual se le aplica un tratamiento determinado. La unidad puede equivaler a una superficie de terreno.
- **Tratamiento.** Es el procedimiento cuyo efecto se mide y se compara con otros tratamientos (dosis de hidrogel, acolchado o no, protector, etc.). Cada tratamiento afecta a una parte de la población experimental. En cuanto al número de tratamientos, deben considerarse aquellos que sean de trascendencia, pues un elevado número de ellos puede llevar a una complicación innecesaria del experimento.
- **Unidad de muestreo.** Es la fracción de la unidad experimental donde se mide el efecto de un tratamiento, en nuestro caso equivale, por ejemplo, a una planta.
- **Error experimental.** Es una medida de la variación existente entre observaciones sobre unidades experimentales tratadas en forma similar. Esta variación proviene de dos fuentes principales: la variabilidad inherente al material experimental al que se aplican los tratamientos, y la variación resultante de cualquier falta de uniformidad en la realización física del experimento. El control del error, en el diseño del experimento, permite que parte de la variación natural entre el conjunto de unidades experimentales no contribuya en nada a las diferencias entre medias de los distintos tratamientos. La elección de un tipo de diseño u otro contribuye, en gran medida, al control del error experimental, por ejemplo, al agrupar las unidades experimentales en bloques, la precisión del experimento aumenta como resultado del control del error.
- **Repetición.** Implica la necesidad de que los diferentes tratamientos aparezcan en más de una unidad experimental. Cuando cada tratamiento aparece sólo una vez, no hay manera de determinar si las diferencias observadas indican diferencias reales o si se deben a la variación inherente. Es la base del error experimental. La repetición permite una estimación del error experimental, mejora la precisión del experimento y aumenta el alcance de la inferencia del mismo, pues aumentando el número de repeticiones, las medias observadas de los tratamientos se hacen más precisas.

El número de repeticiones depende principalmente del grado de precisión que se desea, siendo muy importante tener una cuantía correcta de esta. Carece de sentido usar 8 repeticiones para detectar una diferencia con la que hubieran bastado 4. Si aumentando el número de tratamientos se mantiene constante el número de repeticiones, aumentará el tamaño del experimento y los grados de libertad para la estimación de la varianza, aumentando también la precisión. Si no se quiere un aumento de precisión, el número de repeticiones puede reducirse, o por otro lado, si se mantiene constante el tamaño del experimento, un mayor número de tratamientos conlleva menos repeticiones de cada tratamiento y menos grados de libertad para estimar la varianza, lo que lleva a una menor precisión.

Sin embargo, las repeticiones no reducirán el error debido a técnicas defectuosas. El número ideal de repeticiones en un experimento se alcanza cuando el coste del experimento en material, tiempo, etc., ya no se compensa con un aumento de la información. Con todo

ello, es necesario el conocimiento técnico del tema que se estudia para que cuando se de una significancia estadística se pueda juzgar la importancia práctica de esta discrepancia con respecto a la hipótesis nula. Con tal conocimiento práctico, se puede especificar la medida que se desea sea detectada, la precisión requerida para lograrla, y con ello, el número de repeticiones.

2. Diseños experimentales utilizados con más frecuencia

Para el planteamiento de ensayos, de los tipos que se tratan en el capítulo 25, son especialmente apropiados los diseños experimentales que se describen a continuación.

Diseño completamente aleatorizado

Es el tipo de diseño experimental más simple, en él, las parcelas individuales de cada tratamiento están dispuestas al azar sin el uso de bloques (figura A25.1). Este diseño es útil cuando existe homogeneidad entre las unidades experimentales, por lo que resulta poco práctico el agrupamiento en bloques. Sin embargo, esta no es una situación frecuente en estaciones forestales. En la realización de este diseño es necesario incluir un proceso de aleatorización, asignando tratamientos a las unidades experimentales mediante el uso de una tabla de números aleatorios. Entre sus ventajas son destacables:

- Es un diseño muy flexible, pues el número de tratamientos y de repeticiones sólo está limitado por el número de unidades experimentales disponibles, es decir, por la superficie de experimentación.
- El análisis de la varianza no presenta problemas de rigidez, pudiendo variar el número de repeticiones de un tratamiento a otro. Esta sencillez se mantiene incluso si se pierden algunas unidades experimentales o si faltan tratamientos.
- Cuando se trata de experimentos pequeños en los que el número de grados de libertad para el error experimental son menos de 20, la precisión se mejora con este diseño pues maximiza los grados de libertad para estimar dicho error experimental.

Los inconvenientes del diseño tienen que ver principalmente con la estimación de la variación residual, que puede ser abultada por la variación sistemática de la estación. Como consecuencia, las comparaciones entre diferentes tratamientos pueden ser menos precisas que con el uso del diseño de bloques. Por otro lado, la aleatorización resultará probablemente en que un número desproporcionado de parcelas y algunos tratamientos quedarán dispuestos en grupos vecinos. Aunque pueden ponerse restricciones al proceso de aleatorización, manejables por ordenador, que minimicen estos efectos, no es un diseño recomendable, pues comparaciones entre tratamientos serán confundidas con la variación sistemática dentro de la estación y como consecuencia habrá sesgo.

Diseño de bloques completos al azar

Es el más común en experimentos de índole forestal. Se podrá usar cuando las unidades experimentales se puedan agrupar, recibiendo cada agrupación el nombre de bloque. La estación donde se va a realizar el experimento se divide en números de bloques de igual superficie y cada tratamiento está representado una vez en cada bloque por una unidad experimental que llevará una o varias plantas. De este modo, cada bloque, que debe ser

lo más uniforme posible, contiene una repetición completa de los tratamientos que se comparan. Las especies y los tratamientos se distribuyen al azar dentro de cada bloque. Es necesario que en el transcurso del experimento, todas las unidades de un bloque deban tratarse tan uniformemente como sea posible en cada aspecto del tratamiento, evitando cambios en la aplicación de la técnica u otras condiciones en el mismo bloque.

El número de bloques viene dado por un equilibrio entre los requisitos de precisión y las limitaciones prácticas de recursos, y debe ser de dos o más (para poder estimar la variación residual). En la práctica se recomienda un número de tres, o preferiblemente mayor, de 4 o de 5. Los tratamientos se asignan aleatoriamente a las unidades dentro de un bloque, efectuando una nueva aleatorización en cada bloque. Los bloques habrán de adaptarse al terreno pero procurando siempre la cercanía física de las unidades experimentales (figura A25.1), pues esto aumenta la precisión de las comparaciones entre tratamientos. Es fundamental que las unidades en un bloque sean tan uniformes como sea posible para que las diferencias observadas se deban en gran parte a los tratamientos. Entre las ventajas destacables de este tipo de diseños están:

- Son apropiados para su uso en una gran variedad de situaciones experimentales.
- El análisis de datos es simple y fácilmente realizable, sin problemas en la interpretación de resultados.
- Es estadísticamente consistente. No debería haber problemas de análisis si uno de los tratamientos falla por completo o sufre daños serios. Igualmente, si faltan datos individuales aislados se pueden estimar para que el cálculo no se dificulte.

Las desventajas se originan cuando hay muchos tratamientos a comparar, ya que los supuestos de uniformidad dentro de cada bloque se hacen progresivamente más difíciles de mantener, o cuando la variación sistemática de la estación es compleja. Todo esto conlleva a que el término del error se haga considerable.

Cuando el número de tratamientos no es muy elevado, el tamaño de los bloques será relativamente pequeño. En estos casos, para que el tamaño de la muestra alcance el número necesario, se pueden plantear dos alternativas: bien aumentar el número de bloques, bien aumentar el número de unidades muestrales en cada unidad experimental, es decir, plantar más plantas en cada unidad experimental.

En el segundo caso, se puede incluir un buen número de unidades muestrales y muestrearlas dentro de la unidad experimental, pero esto conlleva la inclusión de un término de error de muestreo en el modelo lineal y en el análisis de la varianza y por ello aquí se recomienda la medición de todas las unidades muestrales incluidas en la celda. Para una mayor comodidad en los cálculos sería recomendable un número igual de observaciones por unidad experimental; sin embargo esto no siempre será posible debido a que la mortalidad en las distintas unidades será variable casi con toda seguridad.

Diseño de bloques incompletos al azar

A veces es difícil encontrar un sitio con suficiente uniformidad como para acoplar una repetición completa. El diseño de bloques incompletos al azar presenta la característica de que las parcelas experimentales están agrupadas en bloques en un número que es

inferior al número de tratamientos, es decir, aquí no se dan todos los tratamientos en el mismo bloque (figura A25.1). Además, cada bloque tiene el mismo número de unidades experimentales y cada tratamiento se repite el mismo número de veces en total, es decir, hay repetición constante. La disposición es tal que la variación entre bloques puede ser estimada y eliminada del análisis de diferencias entre tratamientos. Son diseños típicos en experimentos de mejora genética donde las poblaciones, tratamientos, a comparar son muchas y la extensión de los bloques considerable si se incorporaran todos los tratamientos en cada bloque.

Diseño de cuadrado latino

Este tipo de diseño permite la evaluación de la variación ambiental en dos direcciones. Por esto, su forma cuando se dispone sobre el terreno, es cuadrada, para cubrir esas dos direcciones. Se trata pues, de un cuadrado en el interior del cual se sitúan las unidades experimentales repartidas en filas y columnas y en el que cada tratamiento se repite una vez por fila y por una columna (figura A25.1), es decir, el número de repeticiones de cada tratamiento es igual al número de filas o de columnas, y a esta cifra común se le llama orden del cuadrado latino. Cuando existe interacción entre dos cualesquiera o entre todos los criterios (columnas, filas y tratamientos), el diseño no es apropiado, pues las pruebas de significancia no son válidas. Es, por tanto, muy importante la suposición de ausencia de interacciones, no debiéndose adoptar el diseño si no se está preparado para asegurar tal ausencia.

Las principales desventajas del uso de este diseño son, al igual que sucedía con los bloques completos al azar, que al aumentar el número de tratamientos, los cuadrados se hacen muy grandes, pues el número de tratamientos es igual al de filas y columnas. Con esto, el error experimental puede aumentar. Por otro lado, con pocos tratamientos se tienen pocos grados de libertad para estimar este error, siendo deseable en tales circunstancias replicar los cuadrados.

3. Otras consideraciones

El mejor diseño será aquel, que asegurando que se hacen las estimaciones precisas y exactas de las diferencias entre medias de tratamientos, presenta la tipología más simple posible en cuanto a su ejecución y análisis. Con este proceder, se minimiza la posibilidad de errores en las distintas etapas del experimento. Se puede calcular la eficiencia relativa de un diseño con respecto a otro (Steel y Torrie 1989). El tamaño y forma de una unidad experimental, al igual que el de un bloque, sea completo o incompleto, es importante respecto a la consecución de la precisión requerida. Se ha demostrado que las unidades experimentales individuales deben ser largas y angostas para lograr la máxima precisión; por su parte, los bloques habrán de tender hacia la cuadratura. Lo anterior permite, para una variabilidad dada entre unidades experimentales, a maximizar la variación entre bloques, a la vez que se minimiza la variación entre unidades dentro de los bloques. Variaciones importantes entre bloques, indican que el uso del diseño ha sido útil puesto que tal variación se elimina del error experimental y, además, no contribuye a las diferencias entre las medias de tratamiento. En terrenos donde se presentan gradientes según curvas de nivel (profundidad del suelo, fertilidad, etc.), la forma rectangular puede ser la más propicia para obtener una mayor precisión, disponiendo los lados largos de las unidades experimentales perpendicularmente a las curvas o paralelamente a la dirección del gradiente (Steel y Torrie 1989).

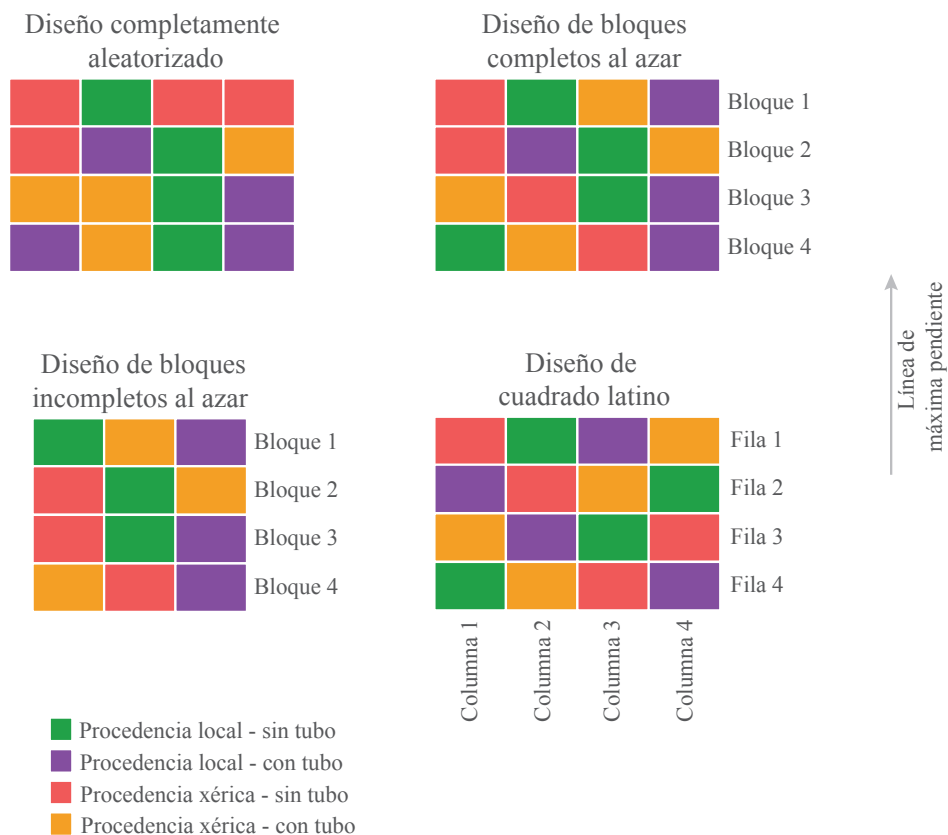


Figura 25A.1. Ejemplo de establecimiento de un dispositivo experimental utilizando cuatro diferentes diseños en los que se pretende estimar si existe un comportamiento diferencial para la supervivencia y el crecimiento de dos lotes de plantas según dos factores: su procedencia (local o de un ambiente más xérico) y su protección con tubo (sin y con tubo protector). Los bloques y filas/columnas se definen de acuerdo con las curvas de nivel en tres de los diseños para intentar que sean lo más homogéneos posible (en el primer diseño no se establecen bloques). Cada celda representa una unidad experimental con 10 plantas.

Casos prácticos

Caso práctico I

Reploblación hidrológico-forestal en los montes Vallecina y Robledo (CUP 100, GU-3034) y Bienes Comunales (GU-3029), término municipal de Retiendas, Guadalajara

Rafael SERRADA HIERRO, José Anastasio FERNÁNDEZ YUSTE,
Carolina MARTÍNEZ SANTA-MARÍA, Valentín GÓMEZ SANZ,
Juan Ignacio GARCÍA VIÑAS

1. Bases teóricas del tipo de restauración

Dentro de las múltiples y simultáneas funciones y servicios que los montes proporcionan, lo relacionado con el ciclo hidrológico es uno de los más trascendentes.

Las demandas que la sociedad humana plantea sobre los ecosistemas en general, y sobre los forestales en particular, han sido denominadas servicios de los ecosistemas, y sistematizadas (Mooney y Cropper 2005; Fundación Biodiversidad 2011) en cuatro tipos o grupos esenciales: de acogida o mantenimiento (*supporting*); de abastecimiento (*provisioning*); de regulación (*regulating*); y culturales o sociales (cultural).

Los montes acogen y mantienen cauces y humedales, abastecen de agua de calidad y en cantidad regulada, laminan las avenidas defendiendo vidas e infraestructuras, y tienen un gran contenido cultural y social relacionado con el agua (Dissmeyer 2000; Dudley y Stolton 2003; FAO 2005; Blumenfeld *et al.* 2009; Birot *et al.* 2011).

Se puede decir que el agua en el monte participa de todos los modos en los que se manifiestan los servicios ecosistémicos, y el papel hidrológico de los montes es el único que realiza los cuatro tipos a la vez. Por eso, los servicios hidrológicos del monte son tan trascendentes y es tan complejo su estudio (Ojea *et al.* 2012).

Sobre el tratamiento del vuelo de los montes, al igual que las operaciones para crearlo allí donde no existe, nos enseña la Selvicultura que tiene que ser sostenible. En relación con el agua, un pasado reciente en España nos ha dado ejemplo y experiencia de cómo cuidar las masas forestales y de cómo hacer para instalarlas con un objetivo preferente protector (control de procesos erosivos, de emisión de sedimentos y reducción de caudales punta). Esta experiencia acumulada constituye un capital técnico y científico bastante desconocido y no siempre bien apreciado. Es de esperar que en el futuro se utilice este capital con mayor provecho que en la actualidad. A divulgar esta experiencia pasada se dedica el presente estudio de caso. Este reconocimiento ha de servir para que en el presente se dedique mayor esfuerzo al mantenimiento de lo realizado, lo que sin abandonar las acciones restauradoras todavía pendientes, se empieza a manifestar como muy prioritario y urgente.

En la figura I.1 se resumen los efectos hidrológicos de las repoblaciones. Si bien es cierto que tradicionalmente se ha prestado especial atención a su papel en la reducción de la erosión y de los caudales punta de las avenidas, en los últimos años la comunidad técnica y científica ha aportado notables desarrollos, tanto desde el punto de vista conceptual como metodológico, para poder identificar y cuantificar todos los efectos hidrológicos del monte (MacDonald y Stednick 2003; National Research Council 2008; Hlásny *et al.* 2013; Podolak *et al.* 2015; Rodríguez-Lloveras *et al.* 2015; Buendía *et al.* 2016; Nadal-Romero *et al.* 2016). También se han desarrollado notables aportaciones para establecer criterios de gestión forestal que permitan contemplar la optimización del conjunto de los servicios hidrológicos que puede prestar el monte (Forestry Commission 2011; Nisbet *et al.* 2011; McLaughlin 2013; Patrick *et al.* 2013).



Figura I.1. Síntesis de los principales efectos hidrológicos de la repoblación.

Estos nuevos planteamientos están trascendiendo de los ámbitos científico-técnicos a los políticos (Farley *et al.* 2005). Es el caso de su inclusión, con un papel relevante, dentro de las denominadas “infraestructuras verdes” (Bertule *et al.* 2014), y también en las “medidas naturales de retención de agua”, que, como consecuencia de la aplicación de la Directiva Marco de gestión del riesgo de inundaciones, están asumiendo un protagonismo notable dentro de los programas de medidas de los planes hidrológicos de cuenca (Magdaleno y Delacámara 2015). Por último, señalar que también se está incorporando al elenco de la gestión forestal el pago por estos servicios hidrológicos (FAO 2008; Stanton *et al.* 2010).

Este breve recorrido pone de manifiesto que en los últimos años estamos asistiendo a una consideración más global e integradora de los servicios hidrológicos del monte, y que se está reclamando una gestión forestal que tenga en cuenta esa consideración más holística de las funciones hidrológicas del monte, gestión que puede y debe ser evaluada y compensada en función de los servicios generados.

En modo alguno estos nuevos planteamientos suponen perder de vista los enfoques más tradicionales vinculados con la protección del suelo y la reducción de avenidas. Es evidente que el conocimiento de las actuaciones realizadas en el campo de la repoblación hidrológica-forestal tiene que contribuir a apreciar el pasado, a analizar el presente y a proyectar el futuro, integrando conocimientos y experiencia en una nueva manera de abordar la optimización de los servicios hidrológicos del monte. Y todo eso sin perder de vista que esa gestión se desarrolla, generalmente, en territorios económicamente deprimidos, donde potenciar el desarrollo rural es una necesidad social y también una obligación moral.

Volviendo al objetivo de protección y regulación hidrológico-forestal, el proyectista tiene a su disposición, tras comprobar sobre el terreno los fenómenos erosivos, todo un amplio cuerpo de doctrina sobre hidrología forestal (López-Cadenas 2003).

La posibilidad de una finalidad protectora de la repoblación se determinará realizando un estudio de los procesos erosivos del monte que determine las evidencias de esos procesos y sus factores desencadenantes, una estimación de las pérdidas de suelo en la actualidad y las que podría tener en caso de llevar a cabo las actuaciones previstas.

La aplicación de modelos como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), y sus versiones mejoradas (RUSLE y RUSLE2), o el modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), es especialmente interesante porque al tratarse de modelos basados en procesos permiten conocer la importancia del papel que, en cada caso concreto, tienen los distintos factores que intervienen en la dinámica erosiva. Además, la cuantificación que ofrecen permite establecer de manera objetiva criterios de prioridad de actuación según rodales, bien considerando la intensidad relativa del fenómeno en su situación actual, bien la eficacia de las actuaciones que pudiesen llevarse a cabo.

Para evaluar los efectos hidrológicos de las repoblaciones a medio y largo plazo pueden emplearse modelos como *Soil and water assesment tool* –SWAT– (Gassman *et al.* 2007), que incluye un submodelo hidrológico, o TETIS, un modelo distribuido desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, que permite obtener, entre otras muchas cosas,

una información muy detallada respecto a los efectos de los cambios en los usos del suelo sobre el régimen hidrológico (Buendía *et al.* 2016).

La valoración en términos monetarios de los beneficios que la masa forestal que se va a crear proporcionan, es una cuestión aún no resuelta, aunque la comunidad científica está aportando criterios y métodos cada vez más adecuados y completos (Stanton *et al.* 2010; Laterra *et al.* 2011; United Nations 2014).

Por tanto, en el caso concreto de las masas de protección hidrológica, no se dispone de unos criterios ampliamente aceptados que permitan la valoración económica de sus beneficios, por lo que no es habitual encontrar, ni requerir, un estudio de la rentabilidad directa de la inversión en repoblación, aunque, lógicamente, este mayor grado de libertad en la decisión de las repoblaciones protectoras debe ser restringido con un proyecto exigente en cuanto a la minimización de costes de ejecución de los trabajos y en cuanto a la eficacia temporal y cualitativa de la masa a crear en relación con la protección del suelo. Una alta erosión es condición necesaria, aunque no suficiente, para tomar la decisión de objetivo preferentemente protector, pues preferencias de tipo sociológico pueden aconsejar otros fines.

2. Caracterización de la zona de restauración

En este epígrafe se presentará, en primer lugar, una breve información sobre el estado legal de los montes y sobre su evolución. A continuación se dará cuenta de los datos y condicionantes del medio natural que mayor trascendencia tuvieron en el proyecto y ejecución de la repoblación.

2.1. Estado legal

En 1945 se inicia la construcción del Embalse de El Vado, sobre el río Jarama en un punto que sirve de límite a los términos municipales de Valdesotos y Retiendas (Guadalajara). La obra se termina en 1950 y entra en servicio en 1954. La capacidad del embalse es del orden de 56 hm³, la presa cierra una cuenca de unas 38200 ha, tiene una lámina de agua en máxima cota de embalse (924 msnm) de 260 ha. Su función es reforzar el abastecimiento de agua potable a Madrid a través del Canal de Isabel II. El estado de la cuenca y de zonas cercanas al vaso de embalse presentaba en aquella época fuerte erosión (figura I.2). Se establece colaboración entre el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Agricultura para la restauración hidrológico-forestal de la cuenca (López-Cadenas 1955).

En mayo de 1952 se redacta la Memoria Informativa para Consorcio de repoblación forestal de unas 150 ha del monte Bienes Comunes, propiedad del Ayuntamiento de Retiendas, por parte de la Brigada de Ávila-Segovia-Guadalajara de la 4ª División Hidrológico-Forestal. De acuerdo a esta Memoria, la Dirección General del Patrimonio Forestal del Estado aprueba las Bases del Consorcio GU-3029 en junio de 1952. El mismo procedimiento se sigue para aprobar las Bases del Consorcio GU-3034 para unas 468 ha del monte Vallecina y Robledo, propiedad del Ayuntamiento de Retiendas, colindante con el anterior y nº 100 del CUP de Guadalajara, en 30 de julio de 1952. Total superficie

consorciada sobre Catastro de 618 ha. Esta superficie afecta, en su zona norte, al Embalse de El Vado con el que resulta colindante, y en su mayor parte, las cuencas de los Arroyos de La Virgen y de Valdelabada (ver figura I.3), a un futuro embalse aguas abajo de El Vado, embalse de Bonaval, que fue proyectado y no se llegó a construir (Ministerio de Obras Públicas 1954).

La entrega del monte nº 100 del CUP para su repoblación se produce en 18 de octubre de 1952 por parte de la 3ª Sección del Distrito Forestal de Guadalajara (D. Rafael Benito Irigoyen) a la Brigada de Ávila-Segovia-Guadalajara de la 4ª División Hidrológico-Forestal (D. Celso Gómez Pedraza).

En las Memorias citadas, en el aspecto socioeconómico, se menciona la actividad previa del pastoreo en los montes y la necesidad de realizar gradualmente dicha repoblación para no interferir en esta actividad. Por otra parte, se indica que en los pueblos colindantes existe mano de obra suficiente, que entrará en paro al concluir las obras de construcción del embalse.

Se inicia la repoblación en 1955 con preparación del suelo mediante ahoyado manual y casillas de siembra bajo la dirección de Celso Gómez Pedraza. En 1957 se hace cargo de los trabajos Filiberto López-Cadenas, quien finaliza en 1964 las repoblaciones forestales.

En junio de 1970 se realiza inspección (1ª Inspección Regional del PFE) y se levanta Acta de Confrontación de los trabajos realizados, cuyo resumen es el siguiente: repoblación conseguida en ambos montes del orden de 428 ha (88 en GU-3029; 340 en GU-3034) entre 1956 y 1964, con un ritmo del orden de 50 ha por año; reposición de marras en 135 ha; coste unitario de la repoblación del orden de 4800 pts ha⁻¹. Se exponen los procedimientos de preparación del suelo aplicados, que más adelante se describen.

En 1971, tras la desaparición de las Divisiones Hidrológico-Forestales y la unión del Patrimonio Forestal de Estado y la Dirección General de Montes para formar el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), este organismo autónomo se hace cargo de la gestión a través de su Servicio Provincial de Guadalajara.

En 1984 se producen las transferencias en materia de montes desde el ICONA a las Comunidades Autónomas y a partir de esta fecha es la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha la administración responsable de la gestión. En 2012 se inicia el trámite de anulación de los consorcios GU-3029 y GU-3034 y de condonación de la deuda del Ayuntamiento de Retiendas, con integración del monte Bienes Comunales en el MUP nº 100. Culmina este proceso con la publicación en DOCM nº 3 de 7 de enero de 2014 de la Resolución de la Consejería de Agricultura de rescisión de los consorcios y dando como superficie final del monte nº 100 del CUP (Vallecina, Robledo y Bienes Comunales), tras descontar expropiaciones de la CH del Tajo, 420,73 ha pobladas. Esta será la superficie de referencia a partir de ahora.

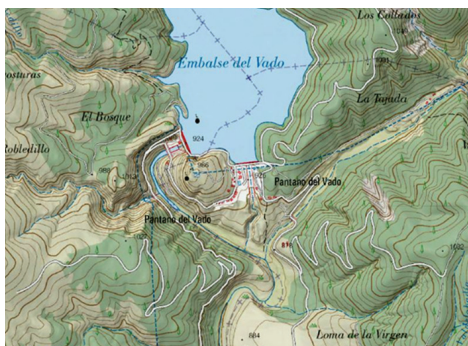
En la figura I.2 se presentan ortofotos de la zona del Embalse de El Vado en fechas más o menos coincidentes con algunas de las citadas. El monte Bienes Comunales y parte de CUP 100 aparecen en el cuadrante inferior derecho.



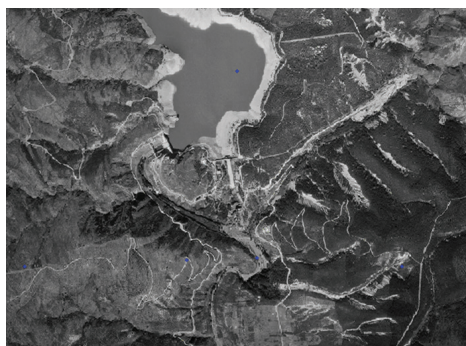
Vuelo Americano Serie A 1945-1946
(Fototeca Digital, IGN).



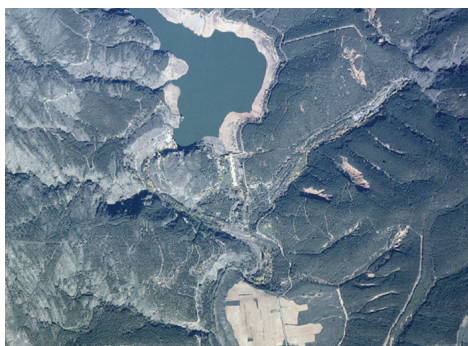
Vuelo Americano Serie B 1956-1957
(Fototeca Digital, IGN).



Iberpix. Topográfico 1:50000.



Vuelo Interministerial 1973-1986
(Fototeca Digital, IGN).



Vuelo Nacional 1993-2003
(Fototeca Digital, IGN).



Vuelo nacional 2015
(Fototeca Digital, IGN).

Figura I.2. Ortofotos de la zona de localización del Embalse de El Vado en diferentes épocas. Se observan estados erosivos y resultados de la repoblación. En el mapa topográfico se observan comunicaciones y líneas de término municipal, siendo el de Retiendas el de la zona inferior derecha.

2.2. Estado natural

La superficie en estudio, las 421 ha repobladas entre 1956 y 1964, cuyo perímetro aparece en la figura I.3, tenía unas características y condicionantes derivados de su estado natural que se exponen resumidos a continuación.

En toda la extensión estudiada, el sustrato geológico es una formación superficial de carácter aluvial, conocida como raña. De edad miocénica, se corresponde con un material sedimentario detrítico, poco consolidado, no carbonatado, en la que destaca una matriz de textura muy heterogénea de tierra fina, rica en óxidos de hierro –color rojizo–, que soporta elementos gruesos de esquistos y cuarcitas, predominantemente redondeados.

Se trata de una litofacies de gran vulnerabilidad frente a la erosión hídrica y al abarrancamiento, pues a su falta de consistencia, con gran facilidad para el desmoronamiento, se une notable impermeabilidad, que potencia el flujo superficial de agua. Consecuentemente, es muy frecuente la presencia de cárcavas, que destacan en el paisaje por el color rojizo de la raña (figura I.5).

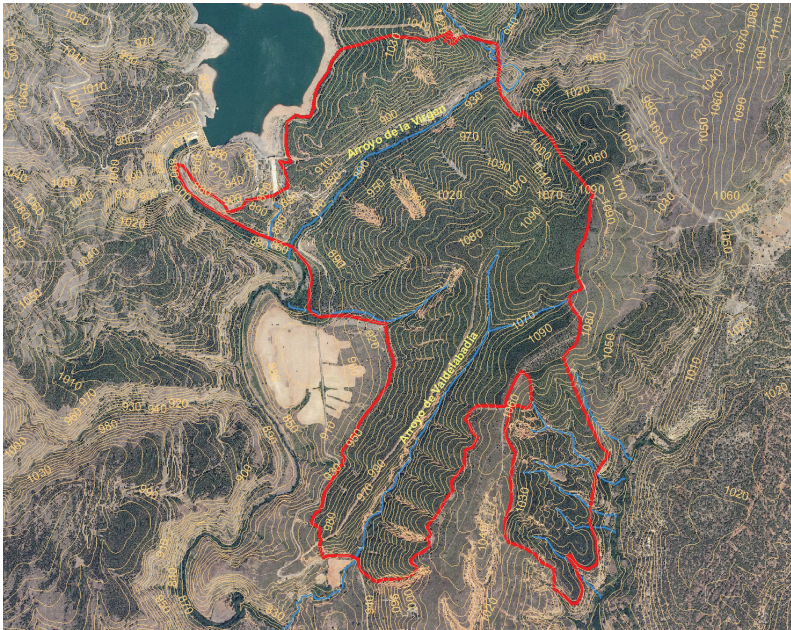


Figura I.3. Perímetro del monte nº 100 del CUP Vallecina, Robledo y Bienes Comunales (Retiendas, Guadalajara).

En relación con la fisiografía, el rango altitudinal va desde 900 a 1100 m sobre el nivel del mar, altitud media 1000 m. Las exposiciones son laderas alternantes de exposición a NW y SE. Las pendientes entre el 15 y el 35% ocupan aproximadamente el 40% de la superficie y las comprendidas entre el 35 y el 55% representan el 30%.

En relación con el clima, los datos procedentes de la estación del Embalse de El Vado, dan la información respecto del año medio en la tabla I.1. Se corresponde con un clima nemoromediterráneo genuino (VI (IV)₂) de la clasificación fitoclimática de Allué (1990), como se comprueba en el climodiagrama de la figura I.4.

Tabla I.1. Resumen de datos climáticos de la estación nº 3103 Pantano de El Vado (altitud: 980 metros; años de registro: 52 (1951-2002)) (fuente: AEMET).

Meses	Precipitación media mensual Pi (mm)	Temperatura máxima absoluta mensual Ci (°C)	Temperatura mínima absoluta mensual Fi (°C)	Temperatura media de las máximas mensuales TMMCi (°C)	Temperatura media de las mínimas mensuales TMMFi (°C)	Temperatura media mensual Ti (°C)
Enero	90,5	21,0	-11,0	8,5	-0,0	4,2
Febrero	71,6	22,0	-10,0	9,9	0,4	5,2
Marzo	62,2	26,0	-6,0	12,9	2,3	7,6
Abril	71,8	28,0	-4,0	14,8	4,1	9,5
Mayo	73,5	33,0	-1,0	19,4	7,7	13,6
Junio	48,6	36,0	2,0	24,7	11,1	17,9
Julio	22,6	39,0	3,0	29,6	14,1	21,8
Agosto	18,0	40,0	5,0	29,6	14,0	21,7
Septiembre	47,6	38,0	1,0	25,2	11,3	18,2
Octubre	83,0	31,0	-1,0	18,2	7,4	12,8
Noviembre	96,5	28,0	-6,0	12,6	3,3	8,0
Diciembre	106,9	24,0	-9,0	9,4	1,0	5,2
Anual	792,8	40,0	-11,0	17,9	6,4	12,1

K = 0,072

A = 2,32

P = 792,8

PE = 18,0

HS = 1

TMF = 4,2

T = 12,1

TMC = 21,8

TMMF = 0,0

F = -11,0

OSC = 11,5

TMMC = 29,6

C = 40,0

HP = 7

VI(IV)₂

NEMOROMEDITERRÁNEO

GENUINO

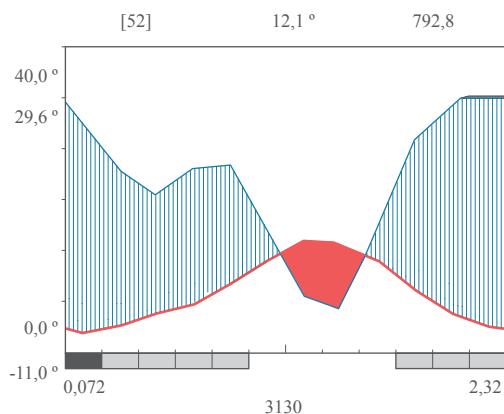


Figura I.4. Climodiagrama de la estación de Pantano de El Vado, representativo del clima del monte en estudio.

En relación con la vegetación existente antes de la repoblación, consecuencia de actividades pastorales y de roturaciones para cultivo agrícola (ver figuras I.2 y I.5), en las memorias informativas para consorcio que se han citado, se indica textualmente: “ausencia total de portes arbóreos en todo el terreno consorciado; matorral bastante denso en su totalidad y en su composición florística predomina *Cistus ladanifer*, en menor proporción *Quercus ilex* en forma achaparrada, enebros, aliagas y espliegos”. En zonas colindantes no repobladas, a pesar de la desaparición del pastoreo en los últimos 20 años, la vegetación actual es similar a la descrita.



Barranco de Valdelabada en el MUP 100 en 1941 (©DGB-INIA) y situación en 2016 (foto: R Serrada).



Abarrancamiento sobre raña en el Barranco de Celestino, en el límite sur de la zona de estudio, en 2015 (fotos: R Serrada).

Figura I.5. Aspecto de la cubierta vegetal antes y después de la repoblación y de los abarrancamientos sobre raña propios de la zona.

En cercanía a la zona repoblada aparecen añosos ejemplares sueltos y trasmochados de *Quercus pyrenaica* y *Quercus faginea*, que indican una antigua e intensa actividad pastoral.

Bajo estas condiciones, los suelos desarrollados están muy determinados por la singularidad del material mineral de partida o roca madre (raña). Si bien el componente tierra fina es el dominante, la elevada presencia de elementos gruesos condiciona aspectos como la profundidad y la capacidad de retención de agua, que suelen ser reducidas. La tierra fina es de textura franca-arcillosa, de lo que se deduce una permeabilidad global escasa, con manifestación frecuente de discontinuidades por cambio en la abundancia de

las fracciones más finas. La materia orgánica aportada por el jaral no es de buena calidad para la humificación, con lo que son suelos deficientemente humíferos. Finalmente, y desde un punto de vista químico, son suelos totalmente descarbonatados, de reacción moderadamente ácida y libres de influencia salina.

En epígrafe posterior, dedicado a presentar los efectos de la repoblación que se describe, se presentan resultados de la analítica edáfica en dos situaciones: en jaral que puede indicar las condiciones antes de la repoblación; y en pinar repoblado con edad de referencia de 50 años. Dichos resultados justifican las propiedades edáficas que se han expuesto.

3. Actuaciones de restauración

Se incluye en el presente epígrafe información sobre el proceso repoblador, agrupando en planificación, ejecución y mantenimiento.

3.1. Planificación

Teniendo en cuenta los antecedentes que se han expuesto, los muy notables procesos erosivos con abarrancamiento y reciente construcción del Embalse de El Vado, es evidente que el objetivo preferente de la repoblación fue la protección hidrológico-forestal en todo el monte.

La división en rodales se fundamentó en la pendiente, condicionante de las posibles alternativas de preparación del suelo que luego se exponen.

Se consideraron como especies compatibles a: *Pinus pinaster*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Quercus ilex* y *Quercus pyrenaica*. Se da como especie preferente a *Pinus pinaster*. La elección de especie, como se verá en la ejecución, se centra en *Pinus pinaster* y se utilizan, secundariamente, las otras cuatro especies mencionadas.

Como método de repoblación se aplican los dos posibles: plantación de modo generalizado para los pinos; y siembras por casillas para encinas y rebollos (Epifanio Moreno, com. pers.) y, en pendientes muy bajas, siembra por fajas para el pino rodeno (Acta de Confrontación 1970).

Finalmente, dentro de la planificación y en relación con la densidad inicial, en plantaciones se programa marco de 2×2 m, es decir densidad de 2500 pies ha⁻¹.

3.2. Ejecución

La preparación del suelo fue diferente según las pendientes:

- en zonas llanas, pendiente inferior al 15%, se realizó un laboreo similar al agrícola con tracción animal y se sembró pino rodeno en fajas a voleo. Se trata de muy escasa superficie.
- en zonas de pendiente superior al 15% e inferior al 45%, la mayor parte de toda la superficie repoblada, se realizó una preparación del suelo con acaballado mediante arado Bravant con tracción de bueyes (figura 1.6).
- en zonas con pendiente superior al 45%, se prepara el suelo mediante ahoyado manual.

En relación con los desbroces, el espeso matorral de jara pringosa es tratado mediante desbroce selectivo, parcial y por arranque, que fue por puntos en rodales con preparación por ahoyado manual, y en líneas en rodales con preparación del suelo por acaballonado con tracción animal.

En relación con la introducción de las nuevas especies, en la exposición se distingue entre siembras y plantaciones:

- Las siembras de pino rodeno en fajas a voleo se hicieron en muy pequeña extensión y no se amplía comentario. Las siembras por casillas con tres o cuatro bellotas de encina y de rebollo se hicieron en los primeros años (1955, 1956 y 1957) en una superficie de unas 138 ha, sobre una preparación del suelo por ahoyado manual con plantación de pino rodeno como especie principal (Epifanio Moreno, com. pers.). En estos rodales, repoblados antes de la llegada de los bueyes, hubo muchas marras que fueron repuestas tras realizar el acaballonado, plantando pino rodeno, pino salgareño y pino silvestre. Posteriormente se informa sobre resultados dasométricos de estos rodales.
- Las plantaciones, forma generalizada de realizar la introducción de la nueva vegetación en ambos modos de preparación del suelo, se hicieron con plantas procedentes del vivero de Júcar. Se trataba de plantas a raíz desnuda de dos savias, de pino rodeno y, en menor medida, de pino salgareño y de pino silvestre. Se colocaban, cuando las había en cercanía, tres grandes piedras alrededor de la planta, a modo de castillete, con el fin de evitar la vegetación competidora, reducir evaporación del suelo y proteger del viento. Muchos de estos castilletes son reconocibles en la actualidad (figuras I.6 y I.7).



Primeros bueyes que se destinan a la preparación del suelo mediante acaballonado con Bravant Celestino en Guadalajara.



Detalle de los acaballonados con desbroce simultáneo y de las tres piedras colocadas alrededor de las plantas tras su plantación.

Figura I.6. Preparación del suelo en el año 1958 (©DGB-INIA).

En algunos rodales se pusieron dos o tres plantas por postura; practica basada en pensar que la muerte de una no requería la reposición de marras. La realidad es que el fallo solía ser generalizado y el acierto da lugar a una excesiva competencia entre plantas que es necesario resolver con claras sistemáticas o deshermanamientos (figura I.7).



Aspecto general de masa mixta de pinos rodeno y salgareño sobre acaballonado.

Detalle de un punto de plantación con dos plantas sin deshermanamiento y las tres piedras del castillete.

Figura I.7. Aspecto de la repoblación en el año 2008. Se aprecia la preparación del suelo y ciertas prácticas, como la plantación de varias plantas por postura y los castilletes (fotos: R Planelles).

3.3. Mantenimiento

En una primera fase, expuesta en el Acta de Confrontación de 1970, se cita la realización de operaciones de "limpias de arbolado" aplicadas a la totalidad de la superficie arbolada en esa fecha. Esta operación se supone que consiste en un deshermanamiento y un desbroce puntual alrededor de la planta, si resulta necesario.

Posteriormente se hicieron claras, en diferentes superficies que no alcanzan a la totalidad del monte, en 1985, 1988, 1993, 1995, 2012 y 2015, es decir, a edades de la masa del orden de 25, 35 y 45 años, con rotación de unos 10 años. Todas estas claras han sido autofinanciadas e incluso han proporcionado ingresos a la entidad propietaria. Los ingresos procedentes de las claras entre 1985 y 2015 alcanzan el importe de 85200 € (Pedro Díaz, com. pers.). Quedan rodales en los que nunca se han realizado claras, sobre todo en los bordes de las cárcavas.

4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

Los resultados y efectos de la repoblación del monte Vallecina, Robledo y Bienes Comunales de Retiendas se van a exponer en diferentes aspectos: efectos hidrológicos –con especial atención a los de protección hidrológica en relación con su función preferente–; características de la masa lograda en relación con la composición específica de los rodales de masa mixta; estado de la masa pura de pino rodeno y estudios sobre claras que en ella se han desarrollado; efectos de la repoblación sobre el suelo y capacidad de fijación de CO₂; otras funciones o servicios.

4.1. Efectos hidrológicos

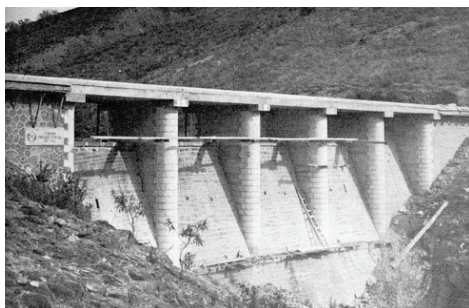
4.1.1. Sobre los procesos de erosión y emisión de sedimentos

Desgraciadamente no se dispone de mediciones directas, por lo que los efectos sólo pueden evaluarse de manera indirecta a partir de observaciones y/o modelos.

Observaciones

La mayor parte de la superficie repoblada se corresponde con las cuencas de los Arroyos de La Virgen y de Valdelabadía (ver figura I.3). En ambos arroyos, y como complemento del trabajo global de restauración hidrológico-forestal, se realizaron diques de cierre.

El dique de cierre del Arroyo de la Virgen es un dique de gravedad, de planta recta, de mampostería hidráulica con mechinales, de 11 m de altura. Sobre él se instalan los apoyos, a modo de puente, para soportar la carretera de Retiendas al embalse de El Vado. Tras más de 50 años de funcionamiento, el dique presenta una muy buena estabilidad estructural y su aterramiento no ha llegado aún al muro del dique (figura I.8). El hecho de que no se haya producido el aterramiento completo indica la eficacia hidrológica de las repoblaciones de esta cuenca.



Dique de cierre del Arroyo de La Virgen durante su construcción en 1954 (©DGB-INIA, de López-Cadenas 1965) y en 2008 (foto: R Planelles).



Vista aguas arriba desde el dique de cierre del Arroyo de La Virgen en 2008. Ausencia de aterramiento y panorámica de la cuenca repoblada (foto: R Planelles).



Dique de cierre del Arroyo de Valdelabadía en 2016 (foto: R Serrada).

Figura I.8. Diques de cierre y su funcionamiento.

El dique cierre del Arroyo de Valdelabadía es un dique de gravedad, de planta recta, de mampostería gavionada, de 5 m de altura. Construido hacia 1955, se completa su aterramiento hacia 1975, 20 años después, y requiere reparación parcial del vertedero por

causa de roturas en la malla por golpeo de las piedras que sobre él circulan. En 1980 se realiza un recrecimiento de 1 m de su altura útil y hasta el presente, 35 años después, el aterramiento del recrecimiento no se ha completado. Este hecho también indica la eficacia hidrológica de las repoblaciones realizadas (figura I.8).

La imagen de la figura I.9 corresponde al fotograma del PNOA de máxima actualidad y muestra la diferencia entre la cuenca del arroyo de Valdelabadía y la del arroyo del Pueblo. Las dos cuencas tienen características idénticas en lo que a litología, fisiografía y exposición se refiere, por lo que las evidentes diferencias de intensidad y magnitud de los procesos erosivos que se aprecian sólo pueden ser debidas al efecto de la repoblación.

En cuanto a la emisión de sedimentos, y como se acaba de señalar, en el arroyo de Valdelabadía el dique de cierre no está aterrado después de más de 35 años tras un recrecimiento de un metro. Sin embargo, en el arroyo del Pueblo, el dique de cierre, siendo considerablemente más alto, lleva muchos años aterrado y los sedimentos, de granulometría considerable, siguen pasando por el vertedero (figura I.10): la emisión de sedimentos en una cuenca sin labores de restauración forestal sigue activa.

Modelos

La repoblación reduce: i) la energía cinética de la lluvia, la esorrentía –al incrementar la infiltración–, ii) la capacidad erosiva del flujo superficial –al contribuir con sus restos a disipar la energía cinética del flujo–, iii) la longitud de ladera efectiva –al dificultar la circulación en línea de máxima pendiente–, y iv) mejora la permeabilidad del suelo –gracias al efecto de sus sistemas radicales y al que sobre la estructura edáfica tiene la incorporación de materia orgánica–.

Estos efectos pueden cuantificarse, al menos teóricamente, aplicando la USLE para las condiciones antes y después de la repoblación. No se trata aquí de hacer una aplicación detallada de este modelo; para disponer de un orden de magnitud del efecto de la repoblación sobre la erosión laminar y en regueros, únicamente se valorará el cambio en el factor C, que pasaría de 0,04 –correspondiente al estado inicial: un jaral denso–, a 0,011 –correspondiente a un pinar con una fracción de cubierta del 90%–. Únicamente considerando este cambio, la erosión laminar y en regueros sería actualmente del orden del 30% de la que correspondería a la situación inicial.

4.1.2. Sobre la calidad del agua.

Los trabajos de Martínez (2006) en el tramo aguas abajo de la presa del Vado, recogen la evaluación, en el arroyo de la Virgen, del índice de calidad biológica IBMWP (macroinvertebrados). Teniendo en cuenta los umbrales que para este índice establece el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, al arroyo de la Virgen le corresponde una calificación de “bueno”.

No hay forma de conocer el valor que este índice tendría antes de la repoblación, pero teniendo en cuenta la gran cantidad de arcilla presente en la litofacies predominante en la cuenca, y la intensidad de los procesos erosivos que se manifiestan en ausencia de cubierta



Figura I.9. Estado actual de la cuenca del arroyo de Valdebadia –repoblada– y de la cuenca del arroyo del Pueblo –sin repoblar–. Se aprecia fácilmente la magnitud e intensidad de los procesos erosivos de abarrancamiento en esta última (foto: IBERPIX).



Figura I.10. Dique de cierre en el arroyo del Pueblo. El vaso está completamente aterrado. Al pie del paramento se aprecian los materiales aportados por la última avenida (foto: JA Fernández).

arbórea, es más que probable que limos y arcillas sellasen una parte muy considerable de los huecos entre los cantos del lecho, limitando mucho el desarrollo de una adecuada comunidad de macroinvertebrados de calidad.

En el caso de agua de boca, en España no se dispone de datos que permitan ofrecer cifras del efecto de la cubierta forestal sobre la calidad. Ernst (2004), a partir de los datos obtenidos en una encuesta a 24 empresas de suministro de agua potable, concluye que un incremento en la fracción de cabida cubierta del 10% puede suponer una reducción de los costes de depuración del 12%; estabilizándose a partir del 70-75%. En el caso de la

repoblación que nos ocupa, es muy importante tener en cuenta este efecto, ya que buena parte se desarrolla sobre una importante superficie de la cuenca vertiente al embalse de El Vado, estratégico para el abastecimiento a Madrid, y que actualmente tiene reconocida una calidad excepcional de sus aguas (Demarcación Hidrográfica del Tajo 2015).

4.1.3. Sobre la cantidad de agua

El efecto del incremento de la masa forestal sobre las aportaciones, ya sean anuales o mensuales, es un tema bastante controvertido, porque dicho efecto puede cambiar mucho dependiendo de un número importante de factores (Forestry Commission 2011): la escala de la cuenca, la edad de la masa, el área basimétrica, el clima de la estación o las especies dominantes, entre otros.

Para las características de la masa aquí considerada no hay resultados contrastados sobre el efecto en las aportaciones. Aceptando los valores que se sugieren en Cumming (2001) de una reducción del 3% de las aportaciones por cada 10% de incremento de la cubierta forestal, el efecto de la repoblación en la reducción de las aportaciones estaría siempre por debajo del 30%.

Es necesario indicar, siguiendo las recomendaciones de Davie y Fahey (2005), que un porcentaje como el reseñado en el párrafo anterior no puede ser utilizado para cuantificar el efecto en una situación concreta, porque la variabilidad de factores que intervienen hacen inaceptable su aplicación generalizada, aunque sí puede servir para tener una idea del orden de magnitud que, como promedio, cabe esperar del efecto del incremento de la masa forestal sobre las aportaciones de la cuenca.

4.1.4. Sobre las avenidas

El efecto fundamental de la masa forestal es la reducción del coeficiente de escorrentía, reducción que se atenúa a medida que aumenta el periodo de retorno del aguacero considerado. También incrementa el tiempo de concentración, aunque ese aumento tiene un efecto reducido sobre los caudales punta.

Hay un consenso prácticamente generalizado a la hora de asumir que el efecto del incremento de la superficie forestal en la reducción de los caudales punta de las avenidas es significativo sólo para aguaceros correspondientes a periodos de retorno bajos y medios –hasta 25 o 50 años– (FAO 2005; López-Moreno *et al.* 2006).

Los cambios en el coeficiente de escorrentía vendrán determinados por la modificación que la repoblación impone sobre el número de curva (NC), que pasará de un valor estimado (Estos valores de NC se han estimado utilizando las tablas de P_0 incluidas en la versión actualizada de la Instrucción 5.2-IC, recientemente publicada (BOE del 10 de marzo de 2016). Para el jaral se ha seleccionado la entrada “formaciones de matorral denso o medianamente denso”, y para el pinar “bosques de coníferas de hojas aciculares”. En ambos casos se ha considerado el grupo hidrológico de suelo “C”) para las condiciones previas a la repoblación de $NC_{\text{antes}} = 70$, a un valor para el estado actual de $NC_{\text{después}} = 62$.

Se ha aplicado el método racional para estimar el caudal punta correspondiente a la precipitación con periodo de retorno de 10 años –estimada con MAXPLU–, tanto para la

situación previa a la repoblación como para su estado actual. La reducción del coeficiente de escorrentía implica que el caudal para el estado actual sería del orden del 64% del correspondiente a la situación inicial (jaral denso); en otras palabras, la repoblación induce una reducción del orden del 36% del caudal correspondiente a un periodo de retorno de 10 años.

Es importante tener en cuenta que las cifras ofrecidas en este epígrafe, dedicado a presentar los efectos hidrológicos de la repoblación, deben tomarse como lo que son: un orden de magnitud que debe interpretarse como una primera aproximación de los efectos cuantitativos de este tipo de actuaciones en los procesos hidrológicos y que sólo un trabajo específico, considerando adecuadamente tanto las características de la estación como las de la masa, permitirá obtener cifras más precisas y ajustadas a la realidad.

4.2. Características de la masa mixta

Los rodales en los que en 1955, 1956 y 1957, cuya extensión como se ha expuesto es de 138 ha, se realizó primero un ahoyado manual con plantación de pino rodeno y siembra por casillas de rebollo y encina, con manifestación de numerosas marras que fueron repuestas mediante acaballonado y plantación posterior de pinos rodeno, salgareño y silvestre, presentan en la actualidad una interesante composición y estructura. En la tabla I.2 se presentan, resumidos, datos obtenidos por Hierro (2009), que se comentan a continuación.

La densidad total es de 876 pies ha⁻¹, con valores relativos por especies en la tabla I.2. Tiene la masa unos 36 m² ha⁻¹ de área basimétrica, e índice de Hart del 21%. La edad de referencia de los pinos es de 45 años, mientras que la de los rebollos y encinas es de 52 años (figura I.11).

Tabla I.2. Inventario (16 parcelas en total) de la densidad (pies ha⁻¹) del rodal 1d de masa mixta en el monte Bienes Comunes de Retiendas (Hierro, 2009).

Clase diamétrica	<i>P. pinaster</i>	<i>P. nigra</i>	<i>P. sylvestris</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. ilex</i>
5		33	6	36	29
10	3	48	14	9	16
15	14	55	16		2
20	50	69	31		
25	144	86	16		
30	105	37	7		
35	33				
40	13				
45	4				
Total	366 (42%)	328 (37%)	90 (10%)	45 (5%)	47 (6%)

El mayor diámetro medio, 30 cm, corresponde al pino rodeno que alcanza las máximas alturas medias, de 14 m. Los rebollos y encinas, a pesar de tener una edad superior a los pinos del orden de 7 años, presentan diámetros medios inferiores a 10 cm y alturas medias del orden de 5 m.

El estudio de esta masa influyó en las recomendaciones de elección de masas mixtas (binomio pino-quercínea) para repoblaciones protectoras, dando mayor densidad a los pinos para una mayor eficaz protección inicial, que se proponen en Serrada (2000).



En 2009, se aprecian encinas, rebollos y pinos silvestres (foto: A San Miguel).



En la ejecución de una clara en 2015, se aprecian rebollos y pinos salgareños (foto: R Serrada).

Figura I.11. Rodales con masa mixta.

4.3. Masa pura de pino rodeno y estudios sobre claras

CIFOR-INIA instala, en 1986, un dispositivo experimental para estudiar el efecto de las claras, dentro de la misma especie –*Pinus pinaster*– y edad, en diferentes calidades de estación (Ortega *et al.* 1997). En ese momento, la masa tiene una edad de referencia de 30 años.

Ese año se replantean parcelas en tres calidades de estación identificadas por la altura dominante a igualdad de edad, numeradas como: 1, Ho de 12,5 m; 2, Ho de 10,5; y 3, Ho de 9 m. La explicación a la diferente calidad se relaciona con la pendiente y con la profundidad edáfica, ya que las condiciones climáticas similares.

Se realiza una primera clara en 1986, es decir a la edad 30 años, una segunda clara en 1995, a una edad de 39 años y una tercera clara en 2005, con una edad de 49 años.

En 2015 se realizó otro inventario. En la tabla I.3 y en la figura I.12 se presentan resultados resumidos y gráficos que ayudan a comprender el estado de la masa y su evolución. En la figura I.13 aparece el aspecto actual de las parcelas en calidades extremas.

Se comprueba, con la información apuntada, el buen resultado de la repoblación forestal en relación con el crecimiento maderable y la eficacia y necesidad del régimen moderado-débil de claras aplicado, de cara a mantener la estabilidad de la masa y su función protectora.

Tabla I.3. Resumen de resultados de la experiencia sobre claras y calidad de estación en el monte Vallecimay Robledo de Retiendas (Guadalajara) realizada por INIA (datos de Ortega *et al.* (1997) y Gregorio Montero (com. pers.)).

Calidad	Edad de la masa inventariada (año de inventario)	Altura dominante Ho (m)	Densidad antes de la clara Nac (pies ha ⁻¹)	Densidad después de la clara Ndc (pies ha ⁻¹)	Área basimétrica antes de la clara ABac (m ² ha ⁻¹)	Área basimétrica después de la clara ABdc (m ² ha ⁻¹)	Volumen antes de la clara Vac (m ³ ha ⁻¹)	Volumen después de la clara Vdc (m ³ ha ⁻¹)	Peso de la clara en valor relativo de la área basimétrica Peso AB (%)	Crecimiento medio de la masa sin contar volumen extraído ImV (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	Índice de Hart después de la clara IHdc (%)
1	30 (1986)	12,5	2125	1080	47,6	31,3	243	167	34,3	8,1	25,2
	39 (1995)	15,3	1035	775	44,1	35,4	292	236	19,6	9,5	24,3
	49 (2005)	18,5	770	580	47,7	37,9	374	299	20,6	7,6	23,4
	59 (2015)	20,0	580	-	46,3	-	409	-	-	6,9	21,5
2	30 (1986)	10,6	2290	1280	51,9	34,1	235	158	34,3	7,8	27,4
	39 (1995)	12,5	1280	905	49,6	37,7	278	213	24,1	9,1	27,4
	49 (2005)	14,9	905	665	52,0	40,0	346	267	23,1	7,1	27,0
	59 (2015)	16,5	665	-	49,8	-	372	-	-	6,3	24,4
3	30 (1986)	8,9	2280	1240	40,1	26,1	150	102	34,8	5,0	33,2
	39 (1995)	10,5	1210	870	37,3	29,2	174	138	21,7	5,8	33,6
	49 (2005)	12,6	870	760	40,1	36,4	221	199	10,2	4,5	30,0
	59 (2015)	13,8	760	-	43,6	-	263	-	-	4,4	27,2

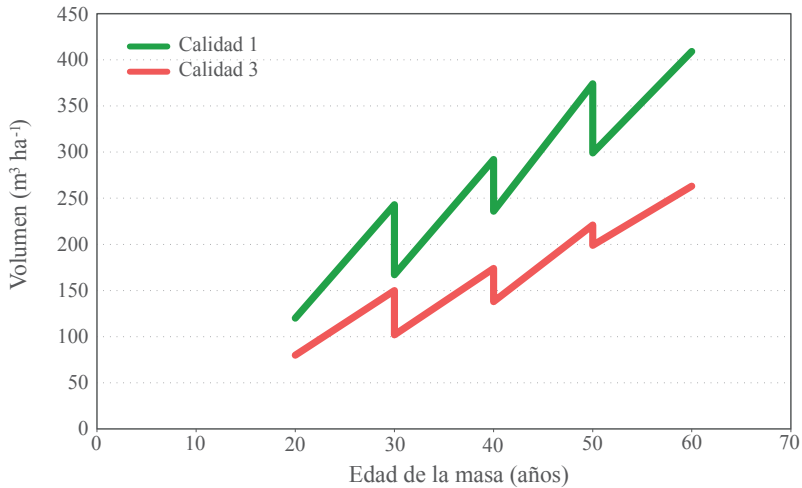


Figura I.12. Representación gráfica del volumen en pie en las parcelas de calidades extremas (datos de Ortega *et al.* 1997 y Gregorio Montero (com. pers.)).



Parcela de calidad 3, sometida a 3ª clara en 2005.

Parcela de calidad 1 sometida a 4ª clara en 2015.

Figura I.13. Vistas del año 2015 de parcelas de experiencias de claras del INIA (fotos: R Serrada).

4.4. Efectos de la repoblación sobre el suelo y la fijación de CO₂

Con el fin de comprobar los efectos de la repoblación en el suelo, en diciembre de 2014 se tomaron muestras en dos calicatas muy cercanas entre sí y a la misma altitud de 970 m s.n.m., ambas con 45% de pendiente y orientación SW, situadas en el límite sur de la repoblación, separadas por el barranco de Celestino (figura I.14): una en su margen derecha, sobre repoblación de pino rodeno de unos 50 años de edad en la que nunca se han hecho claras; otra en su margen izquierda, sobre un jaral que representa el estado inicial de la repoblación o, con más propiedad, la situación alcanzada al haberse realizado la misma.



Panorámica del Barranco de Celestino en 1980 (foto: R Serrada) y en 2009 (foto: A San Miguel).



Localización de las calicatas (sobre ortofoto PNOA, puntos verdes).

Figura I.14. Localización y aspecto de zonas repoblada y sin repoblar elegidas para el estudio comparativo.

En la figura I.15 se presentan imágenes de cada calicata y de su entorno. La masa de pinar tiene 50 años de edad, 2200 pies ha⁻¹, diámetro medio de 16,6 cm, área basimétrica de 54,3 m² ha⁻¹ y altura dominante de 12 m. El jaral tiene fracción de cubierta del 80% y altura media de 130 cm.

Tras recibir los resultados analíticos de las muestras remitidas al laboratorio de ITAGRA (Palencia), se elaboran parámetros edáficos que quedan presentados en las tablas I.4 y I.5.

La comparación de los resultados expuestos en las tablas I.4, I.5 y I.6 se puede resumir en los siguientes puntos:

- A excepción de la cubierta vegetal, los factores formadores en los dos perfiles estudiados son homólogos, con lo que las propiedades físico-químicas tienden a converger. No obstante, sí se observan diferencias texturales. La mayor presencia de elementos finos (arcilla) en la fracción tierra fina del suelo en la repoblación explica la doble capacidad de retención de agua en la repoblación (58,4 mm) que en el matorral (26,5 mm). Este hecho puede estar relacionado con una menor exportación de elementos finos en los últimos 50 años o, también, con una mayor cantidad de arcilla en la roca madre del punto de muestreo.

- El suelo repoblado presenta un estado más avanzado de edafización. Las nuevas condiciones de cubierta vegetal, resultante de las tareas repobladoras, han supuesto una más efectiva incorporación de materia orgánica humificada. En correspondencia con el aumento del desfronde del arbolado, el horizonte orgánico es cuatro veces más grueso y cinco veces más pesado bajo el pinar que bajo el jaral, y el horizonte mineral superficial es considerablemente más espeso y más húmifero, lo cual denota, a su vez, una más efectiva actividad biológica.

De esta forma, y en conjunto, queda de manifiesto el efecto favorable de la repoblación forestal sobre la mejora de las propiedades edáficas.



Punto de muestreo de pinar y calicata de 110 cm.



Punto de muestreo de jaral y calicata de 75 cm.

Figura I.15. Calicatas en pinar y en jaral y aspecto de su entorno (fotos: R Serrada).

En relación con la fijación de CO_2 , una de las más importantes funciones de las masas forestales por su papel mitigador en el proceso de cambio climático que el aumento de este gas en la atmósfera produce, con la información presentada en las tablas I.4 a I.6 y con las metodologías propuestas por Montero *et al.* (2005), Ruiz-Peinado *et al.* (2011, 2013), Chiti *et al.* (2012) y Montero (2016) se ha preparado la tabla I.7, comparando el CO_2 fijado, tanto en la vegetación como en el suelo, por la repoblación sin claras y por el matorral que se ha mantenido en una situación similar al lugar repoblado inicialmente (figura I.14).

Queda de manifiesto el importante servicio ecosistémico que la repoblación de carácter hidrológico realizada y su conservación ha producido como efecto mitigador del cambio climático y el papel que, en la medida en que sea debidamente conservada y tratada, puede seguir produciendo. La fijación de CO₂ por la repoblación forestal ha multiplicado por 3 la realizada por el matorral de partida.

4.5. Otras funciones y servicios

Además de las funciones realizadas por la repoblación en estudio que se han expuesto y demostrado en epígrafes anteriores (protección hidrológico-forestal con reducción de erosión y aumento de infiltración, mantenimiento de biodiversidad, producción maderable, y mejora de propiedades edáficas y fijación de CO₂), hay otras funciones secundarias que conviene enumerar y que refuerzan, aún más, la multifuncionalidad de las masas forestales.

La fauna cinegética se ha visto incrementada notablemente en la zona, con presencia abundante de corzo y de jabalí, cuyo aprovechamiento proporciona la posibilidad de rentas añadidas a la entidad propietaria, fomento del turismo rural y de actividades recreativas.

La producción de setas comestibles, sobre todo de *Lactarius deliciosus*, en años favorables, aunque no está regulada, proporciona una importante actividad recreativa y económica. Se trata de un importante recurso inducido por la repoblación forestal y con expectativas de interés para el desarrollo rural.

Finalmente, este monte y otros cercanos han posibilitado una importante función educativa en la medida en que han sido, y siguen siendo, lugar para desarrollar viajes de prácticas para alumnos en formación sobre materias forestales.

Tabla I.4. Datos generales del sitio de localización de las calicatas.

Parámetro		Jaral	Pinar
UTM (ED50 - Huso 30)		475877 - 4536746	475856 - 4536872
Altitud (m)		970	970
Vegetación		Matorral de <i>Cistus ladanifer</i> (80 % de FCC)	Fustal bajo de <i>Pinus pinaster</i> (90 % de FCC)
Uso del suelo		Forestal	Forestal
Fisiografía	Posición	Media ladera	Media ladera
	Pendiente (%)	45	45
	Orientación	SW	SW
	Drenaje superficial	Bien drenado	Bien drenado
	Posición del nivel freático	Desconocida	Desconocida
Erosión		Intensa	Intensa

Tabla I.5. Descripción edáfica *in situ* (realizada por R Serrada, J Otero y S Gamo en 2014)

Parámetro		Jaral	Pinar
Material parental			
Litología		Raña	Raña
Rocosidad (%)		0	0
Pedregosidad superficial (%)		50	40
Costras salinas		No	No
Perfil edáfico			
Horizonte 1	Nivel del perfil	0 - 10 cm	0 - 40 cm
	Descripción	Color 10YR/4/4 en húmedo. Estructura grumosa construida, de consistencia débil. Moderada actividad biológica, con raíces escasas. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Tránsito neto	Color 10YR/3/2 en húmedo. Estructura grumosa construida, de consistencia firme. Buena actividad biológica, con raíces abundantes. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Tránsito difuso
	Pedregosidad no muestreable ⁽¹⁾	0%	0%
	Horizonte genérico	A	A
Horizonte 2	Nivel del perfil	10 - 30 cm	40 - 70 cm
	Descripción	Color 10YR/4/6 en húmedo. Estructura particular de alteración, friable. Actividad biológica muy escasa, sin apenas raíces. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Tránsito neto	Color 10YR/4/8 en húmedo. Estructura particular de alteración, poco friable. Actividad biológica moderada, con raíces frecuentes. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Tránsito difuso
	Pedregosidad no muestreable	0%	0%
	Horizonte genérico	Bw	Bw
Horizonte 3	Nivel del perfil	30 - 75 cm	70 - 110 cm
	Descripción	Color 10YR/4/8 en húmedo. Estructura particular de alteración, friable. Nula actividad biológica, sin raíces. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Sin límite inferior identificado	Color 10YR/4/8 en húmedo. Estructura particular de alteración, poco friable. Escasa actividad biológica, con raíces accidentales. Pedregosidad elevada, en fragmentos redondeados. Sin límite inferior identificado
	Pedregosidad no muestreable	0%	0%
	Horizonte genérico	C	C

⁽¹⁾ Pedregosidad no muestreable = porcentaje de volumen observado respecto del volumen total.

Tabla I.6. Resultados analíticos de las calicatas (Laboratorio ITAGRA)

Parámetro	Jaral			Pinar		
Horizonte orgánico						
Espesor (cm)	2			8		
Peso de la muestra en seco (g)	130,90			705,10		
Nitrógeno (% SMS)	0,65			0,69		
Carbono orgánico (% SMS)	38,55			44,8		
Materia seca (g m ⁻²)	2094,4			11281,6		
Densidad aparente (g dm ⁻³)	104,72			141,02		
Relación Carbono / Nitrógeno	59,3			64,9		
Horizontes	1	2	3	1	2	3
Textura USDA de los horizontes minerales						
Elementos gruesos en muestra de suelo natural (%)	44,04	59,01	88,78	70,75	70,43	54,31
Arena (%)	67,16	59,16	63,16	64,16	54,16	52,16
Limo (%)	24,28	24,28	19,28	24,28	21,28	16,28
Arcilla (%)	8,56	16,56	17,56	11,56	24,56	31,56
Tipo textural (región)	Franca bastante Arenosa (IX)	Franca bastante Arenosa (IX)	Franca bastante Arenosa (IX)	Franca bastante Arenosa (IX)	Franca algo Arenoso-Arcillosa (VI)	Franca algo Arenoso-Arcillosa (VI)
Parámetros biológicos y químicos de los horizontes minerales						
Materia orgánica (%)	2,71	0,83	0,24	2,30	0,30	0,23
Nitrógeno (Kjeldahl) (%)	0,14	0,08		0,13		
Relación Carbono / Nitrógeno	11,25	6,03		10,29	0,00	
Carbonatos activos (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbonatos inactivos (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH en agua	5,77	5,30	5,17	5,50	4,70	4,85
pH en cloruro potásico	5,68	4,87	4,55	5,24	4,07	4,33

Tabla I.6. (Cont.)

Parámetro		Jaral			Pinar		
Parámetros físicos de los horizontes minerales (Gandullo, 1994)							
Tierra fina en suelo natural (%)		55,96	40,99	11,22	29,25	29,57	45,69
Permeabilidad	Coefficiente de capacidad de cementación	0,000	0,323	1,480	0,081	0,790	0,671
	Coefficiente de impemeabilidad debida al limo	0,136	0,100	0,022	0,071	0,063	0,074
	Parámetro permeabilidad	5,0	3,0	1,0	5,0	1,0	1,0
Humedad edáfica	Humedad equivalente (mm)	17,66	18,80	17,26	18,45	20,85	22,52
	Coefficiente k ⁽¹⁾	0,00	0,35	0,00	0,20	0,00	0,00
	Capacidad de retención de agua (mm m ⁻¹)	67,9	68,4	13,3	43,4	42,4	70,7
	Capacidad de retención de agua (mm)	6,8	13,7	6,0	17,4	12,7	28,3
Clasificación de suelo - WRB (FAO-UNESCO 2006)		Cambisol háplico (dístico)			Umbrisol háplico (dístico)		
Valor característico del perfil							
Parámetros fisiográficos	Altitud (m)	970			970		
	Pendiente (%)	45,0			45,0		
	Coefficiente de insolación de Gandullo (1974)	0,00			0,00		
Parámetros edáficos físicos	Partículas minerales < 2 mm en la tierra natural	25,1			35,3		
	Partículas minerales entre 0,05-2,00 mm	62,6			57,1		
	Partículas minerales entre 0,002-0,05 mm	21,3			20,6		
	Partículas minerales < 0,002 mm	16,1			22,4		
	Coefficiente de permeabilidad (Gandullo, 1994)	2,1			2,5		
	Humedad equivalente (Gandullo, 1994)	17,72			20,58		
	Capacidad de retención de agua (Gandullo, 1994)	26,5			58,4		
Parámetros edáficos bioquímicos	Materia orgánica (%)	1,01			1,52		
	Materia orgánica en los 25 cm superficiales (%)	1,7			2,3		
	Nitrógeno en los 25 cm superficiales (%)	0,108			0,130		
	Relación carbono/nitrógeno en los 25 cm superficiales	8,44			10,29		
	pH en agua	5,35			5,22		
	pH en cloruro potásico	4,92			4,83		
	Carbonatos activos (%)	0,00			0,00		
	Carbonatos inactivos (%)	0,00			0,00		

⁽¹⁾ Ver anexo 4.7 del capítulo 4 para significado y estimación.

Tabla 1.7. Comparativa del CO₂ acumulado en diferentes fracciones de la vegetación y del suelo, en pinar repoblado de 50 años y jaral en evolución natural, y tasa de fijación anual media debida al pinar en 50 años. Metodologías de cálculo citadas en el texto.

Parámetro	Carbono acumulado (t CO ₂ ha ⁻¹)		Diferencia Pinar-Jaral (valor absoluto en t / valor relativo en tanto por uno)	Tasa de fijación de carbono por el pinar (t CO ₂ ha ⁻¹ año ⁻¹)
	Jaral	Pinar		
Biomasa aérea	42,7	262,3	219,6 / 5,1	5,2
Biomasa radical	21,3	78,3	57,0 / 2,7	1,6
Total Biomasa	64,0	340,6	276,6 / 4,3	6,8
Restos orgánicos	31,4	185,3	153,9 / 4,9	3,7
Suelo mineral	66,0	142,7	76,7 / 1,2	2,8
Total Suelo	97,4	328,0	230,6 / 2,4	6,6
Total Monte	161,4	668,6	507,2 / 3,1	13,4

Agradecimientos

En primer lugar es necesario agradecer a los numerosos técnicos y guardas forestales que han intervenido a lo largo de 60 años en el proyecto, ejecución y mantenimiento de esta repoblación forestal. En muy distintas, y a veces complicadas, condiciones administrativas y presupuestarias han sabido demostrar una dedicación y acierto que hace posible lo que ahora podemos ver y estudiar. También agradecimiento a los técnicos forestales y agentes medioambientales que tienen en la actualidad este monte a su cargo. El riesgo de cometer omisiones no intencionadas nos disculpa de la enumeración de los protagonistas.

Agradecemos a todas las personas e instituciones que en los últimos años han formulado generalizadas, acerbas y, por tanto, infundadas críticas a las repoblaciones forestales realizadas en la segunda mitad del siglo XX, pues esa actitud ha estimulado el interés en analizar y valorar lo realizado.

Especial agradecimiento merecen Gregorio Montero y Ricardo Ruiz-Peinado que han intervenido en actividades a lo largo del tiempo que, aún siendo dispares, han contribuido a la exposición que se ha realizado: elaboración de la Fototeca Forestal (DGB-INIA); instalación y medición de las parcelas de estudio sobre claras en este monte; y desarrollo de metodologías para la valoración del carbono fijado por las formaciones forestales, arbóreas y arbustivas.

Finalmente, hay que agradecer a Javier Otero de Irizar y a Santiago Gamo Castel su colaboración en la toma de muestras edáficas; también a Javier la elaboración de gráficos y croquis que ilustran este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allué JL (1990) Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA, INIA, Madrid, 223 pp
- Bertule M, Lloyd GH, JL, Korsgaard L, et al (2014) Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects. United Nations Environment Programme, 76 pp
- Birot Y, Gracia C, Palahi M (eds) (2011) Water for Forests and People in the Mediterranean Region. *Foret Mediterranee* vol:XXXII (4):363-366
- Blumenfeld S, Lu C, Christophersen T, Coates D (2009) Water, Wetlands and Forests. A Review of Ecological, Economic and Policy Linkages. Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Montreal and Gland. CBD Technical Series No. 47
- Buendia C, Bussi G, Tuset J, et al. (2016) Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment* 540:144-157
- Chiti T, Díaz-Pinés E, Rubio A (2012) Soil organic carbon stocks of conifers, broadleaf and evergreen broadleaf forests of Spain. *Biology and Fertility of Soils* 48:817-826
- Cumming Cockburn Limited (2001) Water Budget Analysis on a Watershed Basis. Prepared for the Watershed Management Committee, 330 pp
- Davie T, Fahey B (2005) Forestry and water yield – current knowledge and further work. *New Zealand Journal of Forestry* 50, 3-8
- Demarcación Hidrográfica del Tajo (2015) Plan hidrológico de Cuenca. Anejo 7: Inventario de presiones y evaluación del estado de las masas de agua, 129 pp
- Dissmeyer GE (Ed) (2000) Drinking Water from Forests Forest Service and Grasslands. A Synthesis of the Scientific Literature. United States Department of Agriculture. Southern Research Station. General Technical Report SRS-39, 250 pp
- Dudley N, Stolton S (2003) Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water World Bank / WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use, 114 pp
- Ernst, C. (2004) Protecting the Source. Land Conservation and the Future of America's Drinking Water. The Trust for Public Land and the American Water Works Association, San Francisco, CA
- FAO (2005) Forest and floods. Drowning in fiction or thriving on facts? CIFOR & FAO, 123 pp
- FAO (2008) Forest and water. FAO forestry paper 155, Roma, 72 pp
- FAO-UNESCO (2006) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma
- Farley KA, Jobbágy E, Jackson RB (2005) Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* 11 (10):1565–1576
- Forestry Commission (2011) Forest and water. UK forestry standard guidelines. Forestry commission, Edinburgh, 80 pp
- Fundación Biodiversidad (2011) La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados. Madrid
- Gandullo J.M (1994) Ecología Vegetal. Fundación Conde Valle de Salazar. ETSIM, Madrid
- Gassman PW, Reyes MR, Green CH, Arnold JG (2007) The soil and water assessment toll: historical, development, applications and future research directions. *American society of agricultural and biological engineers* 50(4):1211-1250
- Hierro R del (2009) Estudio general de los montes denominados: “Bienes Comunes” situado en el Termino Municipal de Retiendas (GU-3029); y “Barranco de la Jara” nº 101 del C.U.P. situado en el Termino Municipal de Tamajón (Guadalajara). Trabajo Fin de Carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid
- Hlásny T, Sitková Z, Barka I (2013) Regional assessment of forest effects on watershed hydrology: Slovakia as a case study *Journal of Forest Science* 59 (10):405–415
- Laterra P, Jobbágy EG, Paruelo JM (eds) (2011) Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA, Buenos Aires, 740 pp

- López-Cadenas F (1955) Trabajos hidrológico-forestales en la cuenca principal del río Jarama. Revista MONTES. nº 65. pp 361-364. Asociación de Ingenieros de Montes, Madrid
- López-Cadenas F (1965) Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo. nº 89. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid
- López-Cadenas F (coord) (2003) La ingeniería en los procesos de desertificación. Tragsa-Tragsatec. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid
- López-Moreno JI, Beguería S, García-Ruiz JM (2006) Trends in high flows in the central Pyrenees: response to climatic factors or to land use change? *Hydrological Sciences* 51(6):1039-1050
- MacDonald LH, Stednick JD (2003) Forests and Water: A State-of-the-Art Review for Colorado. CWRRRI Completion Report No. 196 Colorado State University, Fort Collins, 75 pp.
- Magdaleno F, Delacámara G (2015) Las Medidas Naturales de Retención de Agua: del diseño a la implementación a través de proyectos europeos. *Ingeniería Civil* 179:131-138
- Martínez Santa-María C (2006) Índices de alteración hidrológica (IAH) y régimen ambiental de caudales (RAC): dos nuevas metodologías para la caracterización y gestión ambiental de ríos regulados. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
- McLaughlin DL (2013) Managing forests for increased regional water yield in the southeastern U.S. Coastal Plain. *Journal of the American water resources association* 49(4):123-138
- Ministerio de Obras Públicas (1954) Decreto de 10 de agosto de 1954, Reserva para abastecimiento de agua potable a Madrid de caudales procedentes de los ríos Jarama y Sorbe. BOE nº 257 de 14 de septiembre de 1954, Madrid
- Montero G (2016) La absorción de carbono por nuestros matorrales. Jornada de Bosques y Cambio Climático "Bosques, ...¿para qué?". Foro de Bosques y Cambio Climático. Madrid, 1 de marzo de 2016
- Montero G, Ruiz-Peinado R, Muñoz M (2005) Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid
- Mooney H, Cropper A (coord) (2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington, DC
- Nadal-Romero E, Cammeraat ELH, Serrano-Muela MP, Regüés D (2016) Hydrological response of an afforested catchment in a Mediterranean humid mountain area: a comparative study with a natural forest. Version of Record online: 13 APR 2016
- National Research Council (2008) Hydrologic Effects of a Changing Forest Landscape. Committee on Hydrologic Impacts of Forest Management, 180 pp
- Nisbet T, Silgram M, Shah N, Morrow K, Broadmeadow S (2011) Woodland for Water: Woodland measures for meeting Water Framework Directive objectives. Forest Research Monograph, 4. Forest Research, Surrey, 156 pages.
- Ojea E, Martín-Ortega J, Chiabai A (2012) Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: the case of forest water services. *Environmental science & policy* 19-2012 (1-15)
- Ortega C, Río M del, Montero G, Bachiller A (1997) Resultados de una experiencia de claras en repoblaciones de *Pinus pinaster* Ait. en el norte de Guadalajara. Actas del II Congreso Forestal Español. SEFC, Pamplona
- Patrick NJ, Hawthorne S, Bren L, Sims N (2013) The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield. *Forest Ecology and Management* 310:983-99
- Podolak K, Edelson D, Kruse S, Aylward B, Zimring M, Wobbrock N (2015) Estimating the Water Supply Benefits from Forest Restoration in the Northern Sierra Nevada. The Nature Conservancy. San Francisco, CA
- Rodríguez-Lloveras X, Bussi G, Francés F (2015) Patterns of runoff and sediment production in response to land-use changes in an ungauged Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology* 531:1054-1066

- Ruiz-Peinado R, Bravo-Oviedo A, López-Senespleda E, Montero G, Río M del (2013) Do thinnings influence biomass and soil carbon stocks in Mediterranean maritime pinewoods? *European Journal of Forest Research* 132:253-262
- Ruiz-Peinado R, Río M del, Montero G (2011) New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems* 20:176-188
- Serrada R (2000) *Apuntes de Repoblaciones Forestales*, 2ª Ed. Fundación Conde Valle de Salazar. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid
- Stanton T, Echavarria M, Hamilton K, Ott C (2010) State of Watershed Payments: An Emerging Marketplace. *Ecosystem Marketplace*. Available online: http://www.foresttrends.org/documents/files/doc_2438.pdf
- United Nations (2014) *The value of forest. Payments for ecosystem services in a green economy*. United Nations, Ginebra, 82 pp

Caso práctico II

Restauración de zonas periféricas en el ámbito del Parque Forestal de Valdebebas-Felipe VI (Madrid)

Asunción CENTENERA ULECIA, Javier SANDOVAL TABERA,
Alberto RIGAUD MARTÍN

1. Bases teóricas del tipo de repoblación

1.1. Antecedentes de la zona

El Parque Forestal de Valdebebas-Felipe VI se encuentra situado en el noreste del municipio de Madrid. Se trata de un parque forestal perteneciente a los distritos de Hortaleza y Barajas con la especial característica de encontrarse rodeado totalmente por infraestructuras de grandes dimensiones (carreteras, aeropuertos y urbanizaciones). El parque y la zona de repoblación se asentaron sobre antiguas zonas de eriales y campos de cultivo que, tras el abandono de las tierras de labor y de sus usos, principalmente durante las obras de las infraestructuras que lo confinan, se convirtieron en inmensas zonas de escombreras y vertederos incontrolados. Tras años de abandono, la zona ocupada por el Parque Forestal de Valdebebas, promovido por el Ayuntamiento de Madrid, entra a formar parte del desarrollo del Plan Parcial 16.202 UNP04.01 “Ciudad Aeroportuaria - Parque de Valdebebas” (Comunidad de Madrid 2009; Ayuntamiento de Madrid 2013), en su parte oeste. El Parque tiene una extensión de 470 ha, contando las aproximadamente 80 ha que corresponden a las zonas periféricas de actuación que han sido objeto de la repoblación forestal que nos ocupa.

El parque linda al norte con la autopista de peaje R-2 y con el arroyo de Valdebebas. Al sur limita con la M-11, con el barrio de Las Cárcavas y con el recinto ferial IFEMA. El límite este lo forma la M-12 y la Terminal 4 del Aeropuerto Adolfo Suárez-Barajas, y el oeste, la circunvalación M-40, frente al nuevo barrio de Sanchinarro.

1.2. Justificación y objetivos de la repoblación.

La repoblación forestal que se planteó en las zonas periféricas del Parque Forestal de Valdebebas tenía su justificación inicial como mejora de la calidad ambiental de la zona,

mediante el acondicionamiento de áreas para la mitigación de los impactos ambientales generados por las infraestructuras que lo rodean, principalmente impactos sonoros y visuales tanto desde el exterior hacia parque, como a la inversa. Por otro lado, se pretendía mejorar tanto las condiciones de uso de los futuros visitantes como de los entornos de la red viaria del parque.

Cuando se procede a la repoblación de las zonas periféricas del parque, las obras de ejecución del propio parque y de la urbanización colindante llevan realizándose ya hace varios años. Debido al estado en que se encuentran dichas zonas por el tránsito de maquinaria pesada, por los trabajos de urbanización realizados por la Junta de Compensación y por otra serie de factores inevitables en cualquier obra de esta envergadura, se observa con preocupación que se producen fuertes escorrentías. Con el fin de evitar pérdidas de suelo en las zonas periféricas y proteger el suelo existente, se propone una repoblación forestal que tiene un objetivo preferente protector. Este tipo de repoblación se caracteriza principalmente por las especies utilizadas y por su alta densidad. El papel intermedio de estas zonas periféricas, como masa forestal estable interpuesta entre los viales de intenso tránsito de vehículos y el corazón del parque, le confiere una gran importancia como áreas de protección frente a interacciones negativas procedentes de dicho entorno urbano, en especial al ruido y a influencias paisajísticas adversas. Por otro lado, servirá de importante refugio para la fauna que habita la zona al encontrarse confinadas en este espacio sin escape seguro. Las actuaciones realizadas iban por tanto encaminadas a conseguir los objetivos de integración paisajística, protección de la calidad ambiental y mitigación de impactos visuales y sonoros y, además, como objetivo a destacar, la protección del suelo frente a la erosión por motivos meteorológicos y antrópicos.

1.3. Condicionantes específicos de la localización del Parque

La ejecución de los trabajos de repoblación en un parque periurbano, como es el caso de estudio, difiere en gran medida de los trabajos de repoblación en terrenos forestales. Durante la ejecución de las plantaciones se sufrieron innumerables condicionantes que no aparecen en las zonas donde generalmente se llevan a cabo trabajos de repoblación. Así, hubo que trabajar sorteando interferencias propias del trabajo incluido dentro de un proyecto de urbanización. Las citadas interferencias a tener en cuenta fueron:

- Interferencias con servicios: canalizaciones de distribución de gas, agua, luz, recogidas de pluviales, drenajes, saneamientos y fibra óptica.
- Disposición, de forma progresiva, de las zonas de repoblación por parte de la Junta de Compensación en función de la finalización de sus obras de urbanización, sin contar con un calendario o planificación fiable.
- Desconocimiento del estado de las áreas a repoblar hasta el momento de la disponibilidad de las zonas de actuación antes de empezar la preparación del suelo.
- Restricciones de paso y accesos a las zonas de repoblación, así como de horarios de trabajo.
- Restricciones económicas, derivadas de la envergadura de los proyectos de infraestructura, que dependen de los recortes de presupuesto asociados a este tipo de actuaciones. Además, eso obliga a ajustar la disponibilidad de recursos a lo indicado en el proyecto.

- Limitaciones por plazos de ejecución marcados en el proyecto y posibles interferencias con otras fases.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

El Parque Forestal de Valdebebas o Parque Felipe VI se encuentra en el dominio del clima mediterráneo continentalizado, muy influenciado por las condiciones urbanas. Según la tipología fitoclimática de Allué (1990), los terrenos de la comarca en la que está encuadrado el Parque corresponden a subtipos fitoclimáticos mediterráneos genuinos y mediterráneos subnoriales. El gradiente, provocado por las variaciones altitudinales y topográficas, es, de menor a mayor altitud, IV₃ – IV(VI)₁, con un predominio claro del subtipo mediterráneo genuino. De acuerdo con la tipología fitoclimática de Rivas Martínez se trata de terrenos pertenecientes a los pisos meso y supramediterráneos, estando ubicado este último piso generalmente por encima de los 800 m de altitud. El ombroclima es mayoritariamente seco (350 – 600 mm año⁻¹). La continentalidad es acusada.

Las precipitaciones son escasas, rondando los 400 mm al año, concentrándose principalmente en las estaciones de otoño (127,10 mm) e invierno (125,80 mm), cuando el clima es más agradable. En verano son muy escasas (40,10 mm) y en primavera toma valores cercanos a las estaciones más lluviosas (111,40 mm) (tabla II.1). La zona repoblada sufre inviernos secos y fríos, con frecuentes heladas nocturnas y nevadas bastante ocasionales. Los veranos, también secos, son calurosos, con medias superiores a 25° C en julio y agosto y con máximas que, a veces, superan la temperatura de 35° C. La oscilación diaria es importante en la periferia urbana, pero se ve reducida en el centro de la ciudad por el efecto antrópico.

Tabla II.1. Parámetros climáticos en zona de influencia del Parque de Valdebebas (estación meteorológica: Barajas (Madrid)).

Pluviometría estacional y anual (mm)		Temperatura media estacional y anual (°C)	
Primavera	111,4	Primavera	12,2
Verano	40,1	Verano	23,0
Otoño	127,1	Otoño	14,5
Invierno	125,8	Invierno	6,1
Anual	404,4	Anual	14,0

En el área urbana de la ciudad de Madrid, donde se ubica el parque, la altitud oscila entre 700 y 750 m s.n.m. El ámbito UNP 4.01 se incluye dentro de la Unidad Hidrogeológica 03.05 Madrid-Talavera, de la cuenca 03 Tajo, comprendida entre las provincias de Madrid y Toledo. El Plan Hidrológico del Tajo subdivide en dos esta unidad, perteneciendo el municipio de Madrid a la Subunidad 03.05-1 Madrid. Esta unidad forma parte del gran acuífero detrítico presente en la Comunidad de Madrid, de unos 2500 km² de superficie y más de 1500 m de potencia media saturada, y se encuentra delimitado por las formaciones graníticas de la sierra y las evaporíticas presentes en el sudeste. Se trata de un acuífero sumamente complejo como consecuencia de las variaciones de facies.

De acuerdo con el proyecto “Medidas protectoras y correctoras para el acuífero detrítico de Madrid” (C.M. 1997-1998), en dicho acuífero se han podido distinguir 21 grandes unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas. En el ámbito UNP 04.01 aparecen representadas dos de estas unidades (tabla II.2).

Tabla II.2. Unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas presentes en la UNP 04.01 correspondiente a la zona de actuación del Parque de Valdebebas, Madrid, España. Fuente: Medidas protectoras y correctoras para el acuífero detrítico de Madrid (fuente: Comunidad de Madrid (2009)).

Unidades litoestratigráficas	Unidades hidrogeológicas	Permeabilidad estimada
Plioceno y Cuaternario	Gravas, cantos, arenas, arenas limo-arcillosas, limos, arcillas, etc.	Alta
Detrítica superior	Unidad detrítica superior 2, compuesta por arcosas de grano medio-fino, fangos arcósicos y lutitas (niveles de caliza, sílex y sepiolita. Facies Madrid	Media a alta

La unidad que aparece representada de forma mayoritaria en el ámbito de actuación es la detrítica superior, que ocupa más del 95% del mismo. Por otro lado, la presencia de materiales aluviales de origen Cuaternario se circunscribe exclusivamente a los materiales depositados en el área del arroyo de Valdebebas. De forma general, la unidad detrítica superior es la que constituye fundamentalmente el acuífero detrítico de Madrid, y, dentro de ella, la unidad detrítica superior 2 es la que presenta las mejores condiciones hidrogeológicas de permeabilidad y espesores explotables.

3. Actuaciones de restauración

3.1. Elección de especies

En general, cualquier acción encaminada a la restauración de la cubierta arbórea debe tener como punto de referencia, y así ha sido, la vegetación potencial o clímax de la estación, entendida como la cubierta de mayor nivel evolutivo posible, en las condiciones climáticas actuales, que es una meta que deberá alcanzarse en más o menos tiempo según el actual estado de degradación del suelo. Es importante conocer la dinámica evolutiva natural de la estación, ya que va a influir en el futuro de la repoblación de forma prácticamente permanente. Por otra parte, había que tener en cuenta que la fase de regresión en que se encontraba el ecosistema (especialmente suelo y vegetación), condicionaba la acción restauradora. Así, se consideró la elección de las especies compatibles con la estación, con el objetivo de que la adaptación de las mismas tuviera la mayor probabilidad de éxito. Por los condicionantes cambiantes de la estación, para la elección de las especies, tomó especial importancia el estudio de la vegetación previa de la zona, ya que la presencia concreta de una especie denota unas características fitoclimáticas, edafológicas, altitudinales y litológicas, indica los niveles evolutivos de la masa, la exposición predominante, unos rangos de precipitación media, etc. Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para la elección de especies fueron las siguientes:

- Las características de las especies elegidas debían adecuarse a las características climáticas, litológicas, edafológicas y morfológicas (orientación, altitud y pendiente) del territorio que se pretendía repoblar.
- Las plantas debían frenar, de la forma más efectiva posible, los procesos erosivos y conseguir la estabilización de pendientes y taludes.

Para la determinación de las especies a introducir se utilizaron los siguientes criterios y trabajos:

- Fitosociológicos: series de vegetación de Rivas-Martínez y tablas de regresión de Luis Ceballos.
- Fitoclimáticos: clasificación fitoclimática de Allué.
- Bioclimáticos: diagramas bioclimáticos de Montero de Burgos.
- Edafológicos: según el tipo de suelo.
- Vegetación actual, para cuya definición fue determinante el trabajo realizado en campo, identificando las especies que mejor adaptación presentaban a las características de la zona.
- Como criterio específico, y por tratarse de un parque, se eligieron especies cuyo mantenimiento fuera el menor posible tras la restauración.

Así, dentro de las series de vegetación a las que pertenece Valdebebas, de las especies potencialmente viables en las zonas de actuación, se descartaron aquellas cuya ecología no fuese compatible con el medio considerado por factores principalmente climáticos (análisis de valores extremos de precipitaciones y temperaturas, estudio de diagramas bioclimáticos), y litológicos, edáficos o fisiográficos (altitud, orientación y pendiente).

Según los criterios descritos en el apartado anterior, las especies elegidas para la repoblación fueron pino piñonero (*Pinus pinea*) en masa mixta con encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota*), con una densidad inicial de teórica de 3000 pies ha⁻¹, y una proporción entre especies del 60% y 40% respectivamente.

Además, se consideró importante, no sólo la correcta elección de las especies a introducir, sino también el ecotipo o procedencia de la planta (Serrada 2000). En ese sentido, para la producción de planta se eligió un vivero especializado en planta forestal con una probada y conocida trazabilidad de semillas y plantones. La planta a introducir se solicitó con un año de antelación para facilitar la producción de acuerdo con el ecotipo más adecuado para la zona de actuación. Para pino piñonero se utilizó semilla seleccionada de la región de procedencia 02 – Valles del Tiétar y Alberche, mientras que para la encina, la región de procedencia seleccionada fue la 08 – Sur de Guadarrama.

La producción de plantas de ambas especies se efectuó mediante cultivo en contenedor forestal de 325 cm³ y 20 cm de longitud (figura II.1.). La planta producida, de 1 savia, era de pequeño tamaño, así las necesidades hídricas de la misma también serían reducidas, aumentando las probabilidades de éxito. Además, se procuró una planta que fuera preacondicionada en el vivero y cultivada en condiciones de clima continental árido, para que estuviera mejor adaptada a las condiciones restrictivas de la estación de plantación. Así se intentaba aumentar la rapidez en la adaptación al medio y la probabilidad de arraigo.



Figura II.1. Planta de pino piñonero (*Pinus pinea*) producida para su plantación en el Parque de Valdebebas (foto: J Sandoval).

4. Método de repoblación

Se seleccionó el método de plantación para la ejecución de la repoblación por las ventajas que proporciona:

- Mayor probabilidad de éxito
- Ganancia de tiempo equivalente a la edad de las plantas introducidas.
- Ocupación más rápida y regular del terreno.
- Mayor facilidad de mezcla de especies.
- Menor coste de las operaciones culturales.
- Menor riesgo de plagas y enfermedades en las primeras edades (Serrada 2000)

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas de la zona y las conclusiones obtenidas del estudio de los distintos diagramas bioclimáticos, se aconsejaba plantar en otoño. Sin embargo, en este aspecto, la fecha de plantación estuvo condicionada por las actuaciones previstas en el proyecto global de infraestructuras, que tenía sus plazos y condicionantes temporales propios, por lo que la ejecución de la repoblación se llevó a cabo entre los meses de enero y principios de mayo. Al retrasarse un poco el tiempo óptimo de plantación, se consideró realizar un primer riego de implantación a toda la repoblación justo después de la puesta en tierra.

4.1. Tratamiento de la vegetación preexistente y preparación del suelo

En las zonas periféricas del Parque Forestal de Valdebebas donde se realizó la repoblación (figura II.2), no hubo necesidad de realizar ningún tipo de tratamiento de la vegetación preexistente. En una de las zonas se encontraban pies dispersos de olivos, que se respetaron. El resto de zonas destinadas a la repoblación, excepto dos, se encontraban libres de vegetación. En estas zonas donde existía vegetación previa, no se consideró necesario el tratamiento por ser zonas de pastos que no suponían ningún tipo de riesgo por competencia a la futura repoblación.

Inicialmente, en las zonas en las que se consideró necesario, se llevaron a cabo labores propias de limpieza y pequeñas conformaciones del terreno (pequeños rellenos de

cárcavas, extendido de tierras vegetales acopiadas en las zonas de actuación,...). Finalmente, en todas las zonas a repoblar, se preparó el suelo para la futura plantación mediante un subsolado lineal siguiendo curvas de nivel (figura II.3.). Se trató de una preparación sin inversión de horizontes, mecanizada (mediante tractor convencional) y con una profundidad de rejonos de aproximadamente 50 cm. El espaciamiento entre líneas fue de 1,85 m, para plantar la densidad proyectada (3000 pies ha⁻¹). Aunque se podía haber realizado el ahoyado manual y/o mecanizado, se optó por el subsolado lineal, ya que parece que la escasa modificación de las variables que inducen los ahoyados manuales (Pemán y Navarro 1998) y el efecto positivo de las preparaciones de cierta intensidad (Querejeta et al. 2001) influyen positivamente y de manera significativa en la supervivencia (Serrada et al. 2005).



Figura II.2. Áreas donde se llevó a cabo la plantación.



Figura II.3. Detalle de los procedimientos de preparación del suelo en la plantación del Parque Valdebebas. Se observa la labor de subsolado y el paso de un rulo (foto: J Sandoval).

4.2. Plantación

Las dos especies tienen caracteres culturales muy similares, tanto en calidad de estación como en necesidades climáticas y umbrales térmicos e hídricos. De este modo, se procuró crear una masa mixta similar a las existentes en la naturaleza. En la repoblación de las zonas periféricas tratadas del Parque Forestal de Valdebebas se plantó un total de 242259 plantas, 160005 pies de pino piñonero y 82254 pies de encina (figuras II.4 y II.5).

La plantación se realizó con una densidad teórica de 3000 pies ha⁻¹, formadas por masa mixta de pino piñonero (60%) y encina (40%). La plantación en las zonas de repoblación forestal se realizó al tresbolillo sobre las líneas formadas por el subsolador en la preparación del suelo, haciéndose de forma aleatoria la mezcla espacial de las dos especies y evitando, así, la alternancia sistemática de ellas, o que la especie minoritaria se concentrara en una sola zona o en un mínimo número de núcleos de plantación. A efectos

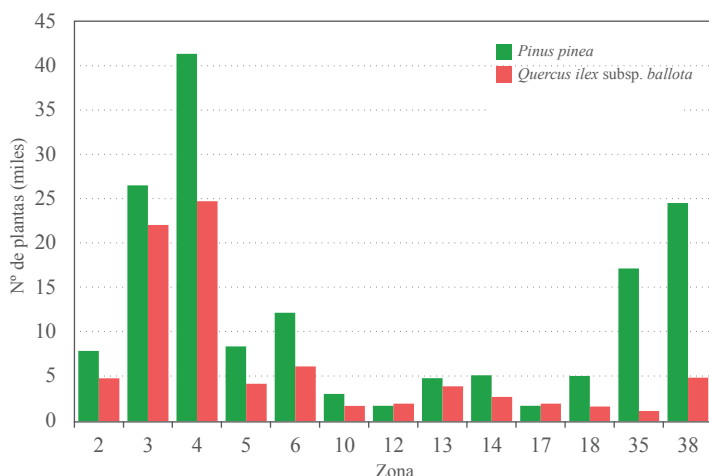


Figura II.4. Número de plantas establecidas en cada una de las áreas de actuación.



Planta de pino piñonero en un alcorque de plantación.



Planta de encina sobre la preparación del suelo.

Figura II.5. Detalle de las plantaciones (fotos: J Sandoval).

prácticos hay que considerar que una densidad de 3000 pies por hectárea distribuida al tresbolillo implica una distancia aproximada entre pies de 2 m.

5. Estado final de la restauración y datos del seguimiento de la repoblación

Durante las labores de mantenimiento iniciadas en el año 2010, se han realizado las siguientes labores en las zonas reforestadas (figuras II.6 y II.7):

- Desbroces anuales en toda la superficie al inicio del periodo estival, sin retirada de los restos vegetales y su incorporación al suelo previamente triturado.
- Aireación de la zona de plantación mediante entrecavas manuales.
- Limpieza en los pies de más de 1,5 m de altura.
- Trabajos de claros mediante la eliminación de los individuos más débiles, deformes y dominados, dejando espacio libre para que los sanos y fuertes puedan crecer más vigorosos y, de esa manera, sean más estables frente a los daños atmosféricos y más resistentes frente a plagas y enfermedades. Como resultado de esta labor actualmente se conservan en buen estado alrededor de 130000 plantas de la reforestación inicial, de las cuales hay 96000 pies de *Pinus pinea* y 34000 pies de *Quercus ilex*.



Vistas de dos zonas de actuación en el año 2009 en el momento de la plantación (fotos: J Sandoval).



Aspecto de las plantaciones en el año 2016 (fotos: A Rigaud).

Figura II.6. Evolución de la cubierta vegetal.



Poda precoz de pies con altura superior a 1,50 m en 2016.



Desbroce de la vegetación competidora en 2016.



Triturado de residuos de podas efectuadas en 2020.

Figura II.7. Operaciones de mantenimiento (fotos: A Rigaud).

BIBLIOGRAFÍA

- Allué JL (1990) Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA, INIA, Madrid, 223 pp
- Ayuntamiento de Madrid (2013) Informe de Sostenibilidad Ambiental. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda. Dirección General de Revisión del Plan General
- Comunidad de Madrid (2009) Estudio hidrogeológico del plan de sectorización del ámbito UNS. 4.01 “Ciudad aeroportuaria, parque de Valdebebas”. Comunidad de Madrid, Madrid
- Pemán J, Navarro-Cerrillo R (1998) Repoblaciones Forestales. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Lleida, Lleida
- Querejeta JI, Roldán A, Albaladejo J, Castillo V (2001) Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semiarid climate. *Forest Ecol. Manag.* 149:115-128
- Serrada Hierro R (2000) Apuntes de Repoblaciones Forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar
- Serrada R, Navarro Cerrillo RM; Pemán García J (2005) La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 14: 462-481

Caso práctico III

Restauración de áreas afectadas por explotaciones mineras.

Mina Poderosa

Carlos Juan CEACERO RUIZ, Andrés LEAL GALLARDO

1. Bases teóricas del tipo de restauración

La minería como actividad para la obtención de materias primas ha estado vinculada históricamente al progreso y a la mejora de la calidad de vida de la sociedad. Sin embargo, con frecuencia, la explotación de georecursos tiene como resultado la severa degradación del ecosistema natural en el que se desarrolla. Su incidencia sobre los recursos naturales dependerá del tipo de explotación (subterráneas o a cielo abierto) y el material que se explota (áridos, minerales metálicos, etc.) (Ayala *et al.* 1996). Con carácter general, se alterará la textura y estructura del suelo, su conformación y compactación, la fertilidad, las comunidades de microorganismos edáficos, los ciclos biogeoquímicos, etc.; todo ello tendrá una consecuencia directa sobre la vegetación existente y el paisaje (Macdonald *et al.* 2015; Lei *et al.* 2016). Además, en muchas ocasiones es la producción y el tratamiento de residuos de mina los que causan los efectos más graves y persistentes, como la elevada biodisponibilidad de metales, la generación de drenajes ácidos o salinos, la contaminación del aire y el agua, la erosión, la pérdida de biodiversidad, etc. (Ghose 2005; Sheoran *et al.* 2010).

Los recursos minerales son finitos lo que implica que la explotación minera es un uso temporal del territorio. Por tanto, minimizar los impactos ambientales y recuperar los terrenos degradados por el aprovechamiento mineral es una prioridad dentro de la planificación de la actividad minera en términos de sostenibilidad (Johnson *et al.* 1994), además de una obligación legal en la mayoría de países del mundo.

El concepto de recuperación de suelos hace referencia al proceso por el que terrenos abandonados y/o degradados se vuelven a poner en producción (Sheoran *et al.* 2010). El objetivo de producción puede ser diverso: turístico, forestal, urbano, etc. Cuando la recuperación se hace bajo principios ecológicos se aplica el término de restauración ecológica (SER 2004). De esta forma, la restauración ecológica es el proceso que persigue

el restablecimiento del ecosistema original previo a la actividad minera, tanto en estructura como en funcionalidad. Dicho de otro modo, el objetivo de la restauración será devolver al terreno su capacidad productiva con un ecosistema funcional que proporcione una diversidad de valores económicos y ecológicos (Macdonald *et al.* 2015). Sin embargo, dicho proceso debe adaptarse a cada sitio concreto, por lo que este objetivo no siempre es alcanzable (Doley y Audet 2013).

El proceso de restauración ecológica de áreas degradadas por minería consta de diferentes etapas, que se recogen, de forma simplificada, en la figura III.1.

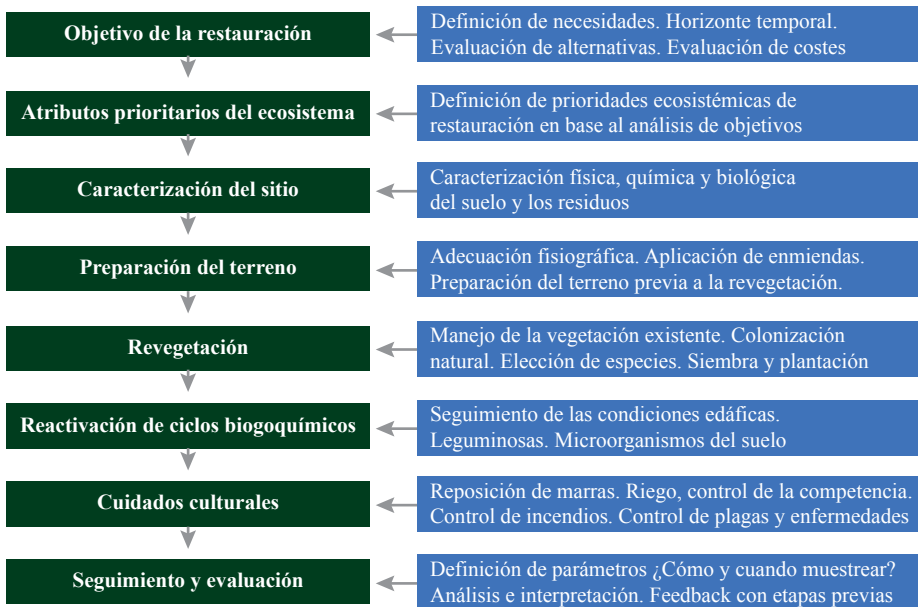


Figura III.1. Etapas del proceso de restauración ecológica en áreas mineras (adaptado de Cooke y Johnson 2002).

Realizar la restauración de manera progresiva durante la vida útil de la explotación ayudará a reducir el esfuerzo restaurador, especialmente después de la clausura, cuando no hay ingresos directos para compensar los costes (DITR 2006).

La reconstrucción de las características físicas (textura y estructura) del suelo es una de las primeras tareas de la restauración, ya que determina la capacidad de retención de agua y nutrientes y la impedancia mecánica a la penetración de raíces, fundamentales para la posterior revegetación. Muchos suelos de mina presentan dificultades para la restauración debido al elevado contenido en fragmentos rocosos (30 - 70%) (Sheoran *et al.* 2010). Por otro lado, en suelos con texturas más finas (limo, arcilla) se pueden detectar problemas por la formación de costras salinas superficiales y, en ausencia de materia orgánica, por alcanzar elevadas densidades aparentes, compactación extrema, bajas tasas de infiltración

e incluso inundación en superficie (Johnson *et al.* 1994). Además, el uso continuado de maquinaria contribuye a compactar intensamente los suelos mineros, limitando la disponibilidad de agua para el mantenimiento de la vegetación.

Desde el punto de vista químico, la oxidación de fragmentos de mineral pirítico puede descender drásticamente el pH de los suelos mineros ($\text{pH} < 3$), lo que contribuiría a incrementar la toxicidad por metales (Al, Zn, Mn, Cu) y limitar el desarrollo vegetal (Ferreira da Silva *et al.* 2005; Saiz y Ceacero 2008). Por el contrario, los carbonatos contenidos en los minerales y rocas aumentan el pH del suelo por disolución a medida que crece su exposición a las condiciones ambientales. En términos de fertilidad, casi todos los suelos de mina presentan un déficit de macronutrientes (N, P, K) (Wong 2003). Por ello, la aplicación de materia orgánica o algún otro tipo de fertilización puede incrementar el éxito de la revegetación (Larney y Angers 2012). Finalmente, en climas cálidos como el nuestro, la elevada concentración de sales en suelos mineros, puede condicionar la germinación de la semilla, retardar el crecimiento de la planta y reducir la diversidad (DITR 2006).

Otro elemento a considerar es el papel clave que desempeñan los microorganismos edáficos en el éxito de la restauración (Harris 2009). Dichos organismos contribuyen a la formación del suelo y su agregación, descomposición de la materia orgánica, ciclo de nutrientes (N, P) y al establecimiento y crecimiento de la vegetación por simbiosis microbiana (hongos micorrízicos-ej. *Glomus* spp. y nodulación bacteriana- ej. *Rhizobium* spp.) (Mummey *et al.* 2002; Ghose 2005; Ma *et al.* 2006).

Aspirar a la consecución del complejo objetivo de restauración ecológica en áreas degradadas por minería implica adaptar dicho objetivo a las condiciones de cada sitio (Doley y Audet 2013) y desarrollar una serie de labores con un doble enfoque: las orientadas a paliar las condiciones físico-químicas imperantes (*ameliorative approach*) y las de adaptación a dichas condiciones, como la elección de especies para revegetación (*adaptive approach*) (Cooke y Johnson 2002).

Desde el punto de vista paliativo, el subsolado del terreno puede mejorar las características físicas del suelo mediante la reducción de la compactación y su aireación, al tiempo que facilita la penetración de las raíces (Pemán y Navarro-Cerrillo 1998). La aplicación de yeso se ha utilizado tradicionalmente para mejorar la estructura en suelos sódicos, incrementando la infiltración del agua. Por otro lado, una gran diversidad de materiales residuales de procesos industriales (espumas azucareras, cenizas de biomasa, conchas de mejillón, etc.) se han empleado como enmiendas calizas para aumentar el pH en suelos ácidos y disminuir la movilidad de metales pesados (Saiz y Ceacero 2008; Seco *et al.* 2014). El uso de enmiendas orgánicas como los lodos de depuradora, los residuos vegetales o distintos tipos de compost también han mostrado su eficacia para incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y capacidad de retención de agua e iniciar la recuperación de la actividad microbiológica (Zornoza *et al.* 2012; Paradelo 2013; Macdonald *et al.* 2015).

El establecimiento de una cubierta vegetal estable se considera una de las opciones más eficientes y sostenibles para la restauración de áreas mineras a largo plazo (Mench *et al.* 2003). En este sentido, el manejo de las semillas y propágulos de la vegetación espontánea

puede ser clave en la recolonización y establecimiento de las especies en determinados enclaves mineros (Conesa *et al.* 2007).

Las herbáceas se consideran interesantes en las primeras etapas de restauración, ya que pueden proporcionar una rápida y densa cubierta vegetal para estabilizar el suelo, controlar la erosión, aportar materia orgánica y conservar la humedad edáfica, aunque también competirán en el futuro con la vegetación leñosa introducida (Sheoran *et al.* 2010; Macdonald *et al.* 2015). En este sentido, el empleo de leguminosas puede otorgar un valor añadido por su contribución a la fijación de N. La introducción de especies arbóreas en etapas posteriores de la restauración contribuirá a incrementar la materia orgánica del suelo, la infiltración de agua, la actividad biológica y a reducir la erosión y pérdida de nutrientes por lixiviación (Mertens *et al.* 2007).

Por otro lado, el empleo de ecotipos tolerantes a metales (fitoestabilización) es una técnica alternativa de bajo coste utilizada para inmovilizar metales pesados en suelos mineros contaminados por Zn, Pb y Cu (Mendez y Maier 2008). Asimismo, la introducción de determinadas especies hiperacumuladoras (ej. *Allisum* spp. para Ni) se ha planteado como una estrategia de fitoextracción de metales con posibles aplicaciones comerciales (fitominería) (Li *et al.* 2003).

Finalmente, el éxito de la restauración debe ser objeto de seguimiento y evaluación respecto del objetivo planteado (Bell 2001; Macdonald *et al.* 2015; Lei *et al.* 2016). Algunos de los criterios y parámetros de evaluación comúnmente utilizados incluyen: la estabilidad y propiedades del suelo (humedad), la funcionalidad del ecosistema (actividad o biomasa microbiológica suelo), estructura vegetal (composición, tamaño, banco semillas), complejidad del hábitat (índice de complejidad), servicios proporcionados por el ecosistema para el bienestar humano, etc. (Cooke y Johnson 2002; Ludwig *et al.* 2003; Macdonald *et al.* 2015; Lei *et al.* 2016).

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

La Faja Pirítica Ibérica es una de las provincias metalogénicas con mayor relevancia histórica e importancia mundial. Está situada entre las estribaciones meridionales de Sierra Morena y la depresión terciaria del Guadalquivir, ocupando una franja de aproximadamente 230 km de largo por 40 - 60 km de ancho y prolongándose desde la provincia de Sevilla hasta la costa oeste de Portugal, dentro de la denominada Zona Sur-Portuguesa del Macizo Hercínico Ibérico (Lotze 1945).

Durante años, las labores de explotación minera de la pirita y la ausencia de medidas ambientales de corrección, han generado enormes cantidades de residuos ricos en sulfuros que quedaron expuestos a las condiciones ambientales (agua y oxígeno), dando lugar al proceso de oxidación de la pirita.

En la oxidación de los sulfuros hay dos procesos básicos; oxidación por acción del O₂, es el único mecanismo a pH superior a 4,5, y oxidación por acción del ion Fe⁺³, cuyo efecto se vuelve dominante a pH inferior a 3,5. Por debajo de pH 3,5 las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans*, siempre presentes en estos ambientes, oxidan Fe⁺² a Fe⁺³, convirtiéndose el

Fe^{+3} en el agente dominante de la oxidación de los sulfuros. Por último, la oxidación de la pirita generará más Fe^{+2} , cerrándose así el ciclo (figura III.2). Conviene señalar, que la velocidad de oxidación en procesos catalizados por estas bacterias es extremadamente superior respecto del resto de situaciones posibles.

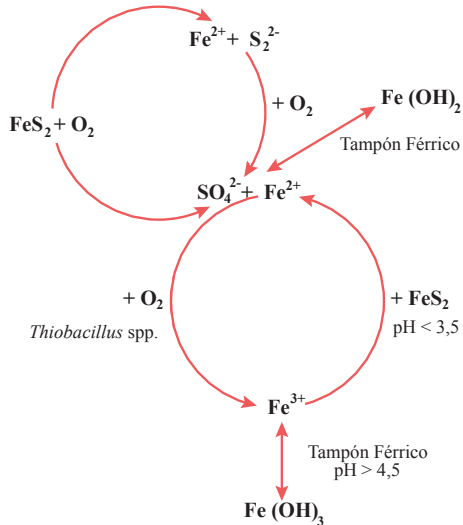


Figura III.2. Sistema cíclico de oxidación de la pirita (Stumm y Morgan 1981).

La persistencia del proceso de oxidación a lo largo del tiempo ha provocado una acentuada degradación de este tipo de ambientes, lo que queda reflejado por:

- La formación de un sustrato extremadamente ácido que impide el establecimiento de la vegetación o, más comúnmente, que reacidificaciones posteriores a las labores de restauración eliminen la vegetación inicialmente establecida.
- Los fenómenos de ecotoxicidad por metales (Cu, Pb, Zn, Cd, Cu, Hg) y arsénico, debido a su presencia en formas móviles y biodisponibles para la vegetación y microorganismos del suelo.
- La formación de drenajes ácidos de mina, lo que puede provocar la acidificación y contaminación de aguas naturales, tanto subterráneas como superficiales.

En el año 1989, la Junta de Andalucía inició una serie de estudios experimentales en diferentes parcelas de investigación con el objetivo de definir una metodología eficaz y aplicable a la recuperación estas áreas, lo que debería permitir la implantación de una cubierta vegetal estable. En el año 2003 se planteó la necesidad de desarrollar una restauración piloto, que pusiera en práctica a mayor escala los resultados de los estudios experimentales, optimizando el éxito de ulteriores restauraciones y proporcionando una experiencia fundamental para la ejecución de estas labores.

Uno de los enclaves seleccionados para albergar la restauración piloto fue el área minera de La Poderosa (4180600 m N - 706450 m E), localizada en el término municipal de El Campillo (Huelva) y abandonada en la década de los 60.

Desde el punto de vista climático la mina se encuentra en una región de clima mediterráneo con temperatura media 14 – 17 °C y precipitación media anual >700 mm.

El área de actuación aparecía segmentada en dos localizaciones. La zona situada más al norte (Poderosa de arriba) incluía la corta minera; la zona sur (Poderosa de abajo), una escombrera que se sellaría posteriormente para el control de drenajes ácidos contaminantes (figura III.7). La superficie efectiva de revegetación sumaba, entre ambas localizaciones, una extensión aproximada de 13,5 ha y la capa superficial del terreno presentaba un exceso de residuos procedentes de la explotación minera.

La vegetación previa a las labores de restauración era muy escasa, limitándose a la zona de morrongos (cenizas o residuos procedentes del procedimiento de explotación de la pirita por cimentación artificial), que en ocasiones era colonizada por especies adaptadas a estos ambientes (*Erica andevalensis*, *Phagnalon saxatile* y *Rumex induratus*). Como vegetación dominante en el entorno minero destacaron las masas de pino piñonero (*Pinus pinea*), pino pinaster (*Pinus pinaster*) y eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*) en el estrato arbóreo y de jarales (*C. ladanifer*, *C. monspeliensis*) y brezales (*Erica australis*) en el arbustivo.

3. Actuaciones de restauración

3.1. Caracterización de los suelos de la zona

El conocimiento de las características ácido-base, de fertilidad y toxicidad de los suelos de mina, resultaba esencial para la determinación de las limitaciones reales de estos suelos, así como para la definición de las medidas correctoras que permitieran alcanzar los objetivos de restauración.

La caracterización de las propiedades químicas del suelo se realizó mediante muestreo sistemático de la superficie de restauración y posterior análisis de muestras en los laboratorios de evaluación ambiental y de tecnología ambiental de la Universidad de Santiago de Compostela (tabla III.1).

Como cabía esperar, los suelos mostraban una acidez propia de sistemas hiperácidos (pH<3,5) (Macías y Calvo 2003) y una pobreza en nutrientes esenciales, fundamentalmente fósforo. Los contenidos de azufre pirítico (Sp) y pH de oxidación sugerían la posible aparición de procesos de oxidación por Fe³⁺ que incrementarían bruscamente la acidez y la movilidad de plomo y arsénico, extremadamente abundantes a la vista de los resultados obtenidos.

3.2. Corrección de las características del suelo: enmiendas y dosificación

Las características ácido-base, de fertilidad y toxicidad de la superficie de actuación, vaticinaban la práctica inviabilidad de la revegetación sin una enmienda previa al suelo. El objetivo de la aplicación de enmiendas sería conseguir un incremento sustancial y

Tabla III.1. Valores promedio estimados para parámetros de caracterización de los suelos del área de restauración.

Análisis de acidez y fertilidad								
pH en H ₂ O	pH de oxidación 2h	pH de oxidación 6h	Sp (azufre pirítico) (%)	CNA5 (capacidad de neutralización de ácido a pH 5 (pH objetivo)) (mmol H kg ⁻¹)	C (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
3,5	3,43	3,96	1,59	0	0,4	0,4	3	2147

Análisis de arsénico y metales								
As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Hg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
336	1	388	59684	21	56	19	2166	175

sostenible de los valores de pH, mejorar su estructura y actividad biogeoquímica y el suministro de nutrientes que acelerase el proceso de establecimiento de la cubierta vegetal.

Con este objetivo se buscaron diferentes materiales de enmienda, tanto químicos como orgánicos, que deberían cumplir una serie de criterios de selección (efectividad, precio, proximidad, normativa y facilidad de aplicación) en relación con la viabilidad técnica y económica de la acción restauradora.

Se preseleccionaron y analizaron diferentes materiales susceptibles de uso como enmienda a partir de los residuos de procesos industriales desarrollados en la zona; en concreto:

- Espuma azucarera de la fábrica de San José de la Rinconada (Sevilla)
- Compost EDAR procedente de la planta de Emasesa (Sevilla)
- Lodo de planta de tratamiento de aguas de la fábrica de pasta de papel ENCE (Huelva)
- Lodos cálcicos de la fábrica de pasta de papel ENCE (Huelva)
- Cenizas de la caldera de biomasa de la fábrica de pasta de papel ENCE (Huelva)
- Dregs: residuos derivados del proceso caustificación en la planta papelera de ENCE (Huelva)

Finalmente, dada su efectividad, disponibilidad comercial y la respuesta observada en los estudios previos de carácter experimental (Saiz *et al.* 2005a y b; Saiz y Ceacero 2008), se seleccionaron para su aplicación: la espuma de azucarera y los lodos de la planta de tratamiento de aguas de ENCE, como agentes encalantes y el compost EDAR, como enmienda orgánica (tabla III.2).

Tabla III.2 Valores promedio estimados para parámetros de caracterización de los materiales de enmienda utilizados en la restauración.

	Análisis ácido - base y fertilidad									
	H ₂ O a 40 °C	pH 1:20	C orgánico (%)	C inorgánico (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺ (mg kg ⁻¹)	Ca ⁺² (mg kg ⁻¹)	CNA5 (capacidad de neutralización de ácido a pH 5 (pH objetivo)) (mmol _e kg ⁻¹)	
Espuma azucarera	20,54	8,36	2,45	14,07	0,36	5173	511	640000	13000	
Compost EDAR	37,22	6,95	8,74	5,07	1,4	25410	2070	166000	660	
Lodo de tratamiento de aguas	67,56	8,94	12,53	8,43	0,2	2739	40	160000	8800	
	Análisis de arsénico y metales									
	As (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	
Espuma azucarera	1,24	604	<5	20	19	166	27	43	30	
Compost EDAR	1,32	838	<5	479	335	343	53	344	1830	
Lodo de tratamiento de aguas	<0,2	235	7	33	819	5100	99	23	3280	

En lo referente a la dosificación de encalante, un método adecuado de cálculo debe estar basado en el balance ácido-base del suelo (Saiz *et al.* 2005a; Saiz y Ceacero 2008). Este balance considera el potencial de acidificación neto (PAN) que se calcula por diferencia entre la capacidad de neutralización de ácido al pH objetivo del medio receptor ($CNA_{\text{suelo-pH=5}}$) y la acidez potencial del suelo, determinada en función del porcentaje de azufre pirítico del mismo (%Sp). El exceso de acidez del suelo se contrarrestará por el material encalante, para lo que debe conocerse su CNA al pH objetivo ($CNA_{\text{encalante-pH=5}}$) (Macías y Calvo 2003; Saiz y Ceacero 2008).

Las dosis obtenidas tras el cálculo de neutralización oscilaron entre las 50 y 400 t ha⁻¹ de material encalante dependiendo de las características de la zona de restauración.

3.3. Acondicionamiento del terreno

Las actividades de explotación minera transforman la topografía original del terreno (pendientes, afloramientos rocosos, cortas, escombreras, infraestructuras, etc.), comprometiendo su estabilidad y dificultando su operatividad desde el punto de vista de las labores de restauración.

En primer lugar, se procedió a la retirada, acopio y sellado de la capa superficial del terreno (hasta 30 cm de profundidad) con exceso de contaminación residual en la escombrera localizada en la zona sur del área minera. El sellado de los materiales contaminados se realizó por aplicación de una capa de arcilla impermeable y el encauzamiento de lixiviados y agua de lluvia, para evitar procesos de contaminación posterior a las labores de limpieza y retirada de residuos.

Una vez retirada la capa superficial se realizó el acondicionamiento del terreno con el objetivo de facilitar la mecanización de las actuaciones de restauración, limitar la erosión y mejorar sus características hidrológicas. Se utilizó distintos procedimientos de preparación del terreno:

- Aterrazado, en superficies de elevada pendiente (>35%)
- Abancalado de grandes dimensiones o acaballonado, en zonas de menor pendiente para evitar el impacto paisajístico del aterrazado.
- Acondicionamiento manual, donde la mecanización fue inviable.

Para controlar la escorrentía en las zonas de talud, se instalaron cunetas y canalizaciones de drenaje auxiliar como complemento a las actuaciones anteriormente señaladas.

En general todas estas labores fueron costosas y de compleja ejecución debido al empleo de maquinaria pesada y la dificultad de acceso.

3.4. Aplicación de enmiendas

La fase de aplicación de enmiendas se inició con el transporte de los materiales seleccionados al tajo (figura III.3). Esta labor entrañó una gran complejidad dadas las enormes cantidades de material a transportar (elevada dosificación) y la dificultad de acceso existente al enclave minero, lo que provocó un incremento de los costes de ejecución.



Materiales utilizados para la enmienda
(foto: JC Bernabé).



Modo de aplicación de la enmienda
(foto: P Parreño).

Figura III.3. Enmiendas del suelo en la restauración del área afectada por la mina.

Salvado este primer escollo se procedió a la aplicación de enmiendas sobre la superficie de actuación mediante remolque distribuidor (figura III.3). La dosificación establecida en cada localización se alcanzó mediante la sucesión de pasadas del remolque sobre una misma superficie a razón de 15-20 kg m⁻² por pasada. Sobre la superficie de talud la distribución resultó más compleja, realizándose mediante empuje con tractor *bulldozer* previa distribución de tongadas de material en cabecera de talud.

A la distribución del material sobre la superficie le siguió un subsolado pleno (hasta 50 cm de profundidad) para favorecer la integración del material de enmienda con el suelo original y una etapa de 2 meses de reposo, que facilitaría la reacción de la enmienda caliza. Finalmente, y tras la aplicación de la enmienda orgánica, se procedió al gradeo “a hecho” de la superficie de actuación.

3.5. Plantación

La especie principal seleccionada para la restauración fue *Pinus pinea*, que se acompañó de *Nerium oleander* en el entorno de los cauces esporádicos presentes en el área de actuación. La elección de las citadas especies atendió a los resultados (supervivencia y crecimiento) obtenidos en los estudios experimentales (Saiz *et al.* 2005a y b; Saiz y Ceacero 2008) y a su disponibilidad comercial.

La plantación se ejecutó de forma manual sobre líneas de “marquilleo”, realizadas como labor de refino de las actuaciones de preparación del terreno previas a la plantación. Como complemento, cada cata se remató con un alcorque a modo de microcuenca.

La densidad de plantación inicial fue de 1600 pies ha⁻¹ debido a la previsible aparición de un elevado porcentaje de marras, que se estimó en torno al 30-40% en los estudios previos con parcelas de investigación (Saiz y Ceacero 2008).

La ausencia de lluvias de otoño retrasó la plantación hasta los primeros meses del año 2005, lo que no suponía ningún problema por la baja incidencia de heladas en la zona de actuación. Finalmente, para facilitar el establecimiento de la planta se aplicó un riego de 12-15 litros por individuo.

3.6. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

El seguimiento de la restauración se centró tanto en la evolución de las características ácido-base del suelo como de la respuesta de la vegetación establecida en términos de supervivencia y crecimiento.

El seguimiento de la vegetación deparó un hecho casual aunque no totalmente sorprendente, que contribuyó al éxito de la restauración. Durante la primavera una cubierta espontánea de herbáceas anuales colonizó la mayor parte de la superficie de restauración, lo que se atribuyó a la germinación de semillas de diversas especies ruderales y arvenses, que necesariamente debían contaminar uno de los materiales utilizados como para la enmienda del suelo, en concreto la espuma azucarera.

Por su parte, la respuesta de la vegetación tanto en supervivencia como crecimiento 15 meses después de la plantación (figura III.4) también resultó bastante satisfactoria, considerando las circunstancias de la repoblación y la experiencia adquirida en la fase de investigación, donde eran esperables mortandades por encima del 30% - 40% con un alto nivel de confianza.

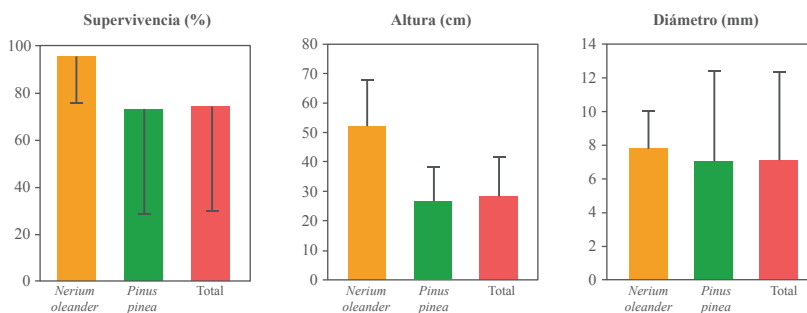


Figura III.4. Resultados de seguimiento en supervivencia y crecimiento 15 meses después de la plantación en la mina Poderosa (promedio \pm desviación estándar).

En lo referente al suelo, en el control final se constató que la aplicación de la enmienda caliza modificó radicalmente las condiciones de acidez iniciales (figura III.5). Los valores de pH se incrementaron sustancialmente y se redujo el contenido de azufre pirítico, lo que limitaba el riesgo de acidificación potencial y presumía una mayor inmovilización de metales pesados. De esta manera el establecimiento de la vegetación sólo se vería amenazado por la movilidad del As a partir de pH=6.

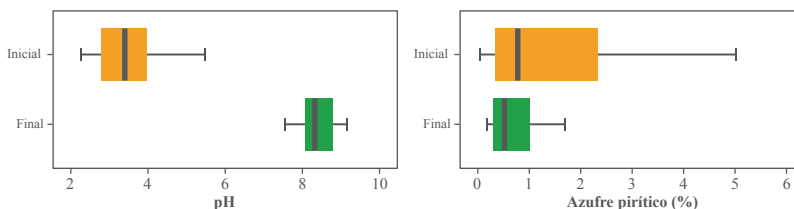


Figura III.5. Resultados de seguimiento (*box-plot*) de las características de acidez del suelo 15 meses después de las labores de restauración.

En octubre de 2011, cumplidos 6 años desde la plantación, se realizó una nueva evaluación, no exhaustiva, de las labores de restauración centrada exclusivamente en el estado de la vegetación (figura III.6).



Aspecto inmediatamente después de la plantación.



Aspecto a los 6 años tras la plantación.

Figura III.6. Vistas de la revegetación en la restauración del área afectada por la mina (fotos: CJ Ceacero).

Los resultados obtenidos mostraron que los patrones espaciales de distribución de mareas se mantuvieron prácticamente inalterados con el paso del tiempo respecto del seguimiento realizado 15 meses después de la plantación (figura III.7). Se observaron rodales con supervivencias próximas al 100% en los que se iniciaba la tangencia de copas entre pies, que contrastaban con enclaves donde la mortandad superaba el 90%. Sin embargo, la mayor parte de la superficie de restauración mantenía tasas de supervivencia por encima del 60%, por lo que la respuesta 6 años después de la plantación podía calificarse de satisfactoria dadas las condiciones de partida.

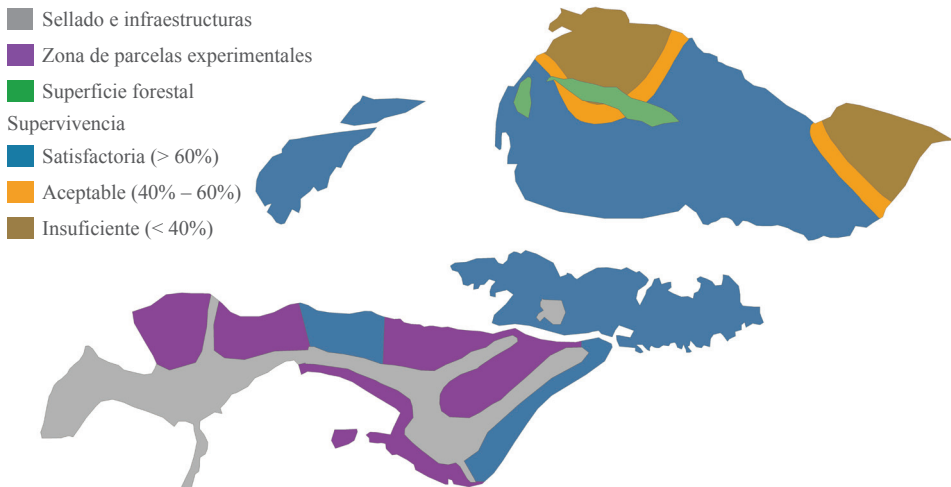


Figura III.7. Croquis de resultados del seguimiento de mareas en la superficie de restauración 15 meses después de la plantación.

Finalmente, en lo referente a la evolución del crecimiento vegetal, la toma de datos se centró en pino piñonero y se realizó de forma puntual y dirigida a la caracterización de una serie de estratos de desarrollo (pleno, intermedio y deficiente) identificados visualmente cuyos resultados se muestran en la tabla III.3.

Tabla III.3. Evolución del crecimiento en altura y diámetro de plantas de pino piñonero tras 6 años desde su plantación en diferentes estratos de desarrollo.

Estrato de desarrollo	Altura (cm)	Diámetro (mm)
Pleno	200-250	90-100
Intermedio	80-150	40-60
Deficiente	30-40	25-35

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la financiación de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (expediente 839/2003/C/00). Los autores agradecen la ayuda prestada por Roberto Crespo Calvo en la edición gráfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala FJ, Vadillo I, López C, Aramburu MP, Escribano M, Escribano R, Frutos M, de Manglano S, Mataix C, Toledo JM (1996) Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Instituto Tecnológico Geominero de España, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Madrid
- Bell LC (2001) Establishment of native ecosystems after mining—Australian experience across diverse biogeographic zones. *Ecol Eng* 17:179–186
- Conesa HM, Robinson BH, Schulin R, Nowack B (2007) Growth of *Lygeum spartum* in acid mine tailings: response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions *Environ Pollut* 145:700–707
- Cooke JA, Johnson MS (2002) Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice NRC Canada. *Environ Rev* 10:41–71
- Department of Industry, Tourism and Resources (DITR) (2006) Mine rehabilitation Leading practice sustainable development program for the mining industry. Australian Government, Canberra, ACT
- Doley D, Audet P (2013) Adopting novel ecosystems as suitable rehabilitation alternatives for former mine sites. *Ecol Process* 2:22
- Ferreira da Silva E, Cardoso Fonseca E, Matos JX, Patinha C, Reis P, Santos Oliveira JM (2005) The effect of unconfined mine tailings on the geochemistry of soils, sediments and surface waters of the Lousal area (Iberian Pyrite Belt, southern Portugal). *Land Degrad Dev* 16:213–228
- Ghose MK (2005) Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land. *TIDEE* 4(2):137-150
- Harris J (2009) Soil microbial communities and restoration ecology: facilitators or followers? *Science* 325: 573–574
- Johnson MS, Cooke JA, Stevenson JK (1994) Revegetation of metalliferous wastes and land after metal mining. En: Hester RE, Harrison RM (eds) *Mining and its Environmental Impact, Environmental Science and Technology*, Royal Society of Chemistry, Letchworth, England, pp 31–48
- Larney FJ, Angers DA (2012) The role of organic amendments in soil reclamation: a review. *Can J Soil Sci* 92:19–38
- Lei K, Pan HY, Lin CY (2016) A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. *Ecol Eng* 90:320–325

- Li YM, Chaney RL, Brewer EP, Angle JS, Nelkin J (2003) Phytoextraction of nickel and cobalt by hyperaccumulator *Alyssum* species grown on nickel-contaminated soils. *Environ Sci Technol* 37:1463–1468
- Lotze F (1945) Zur gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta. *Geotk Forsch* 6: 78-92 (Traducción española por: Ríos JM (1961) Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España 149–166 Madrid)
- Ludwig J, Hindley N, Barnett G (2003) Indicators for monitoring minesite rehabilitation: trends on waste-rock dumps, northern Australia. *Ecol Indic* 3:143–153
- Ma Y, Dickinson NM, Wong MH (2006) Beneficial effects of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on establishment of leguminous trees on Pb/Zn mine tailings. *Soil Biol Biochem* 38:1403-1412
- Macdonald SE, Landhäusser SM, Skousen J, Franklin J, Frouz J, Hall S, Jacobs DF, Quideau S (2015) Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New For* 46:703–732
- Macías F, Calvo de Anta R (2003) Bases científicas del proyecto de recuperación de suelos contaminados en la cuenca del río Guadiamar II: Caracterización y evolución del proceso contaminante. En: Ciencias y restauración del río Guadiamar, Consejería Medio Ambiente, Junta de Andalucía, pp 60-77.
- Mench M, Bussiere S, Boisson J, Castaing E, Vangronsveld J, Ruttens A, De Koe T, Bleeker P, Assunção A, Manceau A (2003) Progress in remediation and revegetation of the barren Jales gold mine spoil after in situ treatments. *Plant Soil* 249:187–202
- Mendez MO, Maier RM (2008) Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. *Environ Health Perspect* 116:278–283
- Mertens J, Van Nevel L, De Schrijver A, Piesschaert F, Oosterbean A, Tack FMG, Verheyen K (2007) Tree species effect on the redistribution of soil metals. *Environ Pollut* 149:173–181
- Mummey D, Stahl PD, Buyer J (2002) Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. *Appl Soil Ecol* 21:251–259
- Paradelo R (2013) Utilización de materiales compostados en la rehabilitación potencial de espacios afectados por residuos mineros y suelos de mina. *Bol Geol Minero* 124:405-419
- Peman J, Navarro Cerrillo RM (1998) Repoblaciones forestales. Colección Eines 24, Universidad de Lleida
- Saiz JL, Ceacero CJ (2008) Restauración de suelos acidificados por minería metálica. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla
- Saiz JL, Macías F, Ceacero CJ, López AJ (2005a) Recuperación de suelos afectados por procesos de acidificación derivados de la actividad minera en Andalucía. En: Actas del II Simposio Nacional sobre Control de la degradación de suelos, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid
- Saiz JL, Macías F, Ceacero CJ, López AJ (2005b) Recuperación de suelos e integración paisajística de áreas degradadas por explotación minera en la faja pirítica andaluza. En: Actas del IV Congreso Forestal Español, SECF, Zaragoza
- Seco N, Fernández-Sanjurjo MJ, Núñez-Delgado A, Álvarez E (2014) Spreading of mixtures including wastes from the mussel shell treatment industry on an acid soil: effects on the dissolved aluminum species and on pasture production. *J Clean Prod* 70:154–163
- SER (2004) Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International
- Sheoran V, Sheoran AS, Poonia P (2010) Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *Int J Soil Sediment Water* 3 (2)
- Stumm W, Morgan JJ (1981) Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. John Wiley&Sons, New York
- Wong MH (2003) Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50:775–780
- Zornoza R, Faz A, Carmona DM, Kabas S, Martínez-Martínez S, Acosta JA (2012) Plant cover and soil biochemical properties in a mine tailing pond five years after application of marble wastes and organic amendments. *Pedosphere* 22:1–11

Caso práctico IV

Los arbustos nodriza en la restauración forestal de minas de carbón del noroeste de Palencia

Carolina MARTÍNEZ RUIZ, Pilar ZALDÍVAR,
Belén FERNÁNDEZ SANTOS, Daphne LÓPEZ MARCOS, Josu G. ALDAY

1. Bases teóricas: facilitación arbusto-árbol

En las últimas décadas, se ha producido un giro en la percepción de las formaciones de matorral y en el enfoque de la investigación forestal sobre ellas. Tradicionalmente, los matorrales seriales se han tratado como comunidades de escaso valor ecológico que interesaba eliminar mediante rozas, desbroces o quemas controladas para transformar en pasto (Fernández-Santos y Martínez-Ruiz 1999) o como paso previo a realizar repoblaciones para evitar la competencia con los plantones (Reque 2008). Esta consideración de los matorrales seriales como elementos negativos a los que había que “mantener a raya” ha supuesto que durante años se hayan estudiado sus características y respuesta a las perturbaciones (fuego) y otros tratamientos (corta, arranque, pastoreo) bajo la perspectiva de su eliminación (Fernández-Santos y Gómez-Gutiérrez 1994a, b; Fernández-Santos *et al.* 1999, 2004). Sin embargo, en los últimos años se ha puesto de manifiesto la capacidad de numerosas especies de arbustos para modificar el entorno, y favorecer el establecimiento de otras especies, con frecuencia arbóreas, mediante el proceso de facilitación (Callaway 1992; Pugnaire y Lázaro 2000; Callaway *et al.* 2002; Jordano *et al.* 2002; Alday *et al.* 2014). La facilitación se define como interacciones positivas no tróficas entre organismos en las que uno de ellos se beneficia, pero ninguno resulta perjudicado (Callaway 1997; Brooker *et al.* 2008).

Algunas especies de arbustos modifican directamente y de forma positiva las condiciones microclimáticas (cantidad de luz, temperatura y humedad del aire; Moro *et al.* 1997; Gómez-Aparicio *et al.* 2008; Prieto *et al.* 2011; Costa *et al.* 2017) y/o edáficas (nutrientes, oxigenación y humedad del suelo, textura; García Moya y McKell 1970; Pugnaire *et al.*

1996a, 2004; Prieto *et al.* 2011), y de forma indirecta pueden proporcionar protección frente a herbívoros (Pugnaire 2001; Gómez-Aparicio *et al.* 2008), atraer polinizadores, servir de refugio a animales, inducir cambios en la comunidad microbiana, fauna edáfica y micorrícica, etc. (Callaway 1997). Es evidente que las interacciones positivas actúan a la vez que las interacciones negativas o competencia y, por lo tanto, el resultado final dependerá de qué mecanismos sean más importantes en un determinado ambiente derivando hacia un resultado positivo o negativo (Callaway y Walker 1997; Holmgren *et al.* 1997; Brooker y Callaghan 1998; Pugnaire 2001).

La constatación del efecto “nodriza” por el que una especie de arbusto facilita el reclutamiento y supervivencia de plántulas de especies de árboles (p.e. Callaway 1992; Pugnaire *et al.* 1996b; Smit *et al.* 2008; Rolo *et al.* 2013; Perea y Gil 2014; Costa *et al.* 2017; Cruz-Alonso *et al.* 2019) ha derivado en la aplicación práctica de la facilitación para la recuperación de zonas degradadas (Padilla y Pugnaire 2006; Brooker *et al.* 2008).

Son varios los trabajos que analizan la utilidad de los arbustos para restaurar zonas degradadas en condiciones mediterráneas de la península ibérica (Castro *et al.* 2002; Gómez-Aparicio *et al.* 2004; 2008), y, en concreto, sobre el papel facilitador de distintas especies de arbustos para promover el establecimiento y crecimiento de especies de *Quercus* (Pugnaire *et al.* 1996a; Padilla y Pugnaire 2006; Smit *et al.* 2008; Cuesta *et al.* 2010; Perea y Gil 2014; Costa *et al.* 2017; Cruz-Alonso *et al.* 2019), además de plantear la facilitación como una nueva técnica de reforestación del bosque mediterráneo (Jordano *et al.* 2002; Castro *et al.* 2002, 2004; Benayas y Camacho 2004; Gómez-Aparicio *et al.* 2004). Sin embargo, son pocos los estudios que abordan el papel facilitador de los matorrales en la reforestación de ambientes drásticamente transformados como los generados por la minería del carbón (pero ver Torroba-Balmori *et al.* 2015 y Alday *et al.* 2016). En estos ambientes, las condiciones ambientales (sequía estival), edáficas (suelos sin estructura, con escasos nutrientes y baja capacidad de retención de humedad) y la presión de herbívoros conforman un complejo escenario ambiental que dificulta la regeneración de especies sucesionales tardías como el roble albar (*Quercus petraea*) o el roble melojo (*Quercus pyrenaica*).

La posibilidad de que los matorrales tengan también un efecto positivo en la incorporación de especies leñosas arbóreas en estos ambientes tan degradados abre grandes perspectivas de cara a la regeneración forestal de áreas con limitaciones similares, en las que la recuperación de la cubierta arbórea sea el objetivo. No obstante, para favorecer la expansión del bosque aprovechando el potencial facilitador de los matorrales como especies “ingenieras” en la restauración forestal, es necesario determinar en qué circunstancias las interacciones positivas cobran mayor importancia en relación con el gradiente ambiental de estrés, bien por la aridez del clima, bien por la escasa capacidad de los sustratos mineros para retener la humedad y su deficiencia en nutrientes (López-Marcos *et al.* 2019, 2020), así como por la presión de herbívoros.

Teniendo en cuenta, además, que las especies facilitadas con frecuencia se encuentran en el límite de su tolerancia ambiental (extremos de su nicho ecológico potencial), los

mecanismos de facilitación podrían contribuir a la expansión de sus áreas de distribución, incrementando la diversidad biológica de la comunidad (Choler *et al.* 2001). Este último aspecto es especialmente interesante en España donde se encuentra el límite sur del área de distribución de especies como *Quercus petraea* o *Quercus robur*, cuyos bosques son de los más amenazados de nuestro país como consecuencia del cambio climático.

Partiendo de estas premisas, en este capítulo se presentan, como caso de estudio, los trabajos de seguimiento de las labores de restauración realizados durante los últimos 20 años en minas de carbón del norte de Palencia, en un entorno forestal de roble albar y roble melojo. El interés de este sistema de estudio radica en que permite ilustrar los efectos (positivos/negativos) de las plantas nodriza en situaciones que combinan tres factores limitantes clave para la regeneración forestal en general en la península ibérica: i) suelos poco desarrollados, ii) sequía estival y iii) alta presión de herbívoros. En estas condiciones, los matorrales nodriza han favorecido el reclutamiento, supervivencia y crecimiento de las especies arbóreas que se refugian bajo ellos (Torroba-Balmori *et al.* 2015; Alday *et al.* 2016). Por tanto, las conclusiones obtenidas pueden ser fácilmente extrapolables a áreas similares en las que actúen los tres factores individualmente o en interacción.

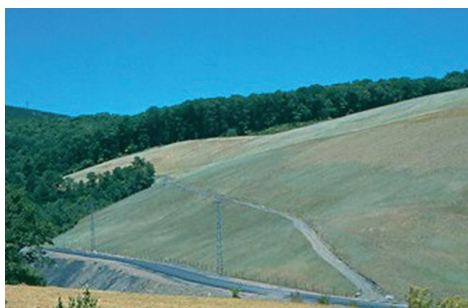
2. La rehabilitación de las minas de carbón y caracterización ambiental

En el norte de Palencia casi todo el carbón se ha extraído, en las últimas décadas, de cielos abiertos (89,21% en 2014). Los yacimientos de carbón se encuentran en capas tumbadas de topografía desfavorable (montañosa) y la explotación a cielo abierto se ha realizado con el método de minería de contorno, que consiste en la excavación en sentido transversal hasta alcanzar el límite económico. El volumen de estériles generado es muy elevado debido a la escasa potencia de las vetas de carbón, aunque estos mismos estériles pueden ser transferidos para una posterior recuperación de los terrenos (figura IV.1). Se calcula que la minería de carbón a cielo abierto ha afectado a más de 5000 ha en el norte de las provincias de León y Palencia generando impactos localizados pero importantes (Alday *et al.* 2010). Los desmontes se han llevado a cabo, generalmente, en formaciones boscosas, principalmente robledales de albar y melojo, contribuyendo a una mayor fragmentación, si cabe, de estas masas.



Figura IV.1. Hueco minero en ladera en fase de relleno con estériles de minas cercanas, en “El Sestil” (Guardo, Palencia) (foto: C Martínez Ruiz).

El objetivo de los proyectos técnicos de “restauración” ha sido revegetar cuanto antes, tanto para disminuir el riesgo de erosión como para incrementar el valor estético. La mayoría de los planes de rehabilitación ejecutados han consistido en el relleno del hueco de explotación con estériles de la propia mina o minas próximas, reconstrucción en lo posible del relieve, estabilización de los estériles, añadido de suelo, enmienda con abono orgánico y mineral seguido de hidrosiembra con una mezcla comercial de especies herbáceas de leguminosas y gramíneas. No se hacen más intervenciones técnicas y los espacios así rehabilitados quedan sujetos a procesos naturales de sucesión secundaria (figura IV.2). En algunos casos se han plantado especies autóctonas más propias de estados avanzados en la sucesión (árboles), en un intento de mejorar la percepción paisajística y recuperar rápidamente la cubierta arbórea, que no han conseguido arraigar salvo escasos individuos. Este fracaso es, obviamente, una pérdida de tiempo y dinero y, en general, las restauraciones no han tenido éxito desde el punto de vista de conseguir el desarrollo de un ecosistema funcional y autosostenible (Alday *et al.* 2010).



Aspecto tras su rehabilitación e hidrosiembra en octubre de 2000.



Expansión natural del matorral de leguminosas (*Cytisus scoparius* y *Genista florida*) tras 10 años.

Figura IV.2. Ejemplo de rehabilitación de un hueco minero de carbón en el norte de Palencia (fotos: C Martínez Ruiz).

Las medidas técnicas para restaurar pueden ser más o menos intensas, desde intervenciones mínimas que confían en la sucesión espontánea a intervenciones dirigidas a mejorar el estrés abiótico, promover la dispersión de especies, mejorar la fertilidad y estructura del suelo, plantación de especies objetivo, etc., todo ello dependiendo de los objetivos y recursos disponibles (Walker *et al.* 2014). Algunos autores abogan por las ventajas de la mínima intervención recurriendo únicamente a la sucesión espontánea (Walker *et al.* 2007; Prach y Hobbs 2008).

Los huecos mineros restaurados en el noroeste de Palencia (figura IV.3) se localizan dentro de un rango altitudinal de entre 1100 y 1200 m (Lat. 42° 47' - 42° 50' N; Long. 4° 32' - 4° 53' W), en clima mediterráneo subhúmedo con precipitación media anual en torno a los 900 mm (Milder *et al.* 2013), y un periodo de sequía estival de dos meses de duración (julio y agosto) (figura IV.4). En condiciones naturales, con el perfil edáfico sin degradar (figura IV.5, tabla IV.1), este periodo de sequía estival es fácilmente superado por la vegetación al contar el suelo con una buena estructura y capacidad de retención hídrica, tal y como ponen de manifiesto los bosques planocaducifolios circundantes. Sin embargo, los sustratos mineros son suelos poco evolucionados (figura IV.5, tabla IV.1),

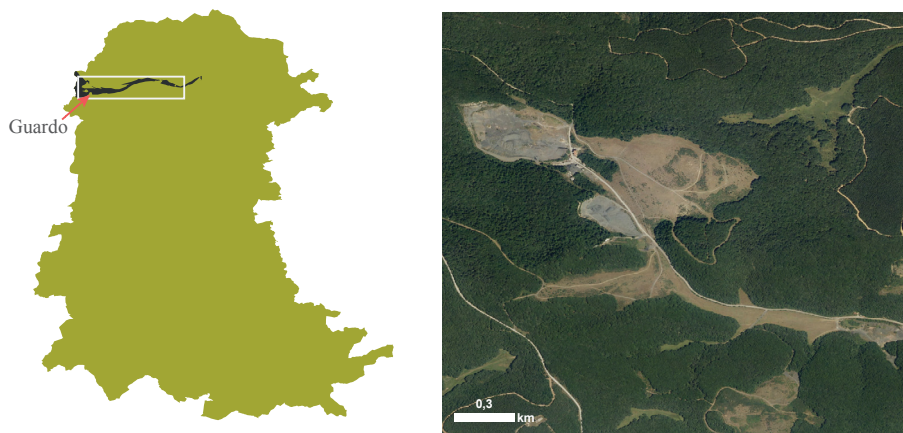


Figura IV.3. Ubicación del área de estudio sobre la cuenca carbonífera Guardo-Cervera (Grupo CEA: conglomerados polimíticos y silíceos, arenisca, lutitas y carbón) y vista aérea de algunos huecos mineros rehabilitados y en explotación (fuente: Mapa Geológico España escala 1:50000).

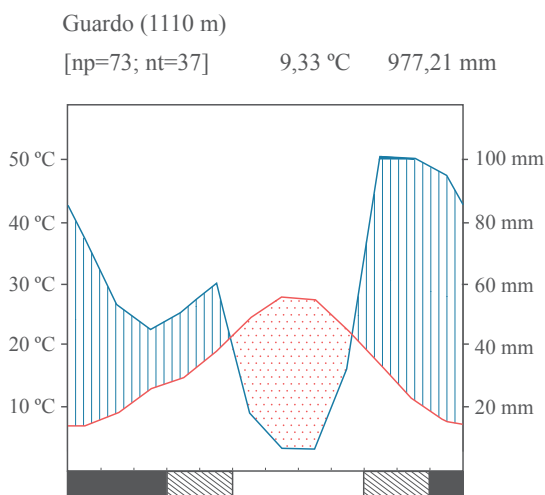


Figura IV.4. Climodiagrama de la estación de Guardo, situada en el área de estudio.

con un único horizonte A de unos 10-15 cm de profundidad (López-Marcos 2013), que están en los estadios más tempranos de desarrollo sucesional (Alday *et al.* 2012), carecen de estructura edáfica y poseen baja capacidad de retención hídrica (López-Marcos *et al.* 2019, 2020) como para mitigar este lapso de sequía estival, de modo que la vegetación sufre de un estrés hídrico importante. Este estrés puede convertirse en uno de los principales factores limitantes para el establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plántulas de roble, junto a la presión de ungulados (ver Alday *et al.* 2016; Torroba-Balmori *et al.* 2015). Por tanto, no parece adecuado el enfoque de una mínima intervención.



Perfil de suelo forestal adyacente a una mina.

Perfil en hueco minero.

Figura IV.5. Perfiles de suelo en el área de estudio (fotos: D López Marcos).

Tabla IV.1. Propiedades del perfil del suelo forestal adyacente a las minas y del hueco minero restaurado (López-Marcos 2013).

	Suelo forestal adyacente a la mina		Hueco minero restaurado
	Horizonte A	Horizonte AC	Horizonte A
Espesor del horizonte	0-10 cm	10-25 cm	10-15 cm
Elementos gruesos (%)	42,01	63,39	59,25
Arena (%) (Sistema Internacional)	28,95	19,71	54
Limo (%) (Sistema Internacional)	48,65	52,64	30,15
Arcilla (%) (Sistema Internacional)	22,4	27,65	15,84
Clase textural	franco-arcillo-arenoso	franco-arcillo-arenoso	franco-arcilloso
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,64	1,22	1,22
Densidad real (g cm ⁻³)	1,43	1,86	2,28
Porosidad (%)	55,60	34,51	46,38
Capacidad de campo (%)	61,30	41,08	32,53
Coefficiente de marchitamiento (%)	43,55	22,90	17,04
Agua útil (%)	17,75	18,18	15,49
pH	4,4	4,8	6,5
Capacidad de cambio catiónico (μ S cm ⁻¹)	159,9	48,9	114,3
Fósforo asimilable - método Olsen (ppm)	87	1,22	9,74
Carbono fácilmente oxidable (%)	7,86	5,32	1,98

Tal y como demuestran Alday *et al.* (2011), si se añade tierra vegetal y se hidrosiembra, la sucesión vegetal es relativamente rápida, desarrollándose en 15 años una comunidad autóctona de arbustos (cuyas semillas no estaban presentes en la mezcla de la hidrosiembra) con coberturas comprendidas entre el 36 al 85 %, colonizando el terreno de forma dispersa. Por el contrario, si no se añade tierra vegetal ni se realiza hidrosiembra, la sucesión queda prácticamente detenida (*arrested succession*), y la colonización de leñosas puede tardar más de 40 años (Alday *et al.* 2014). El extendido de “tierra vegetal” no devuelve un banco de semillas original, pues apenas contiene semillas que puedan restituir el cortejo florístico (González-Alday *et al.* 2009), y se hace necesario la colonización activa desde las zonas circundantes o la introducción de semillas (hidrosiembra) para lograr una rápida cubierta vegetal de herbáceas. A menudo, la fase inicial de establecimiento de herbáceas tras hidrosiembra no resulta exitosa debido, principalmente, al empleo de mezclas comerciales de semillas alóctonas (Martínez-Ruiz *et al.* 2007). En el mejor de los casos se instala un tapiz herbáceo, más o menos continuo, de especies introducidas alóctonas, que va siendo colonizado por especies nativas desde las comunidades adyacentes, entre las que las leñosas juegan un papel crucial (figura IV.2).

3. Colonización natural de leñosas desde el bosque circundante

Los arbustos colonizadores de estas minas son principalmente las escobas o piornos, *Cytisus scoparius* y *Genista florida*, con presencia esporádica de ejemplares de *Rosa canina*, *Crataegus monogyna* y *Rubus ulmifolius*, especies todas ellas presentes en el cortejo florístico de los robledales que rodean los huecos mineros (Milder *et al.* 2013). Las manchas de arbustos no forman un tapiz uniforme y continuo, sino que colonizan el terreno de forma dispersa, avanzando desde el borde del bosque circundante como un frente de colonización irregular, condicionado en parte por la forma del borde bosque-mina (ver Milder *et al.* 2008). Como resultado, se genera un marcado gradiente ambiental (microclimático, edáfico y de estrés hídrico), caracterizado por un aumento del pH, fósforo disponible y luz, y un descenso del potasio intercambiable, nitrógeno total, materia orgánica y humedad edáfica desde el bosque hacia la mina (Milder *et al.* 2013), en el que es posible diferenciar tres ambientes (figura IV.6; Alday *et al.* 2016). Primero, el bosque natural de roble albar (una banda de 12 m en contacto con la mina), que actúa como fuente de propágulos y sirve de referencia para conocer cómo sería la regeneración en condiciones naturales. Segundo, el área minera próxima al borde del bosque (una banda de unos 5 m de anchura), que recibe gran influencia de las copas de los árboles (sombreado y hojarasca), gran afluencia de bellotas, principalmente por barocoria, y cuenta con alta cobertura de matorral (75%). Y, tercero, el área minera más alejada del bosque (una banda de unos 8 m de anchura), que se caracteriza por la ausencia de la influencia del bosque, pero con alta cobertura de matorral (65%), y hasta donde llegan pocas bellotas, bien por barocoria (rodando por la pendiente, rebotando en la caída o empujadas por golpes de viento) o dispersadas por animales.

En principio, los ratones de campo (*Apodemus sylvaticus*) dispersarían las bellotas hasta microsítios más favorables para la germinación y el establecimiento de plántulas que los arrendajos (*Garrulus glandarius*), puesto que los arbustos proporcionan sombra aliviando el estrés hídrico, mejores condiciones edáficas y protección frente al pisoteo y ramoneo



Figura IV.6. Gradiente bosque-mina en el que se diferencian claramente tres ambientes: borde del bosque, zona de la mina junto al bosque y zona de la mina más alejada con cobertura de leñosas (foto: C Martínez Ruiz).

de herbívoros domésticos y salvajes (Zaldívar 2015). En contrapartida las distancias de dispersión son muy cortas, permitiendo únicamente la colonización de unos pocos metros del borde de la escombrera en contacto con el bosque, como pone de manifiesto el estudio de Milder *et al.* (2013). Las bellotas enterradas y olvidadas por los arrendajos en los claros de la escombrera han de germinar en un micrositio más desfavorable, con mayor estrés hídrico, peores condiciones edáficas, mayor intensidad de radiación solar y nula protección frente a herbívoros (Zaldívar 2015).

La heterogeneidad ambiental generada a lo largo del gradiente bosque-mina, así como la distancia a la fuente de propágulos afectan considerablemente a la dispersión de semillas y al establecimiento de plántulas, influyendo considerablemente en la composición de leñosas (Milder *et al.* 2013) y en el reclutamiento de plántulas de roble (Alday *et al.* 2016), de modo que la colonización disminuye de forma logarítmica al aumentar la distancia al bosque (Milder *et al.* 2008). De hecho, la colonización de los robles (94%) queda relegada a los primeros cinco metros de la mina (Milder *et al.* 2008, 2013) y casi siempre bajo arbustos con volúmenes de cobertura superiores a 0,65 m³ (Alday *et al.* 2014). Esto indica que si las bellotas superan la barrera de la dispersión (Gómez *et al.* 2003, 2008; Schupp *et al.* 2010), tienen que alcanzar micrositios favorables bajo arbustos para una efectiva germinación y crecimiento (Gómez *et al.* 2008).

4. Micrositios favorables para el establecimiento de los robles

El efecto positivo de los arbustos en el establecimiento de plántulas de *Q. petraea* en ambientes mineros se acentúa al aumentar el estrés ambiental (Milder 2015; Alday *et al.* 2016). Es más marcado en el ambiente de mina más alejado del bosque, de mayor

severidad ambiental (mayor estrés hídrico y radiación solar incidente), de acuerdo con la hipótesis del gradiente de estrés de Bertness y Callaway (1994). De modo que, aunque la densidad de robles disminuye con la distancia al bosque (de $16 \pm 3,78$ ind m^{-2} en el bosque a $3 \pm 0,44$ ind m^{-2} en la zona de mina próxima al bosque; Alday *et al.* 2016) y, por lo tanto, es menor en la zona de la mina más alejada del bosque ($1 \pm 0,15$ ind m^{-2}), el porcentaje de robles asociados a mayor cobertura y grado de protección del matorral aumenta (del 27% en la zona de la mina más próxima al bosque al 73% en la zona de la mina más alejada del bosque; Milder 2015). Es bien conocido que los arbustos promueven islas de fertilidad bajo su cubierta (García Moya y McKell 1970; Pajunen *et al.* 2012), modificando las condiciones microambientales (Gómez-Aparicio *et al.* 2005) y favoreciendo el establecimiento de las bellotas y el crecimiento de las plántulas (Torroba-Balmori *et al.* 2015; Costa *et al.* 2017). En particular, *C. scoparius* y *G. florida* ejercen un efecto positivo sobre la fertilidad y humedad edáficas (García-Ibáñez 2001).

No obstante, en cada ambiente minero, son distintas las características estructurales de los matorrales que ejercen efecto positivo sobre el establecimiento de los robles. El efecto positivo de la altura y cobertura del matorral aumenta desde el ambiente de mina próxima al bosque al más estresante, mina más alejada del bosque (Zaldivar 2015; Alday *et al.* 2016). Sin embargo, en la zona de mina más próxima al bosque, el mayor grado de protección lateral frente a los herbívoros es la característica de los matorrales con mayor influencia sobre el establecimiento de plántulas de roble, junto a la mayor humedad edáfica (Alday *et al.* 2016). El ambiente de mina próximo al bosque aún se ve influenciado por el dosel del bosque, suavizándose la dureza ambiental, pero se produce un elevado consumo de bellotas y pisoteo de plantas producido por la intensa actividad animal (Milder *et al.* 2008), por lo que parece que lograr una mayor protección física frente a los herbívoros es lo más importante (Alday *et al.* 2016). En el ambiente de mina más alejado del bosque, donde la severidad ambiental es mayor (mayor estrés hídrico y radiación solar incidente), el efecto positivo de los matorrales sobre el establecimiento de los robles lo ejercen las características estructurales más relacionadas con la mejora de las condiciones ambientales (Milder 2015; Alday *et al.* 2016).

Además, el arbusto facilitador predominante es *Genista florida*, sobre todo en el ambiente de mina más alejado del bosque. Esto probablemente se deba a su predominio (Alday *et al.* 2011) y a que tiene mayor porte que *Cytisus scoparius* (*Genista* alcanza 254 cm de altura frente a los 150 cm de *Cytisus*), proporcionando mejor protección a los animales dispersantes (Pérez-Ramos y Marañón 2008) y, con ello, actuando como trampas de bellotas que contribuyen al establecimiento de las plántulas (Padilla y Pugnaire 2006).

La relación inversa encontrada en ambientes de mina entre una mayor cobertura de matorral y una menor presión de herbivoría respalda la idea de que en la zona de estudio el efecto nodriza que ejerce el matorral, facilitando la presencia y colonización de plántulas de roble, se produce no sólo gracias a la mejora directa de las condiciones ambientales bajo su cubierta (datos sin publicar), sino también de forma indirecta debido a su protección frente a los herbívoros (Milder 2015). Este tipo de asociación, denominada resistencia asociativa (*associational resistance*), se caracteriza porque las especies leñosas no preferidas por los herbívoros, ya sea debido a defensas físicas (espinas, pelos) o químicas (toxinas, elevadas concentraciones de componentes poco digeribles), proporcionan protección a las plántulas al crecer en asociación

con ellas (Bobiec *et al.* 2011). Los arbustos de *G. florida* y *C. scoparius* tienen una aceptable palatabilidad y calidad nutritiva, pero su contenido en alcaloides, aunque no muy elevado, produce desórdenes digestivos en el ganado equino (Ammar *et al.* 2004) que los rechaza, al igual que hace el ganado vacuno (Osoro *et al.* 2000). Parson y Cuthbertson (1992) señalan que las semillas y las ramas maduras de *Cytisus scoparius* no son palatables para los ungulados, pudiendo llegar a ser incluso tóxicas. Sin embargo, cabras y ovejas ramonean estos arbustos sin problema (Osoro *et al.* 2000; Ammar *et al.* 2004).

En definitiva, los resultados obtenidos de los estudios llevados a cabo en las minas de carbón del noroeste de Palencia desde 2005 destacan que los procesos de facilitación planta-planta son clave para explicar la dinámica de la colonización natural de leñosas en las minas de carbón rehabilitadas y, en particular, la expansión de los robles desde el bosque adyacente. Además, apoyan la idea de utilizar los matorrales como especies “ingenieras” de los ecosistemas, con el objetivo de crear una rápida y homogénea cobertura vegetal que proporcione microsítios favorables para el establecimiento de especies sucesionales tardías, como son *Quercus petraea* y *Q. pyrenaica*.

5. Dinámica de la regeneración natural

En los tres ambientes identificados a lo largo del gradiente bosque-mina, las plántulas de *Q. petraea* presentan mortalidad a lo largo del tiempo (datos disponibles desde 2010) pero ésta no lleva aparejada una reducción en la densidad debido a la incorporación anual de nuevas plántulas, especialmente en los años de vejería. Los valores del regenerado en los tres ambientes parecen suficientes para la regeneración de la masa (ver Alday *et al.* 2016), siempre y cuando las plántulas superen la fase de instalación o diseminado y lleguen a alcanzar altura suficiente para evitar los daños por ungulados, es decir, más de 150 cm (Bergquist *et al.* 2009). Posiblemente hayan de transcurrir décadas hasta que toda el área minera pueda ser colonizada por el robledal, puesto que no se han detectado plántulas más allá de los 15–20 m desde el borde del bosque (Milder *et al.* 2013). Sin embargo, es en el ambiente de bosque donde estas plántulas, a nivel individual, parecen tener más problemas para sobrevivir y crecer. Las plántulas de roble pueden sobrevivir el primer año, incluso en condiciones poco favorables, gracias a las reservas de nutrientes de los cotiledones. Una vez transcurrido este primer año entran en juego otros factores que afectan a la supervivencia, como la depredación, la competencia por la luz, el agua o los fenómenos estocásticos (Annighöfer *et al.* 2015), que parecen incidir de modo especial en el bosque. Durante todos los años de seguimiento, el crecimiento anual y la altura de las plántulas de roble son también mayores en los ambientes de mina que en el bosque natural, posiblemente debido a la menor competencia y a la mayor disponibilidad lumínica gracias a la arquitectura y la fenología de los arbustos protectores (García-Ibáñez 2001; Gómez-Aparicio *et al.* 2008; Pérez-Ramos *et al.* 2010).

Parece, por tanto, que los robles encuentran en la mina microsítios favorables bajo los matorrales para germinar, sobrevivir y crecer durante los primeros años de vida. No obstante, la presión de herbívoros sobre las semillas, plántulas y juveniles (Milder *et al.* 2008; Torroba *et al.* 2015) ejerce un fuerte efecto limitante que explica la escasa expansión de los robles en los huecos mineros transcurridos decenas de años desde la restauración (Zaldívar 2015), al impedir que las plantas alcancen tamaño suficiente como para escapar de los daños por herbivoría.

6. Papel de los arbustos en la introducción artificial de robles

Como se ha demostrado, la regeneración natural en la mina está asociada a los matorrales, por lo que cabe preguntarse si se debe a la predilección de los ratones por esconder las bellotas bajo los arbustos, o realmente los arbustos actúan como nodrizas y/o previenen la depredación de grandes herbívoros. Para ello se diseñó un experimento (figuras IV.7) en el que se reintrodujeron dos especies de robles, *Quercus petraea* y *Q. pyrenaica*, frecuentes en el área de estudio, en diferentes estados ontogenéticos (bellota y plántulas de 1 savia), en una zona de la mina restaurada que no presentaba regeneración natural de *Quercus*, probablemente por estar demasiado alejada del borde del bosque para el transporte de bellotas por los animales. Los robles se introdujeron en zonas abiertas y bajo arbustos (*Genista florida* y *Cytisus scoparius*), y simultáneamente con presencia o no de herbívoros. Los resultados demuestran la existencia de un efecto facilitador de *Genista florida* y *Cytisus scoparius*, especialmente la primera especie, tanto en la supervivencia y el crecimiento de plántulas reforestadas de robles (*Quercus petraea* y *Q. pyrenaica*) como en la germinación de bellotas sembradas (Torroba *et al.* 2015).



Plantación en espacios abiertos.



Plantación bajo matorral.



Siembra de bellotas en la mina.



Siembra de bellotas en el bosque.

Figura IV.7. Material y ambientes analizados en el ensayo (fotos: P Zaldívar).

Los arbustos tuvieron un claro efecto positivo en la supervivencia de los plantones. Transcurrido el primer verano (octubre de 2011), la tasa de supervivencia de los robles plantados en zonas bajo arbustos fue del 91 % frente a solo un 11 % en zonas abiertas, independientemente de estar situados en zonas valladas o no. El estrés abiótico producido por la sequía estival del verano de 2011 y agravado por las características edáficas fue más determinante que el estrés biótico, puesto que el vallado de las parcelas no ejerció ninguna influencia significativa ni en el establecimiento de los plantones ni en la germinación de bellotas de las dos especies de *Quercus*, al menos en los dos primeros años (Torroba *et al.* 2015). La mortalidad aumentó durante el siguiente periodo vegetativo, tanto para plántulas bajo arbustos como en zonas abiertas (51% vs. 93 %), debido probablemente a las bajas precipitaciones de septiembre 2011 a junio 2012. Un año meteorológicamente seco unido a la escasa capacidad de retención de agua del suelo de la mina (López-Marcos *et al.* 2020) provoca una fuerte evapotranspiración de forma que plantones y arbustos (además de otra vegetación) compiten por los recursos hídricos. Los arbustos dejan de ser facilitadores para pasar a ser netamente competidores cuando se incrementa el estrés ambiental (Brooker *et al.* 2008). Esta situación podría revertirse en los siguientes periodos vegetativos dependiendo de las condiciones meteorológicas y la capacidad competitiva de los robles.

A partir del segundo año de seguimiento se observaron descensos menos marcados en la supervivencia de los robles plantados (tabla IV.2), el más importante tras la sequía de 2014 (614,3 mm desde septiembre de 2014 a junio de 2015), pero sin llegar al nivel de impacto de la sequía del 2012 (567,8 mm desde septiembre de 2011 a junio de 2012). Aunque estos resultados parecen prometedores en cuanto al uso de los matorrales como nodrizas, hay que tener en cuenta que bajo matorral se refugia el ratón de campo en el área de estudio y en años de explosión demográfica pueden poner en peligro la supervivencia de plantas bien establecidas que sufren depredación en la base del tallo, son descalzadas y mueren (figura IV.8). Este fenómeno se ha observado especialmente en los años 2017 y 2019.

Tabla IV.2. Supervivencia de plántulas de roble albar y melojo plantadas en febrero de 2011 en minas de carbón del norte de Palencia, bajo matorral de *Cytisus scoparius* y *Genista florida*.

Año	Plántulas supervivientes (%)			
	Con arbusto		Sin arbusto	
	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>
2011	90,7	91,0	5,5	17,0
2012	44,6	54,3	2,5	11,5
2013	42,5	48,5	2,0	7,0
2014	35,0	41,5	2,0	5,5
2015	34,0	39,0	2,0	5,5
2016	33,5	39,0	1,0	4,5
2017	29,5	35,0	0,5	4,5
2018	25,0	32,0	0,5	2,0
2019	24,5	30,0	0,5	2,0



Huras que construye el ratón de campo bajo los matorrales en las minas.



Daños causados en la base del tallo de las plantas de roble.

Figura IV.8. Señales de presencia y predación del ratón de campo (fotos: P Zaldívar).

Las plántulas presentaron mayores tasas de crecimiento anual bajo arbustos que en zonas abiertas, contrastando con otros estudios en los que el crecimiento se ve limitado en micrositos sombreados frente a aquellos a plena exposición lumínica (Marañón *et al.* 2004; Gómez-Aparicio *et al.* 2005). Es posible que el efecto combinado de mejora de las condiciones hídricas y la propia arquitectura de los arbustos, con ramas finas y hojas pequeñas prontamente caducas, determine una respuesta final positiva.

Además, se encontraron diferencias significativas en la respuesta de las dos especies de robles a las variables de supervivencia y crecimiento. La reforestación con plántulas de melojo, *Q. pyrenaica*, presentó mejores tasas de supervivencia que con roble albar, *Q. petraea*, tanto bajo arbustos como en zonas abiertas. Transcurridas dos estaciones de crecimiento, sobrevivieron bajo arbustos un 54,3% de melojo y un 44,6 % de roble albar y en zonas abiertas un 11,5% y un 2,5% respectivamente. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en experiencias similares en duración (dos primeros años) y ubicados en otras zonas no mineras, se aprecia que los porcentajes de supervivencia observados en este estudio son similares a los obtenidos para *Q. pyrenaica* en la provincia de Salamanca (Villa *et al.* 2013; Costa *et al.* 2017), o bastante mejores que los registrados en los montes de Toledo: 12,5% bajo arbustos y 2,5% en zonas abiertas (Perea y Gil 2014). Por tanto, si se tiene en cuenta las diferencias edáficas entre un hueco minero restaurado y un suelo sin alteraciones edáficas tan drásticas, se puede considerar que los resultados iniciales son prometedores. Evidentemente, se necesitan más años de seguimiento para comprobar si el efecto positivo del matorral se mantiene e identificar los factores que limitan la supervivencia y crecimiento de los robles a más largo plazo. Así, al cabo de 8 años tras la plantación, aunque la supervivencia de plántulas de melojo sigue siendo más alta que la de albar, tanto bajo matorral como en espacios abiertos, las diferencias no son tan amplias (sobrevivieron bajo arbustos un 30% de melojo y un 24,5% de roble albar y en zonas abiertas un 2% y un 0,5% respectivamente). Parece existir, además, un efecto significativo del vallado que no existió inicialmente (datos en fase de análisis).

El melojo también alcanza tasas de crecimiento anual superiores al roble albar, tanto bajo arbustos como sin cobertura de arbustos (primer año: $8,9 \pm 0,5$ cm vs. segundo año: $4,7 \pm 0,3$ cm para *Q. pyrenaica*; primer año: $8,3 \pm 0,5$ cm vs. segundo año: $2,9 \pm 0,3$ cm

para *Q. petraea*). Estas diferencias posiblemente se expliquen por sus distintas respuestas ambientales y adaptaciones ecofisiológicas. Aunque ambas especies están bien adaptadas a condiciones submediterráneas (Ruiz de la Torre 2006), *Q. petraea* tolera peores situaciones estresantes como una elevada radiación solar o déficit hídrico prolongado, condiciones que son mejor toleradas por el melojo (Rodríguez-Calcerrada *et al.* 2008).

Sin embargo, en la siembra de bellotas, los mejores resultados de emergencia se obtienen con bellotas de roble albar, *Q. petraea*, situadas bajo arbustos y protegidas con mallas frente a la depredación por roedores. La emergencia de las bellotas sembradas en la mina se vio favorecida por el empleo de malla de protección y por la presencia de arbustos, con valores de emergencia similares a los obtenidos en suelo forestal (Torroba *et al.* 2015). La malla ha sido efectiva para evitar la depredación de bellotas, aunque solo por parte de roedores (ver también González-Rodríguez *et al.* 2011), ya que se mantuvo la depredación por jabalíes. Por otra parte, los arbustos proporcionan sombra y acolchado evitando la desecación de las bellotas, que requieren humedad en el suelo para conservar la viabilidad (Finch-Savage 1992). Además, los arbustos han impedido el hozado de los jabalíes, de forma que el efecto combinado de malla bajo arbustos impide en gran medida la depredación de bellotas, identificada como uno de los principales “cuellos de botella” en la regeneración de especies del género *Quercus* (Gómez 2003; Pulido y Díaz 2005).

Estos resultados sugieren que la utilización de arbustos como plantas nodriza es una técnica prometedora en proyectos de restauración forestal que permitiría reintroducir con éxito especies de etapas sucesionales tardías, de difícil implantación. Los mejores resultados se han obtenido con plántulas de *Q. pyrenaica* bajo arbustos, pues se evitan problemas como la depredación de bellotas y fallos en la germinación. El estado ontogenético y la tolerancia al estrés de las especies objetivo deben ser tenidos en cuenta para incrementar la efectividad de esta técnica de restauración.

7. Expectativas de futuro

A pesar del reconocimiento que, desde hace tiempo, se da a la importancia de las interacciones positivas (planta-planta) en el funcionamiento del ecosistema, y de su papel en la restauración de ecosistemas degradados (Whisenant 1999; Pickett *et al.* 2001; Maestre *et al.* 2003), son todavía pocos los estudios que evalúan en condiciones reales su potencial para la reintroducción de especies de interés y restauración de la biodiversidad y funciones ecosistémicas (Navarro-Cano *et al.* 2019). En un contexto de cambio climático, sería esperable que el aumento de aridez limite aún más la capacidad de reclutamiento natural de las especies de *Quercus*, altere sus patrones de abundancia relativa en la comunidad y potencie el papel facilitador del matorral como elemento clave para el establecimiento exitoso de plántulas y brinzales (Pérez-Ramos 2014).

Los resultados derivados del caso de estudio presentado anteriormente sugieren que es posible potenciar la regeneración natural y reintroducir especies de *Quercus* en áreas degradadas, mediante el efecto facilitador de los arbustos; en este caso leguminosas arbustivas que han colonizado la zona de forma espontánea. La regeneración natural se asocia a estos arbustos y los primeros datos obtenidos en la plantación y siembra de bellotas también avalan su empleo. Son necesarios más estudios para ver el comportamiento de

la regeneración, y de las plantaciones y siembras bajo matorral, a más largo plazo, pero estos primeros resultados son alentadores y sugieren técnicas que pueden acelerar el proceso de restauración o rehabilitación del bosque autóctono, a la vez que ponen en evidencia limitaciones importantes que será necesario superar (depredación de bellotas, presión de ungulados).

Estudios recientes sobre la dinámica a largo plazo de la colonización de campos abandonados por leñosas, en ambientes mediterráneos, destacan también la importancia de los procesos de facilitación arbusto-árbol para acelerar el lento proceso natural de regeneración forestal (Cruz-Alonso *et al.* 2019). La colonización de robles tras el abandono de cultivos agrícolas en condiciones mediterráneas es un proceso muy lento y hay que esperar dos décadas tras el abandono para que los arbustos colonizadores (*Retama sphaerocarpa*) alcancen un tamaño y densidad suficientes como para facilitar y acelerar el reclutamiento de quejigo (*Quercus faginea*) y encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). Además, el efecto nodriza de *Retama sphaerocarpa* difiere entre especies de *Quercus*, y sólo beneficia a la encina de forma más notable en años secos. Por tanto, se pone de manifiesto el aumento de los procesos de facilitación durante la recolonización forestal y la naturaleza variable de este proceso entre diferentes años meteorológicamente diferentes y especies ecológicamente distintas.

Siguen siendo escasos los estudios que evalúan el efecto nodriza de los matorrales autóctonos simultáneamente sobre varias medidas de rendimiento (supervivencia y crecimiento), comparando especies con comportamiento ecológico contrastado frente al estrés, y en años con diferentes condiciones meteorológicas. Este es el caso del trabajo de Costa *et al.* (2017) que aborda el estudio del papel facilitador de *Cytisus multiflorus* (matorral endémico del noroeste peninsular) en la supervivencia y crecimiento de encina y melojo, en dehesas salmantinas con uso ganadero, suelos muy arenosos y clima mediterráneo con marcadas sequía estival e irregularidad pluviométrica interanual. El efecto facilitador de la escoba blanca tiene lugar tanto sobre plántulas de melojo como de encina (de 1 savia), pero en un grado diferente dependiendo de la especie considerada y la variable medida (supervivencia o crecimiento). En términos de supervivencia, la especie marcescente fue más favorecida por la cobertura de arbustos que la esclerófila y este efecto se acentuó a lo largo del tiempo. Sin embargo, en términos de crecimiento, aunque el roble melojo fue inicialmente más favorecido por los arbustos, las diferencias entre las dos especies se atenuaron después de dos años de seguimiento. El aumento de materia orgánica bajo matorral y la defensa física frente a ungulados pudieron identificarse como mecanismos de facilitación directa e indirecta, especialmente sobre las plántulas de melojo. Por tanto, *C. multiflorus* puede jugar un papel clave en la restauración de los ambientes degradados de dehesa. Teniendo en cuenta que las dehesas presentan un serio problema de falta de regeneración natural de sus especies arbóreas dominantes, el uso de plantas nodriza podría considerarse como herramienta útil en los planes de gestión y conservación de las dehesas con el fin de asegurar su persistencia y potenciar su capacidad de adaptación ante futuros escenarios de cambio climático (Martínez-Muñoz *et al.* 2019).

La facilitación es una importante fuerza estructuradora en comunidades naturales de plantas y, en consecuencia, podría constituir un mecanismo ecológico a utilizar como herramienta de restauración vegetal, en especial en ambientes severos y altamente

perturbados (Brooker *et al.* 2008). En estos ambientes el reclutamiento de plantas no ocurre en los espacios abiertos, sino bajo la sombra de árboles o arbustos nodriza (Del Pozo *et al.* 1989; Gutiérrez y Squeo 2004). Queda demostrado que este campo de investigación puede ofrecer grandes posibilidades para la conservación del territorio, de manera que mediante el uso de matorrales facilitadores se establezcan otras especies, tanto herbáceas como leñosas. Es, por tanto, un excelente método para realizar restauraciones paisajísticas de bajo coste y mantenimiento mínimo, entre cuyos objetivos no sólo se incluiría la sujeción del suelo y reducción de la erosión, sino también la conservación de la biodiversidad (Choler *et al.* 2001). La restauración de ambientes degradados se optimizaría y abarataría utilizando técnicas basadas en el propio funcionamiento de los ecosistemas, como la incorporación de los procesos de facilitación entre las labores de restauración, lo que permitiría acelerar el proceso natural de sucesión ecológica y reducir costes e impactos ambientales y visuales asociados a técnicas tradicionales empleadas en estos lugares y, en definitiva, garantizar una gestión forestal con éxito para el establecimiento de ciertas especies.

Agradecimientos

Los resultados presentados en este capítulo han sido posibles gracias a la financiación de la Junta de Castilla y León (VA042A10-2 y VA035G18), y varios contratos con empresas (18I QCB y 18I PJJ). Josu G. Alday se financia mediante un contrato “Ramón y Cajal” (RYC-2016-20528).

BIBLIOGRAFÍA

- Alday JG, Marrs RH, Martínez-Ruiz C (2010) The importance of topography and climate on short-term revegetation of coal wastes in Spain. *Ecol Eng* 36:579-585
- Alday JG, Marrs RH, Martínez-Ruiz C (2011) Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. *Appl Veg Sci* 14:84-94
- Alday JG, Marrs RH, Martínez-Ruiz C (2012) Soil and vegetation development during early succession on restored coal wastes: a six-year permanent plot study. *Plant Soil* 353:305-320
- Alday JG, Santana VM, Marrs RH, Martínez-Ruiz C (2014) Shrub-induced understory vegetation changes in reclaimed mine sites. *Ecol Eng* 73:691-698
- Alday JG, Zaldivar P, Torroba-Balmori P, Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C (2016) Natural forest expansion on reclaimed coal mines in Northern Spain: the role of native shrubs as suitable microsites. *Environ Sci Pollut Res* 23:13606-13616
- Ammar H, López S, González JS, Ranilla MJ (2004) Seasonal variations in the chemical composition and in vitro digestibility of some Spanish leguminous shrub species. *Anim Feed Sci Tech* 115:327-340
- Annighöfer P, Beckschäfer P, Vor T, Ammer C (2015) Regeneration patterns of european oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. *PLoS ONE* 10(8):e0134935
- Benayas JM, Camacho Cruz A (2004). Performance of *Quercus ilex* saplings in abandoned Mediterranean cropland after long-term interruption of their management. *For Ecol Manage* 194:223-233
- Bergquist J, Löf M, Örlander G (2009) Effects of Roe deer browsing and site preparation on performance of planted broadleaved and conifer seedlings when using temporary fences. *Scand J For Res* 24:308-317
- Bertness MD, Callaway R (1994) Positive interactions in communities. *Trends Ecol Evol* 9:191-193

- Bobiec A, Kuijper DPJ, Niklasson M, Romankiewicz A, Solecka K (2011) Oak (*Quercus robur* L.) regeneration in early successional woodlands grazed by wild ungulates in the absence of livestock. *For Ecol Manage* 262:780-790
- Brooker RW, Callaghan TV (1998) On the balance between positive and negative plant interaction and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos* 81:196-207
- Brooker RW, Maestre FT, Callaway RM, Lortie CL, Cavieres LA, Kunstler G, Liancourt P, Tielborger K, Travis MJJ, Anthelme F, Armas C, Coll L, Corcket E, Delzon S, Forey E, Kikvidze Z, Olofsson J, Pugnaire F, Quiroz CL, Saccone P, Schifffers K, Seifan M, Touzard B, Michalet R (2008) Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *J Ecol* 96:18-34
- Callaway RM (1992) Effect of shrubs on recruitment of *Quercus douglasii* and *Quercus lobata* in California. *Ecology* 73:2118-2128
- Callaway RM (1997) Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia* 112:143-149
- Callaway RM (2007) Positive interactions and interdependence in plant communities. Springer, Dordrecht
- Callaway RM, Walker LR (1997) Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78:1958-1965
- Callaway RM, Brooker RW, Choler P, Kikvidze Z, Lortie C, Michalet R, Paolini L, Pugnaire FI, Newingham B, Aschehoug ET, Armas C, Kikvidze D, Cook BJ (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417:844-848
- Castro J, Zamora R, Hódar JA, Gómez JM (2002) Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restor Ecol* 10:297-305
- Castro J, Zamora R, Hódar JA, Gómez JM, Gómez-Aparicio L (2004) Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in mediterranean mountains: A 4-year study. *Restor Ecol* 12:352-358
- Choler P, Michalet R, Callaway MR (2001) Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology* 82:3295-3308
- Costa A, Villa S, Alonso P, García-Rodríguez JA, Martín FJ, Martínez-Ruiz C, Fernández-Santos B (2017) Can native shrubs facilitate the early establishment of contrasted co-occurring oaks in Mediterranean grazed areas? *J Veg Sci* 28:1047-1056
- Cruz-Alonso V, Villar-Salvador P, Ruiz-Benito P, Ibañez I, Rey-Benayas JM (2019) Long-term dynamics of shrub facilitation shape the mixing of evergreen and deciduous oaks in Mediterranean abandoned fields. *J Ecol* 108:1125-1137
- Cuesta B, Villar-Salvador P, Puértola J, Rey Benayas JM, Michalet R (2010) Facilitation of *Quercus ilex* in Mediterranean shrubland is explained by both direct and indirect interactions mediated by herbs. *J Ecol* 98:687-696
- Del Pozo AH, Fuentes ER, Hajek ER, Molina JD (1989) Zonación microclimática por efecto de los manchones de arbustos en el matorral de Chile central. *Rev Chil Hist Nat* 62:85-94
- Fernández Santos B, Gómez-Gutiérrez JM (1994a) Post fire production and accumulation of aboveground biomass in a matorral leguminous shrub, *Cytisus multiflorus*, in NW Spain. In: Biomass for Energy and Industry. Ponte Press, Germany, pp 666-673
- Fernández-Santos B, Gómez-Gutiérrez JM (1994b) Changes in *Cytisus oromediterraneus* populations after fire. *J Veg Sci* 5:463-472
- Fernández Santos B, Gómez-Gutiérrez JM, Moreno-Marcos G (1999) Effects of disturbance caused by traditional Spanish rural land use on the regeneration of *Cytisus multiflorus*. *Appl Veg Sci* 2:239-250
- Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C (1999). Los matorrales: formaciones de gran interés ecológico y para la economía humana. In: Cervantes E (coord) Cuestiones de Biología (Aportaciones Riojanas 1). Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, pp 213-229
- Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C, García JA, Puerto A (2004) Postfire regeneration in *Cytisus oromediterraneus*: sources of variation and morphology of the below-ground parts. *Acta Oecol* 6:149-156
- Finch-Savage WE (1992) Embryo water status and survival in the recalcitrant species *Quercus robur* L.: evidence for a critical moisture content. *J Exp Bot* 43:663- 669

- García-Ibáñez E (2001) Efecto sobre el suelo de la hojarasca de arbustos en la Sierra de Guadarrama. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid
- García Moya E, McKell CM (1970) Contribution of shrub to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51:81-88
- Gómez JM (2003) Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26:573-584
- Gómez JM, García D, Zamora R (2003) Impact of vertebrate acorn- and seedling-predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *For Ecol Manage* 180:125-134
- Gómez JM, Puerta-Piñero C, Schupp EW (2008) Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia* 155:529-537
- Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gómez JM, Hódar JA, Castro J, Baraza E (2004) Applying plant positive interactions to reforestation in Mediterranean mountains: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecol Appl* 14:1128-1138
- Gómez-Aparicio L, Gómez JM, Zamora R, Boettinger JL (2005) Canopy vs. soil effects of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems. *J Veg Sci* 16:191-198
- Gómez-Aparicio L, Zamora R, Castro J, Hódar JA (2008) Facilitation of tree saplings by nurse plants: Microhabitat amelioration or protection against herbivores? *J Veg Sci* 19:161-172
- González-Alday J, Marrs RH, Martínez-Ruiz C (2009) Soil seed bank formation during early revegetation after hydroseeding in reclaimed coal wastes. *Ecol Eng* 35:1062-1069
- González-Rodríguez V, Navarro-Cerrillo RM, Villar R (2011) Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Ann For Sci* 68:637-646
- Gutiérrez JM, Squeo FA (2004) Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 13:36-45
- Holmgren M, Scheffer M, Huston MA (1997) The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78:1966-1975
- Jordano P, Zamora R, Marañón T, Arroyo J (2002) Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo: aspectos demográficos, ecofisiológicos y genéticos. *Ecosistemas* 11:83-92
- López-Marcos D (2013). Variabilidad edafotopográfica y de estructura de la vegetación de comunidades vegetales asentadas sobre estériles de carbón. Tesina de Licenciatura, Universidad de León
- López-Marcos D., Turrión M.B., Martínez-Ruiz C. 2019. Restauración en laderas mineras: una oportunidad para estudiar la sucesión ecológica en procesos de pendiente. *Cuadernos de la SECF* 45:107-118
- López-Marcos D, Turrión MB, Martínez-Ruiz C (2020) Linking soil variability with plant community composition along a mine-slope topographic gradient: implications for restoration. *Ambio* 49:337-349.
- Maestre FT, Bautista S, Cortina J, Bladé C, Bellot J, Vallejo VR (2003) Bases ecológicas para la restauración de los espartales semiáridos degradados. *Ecosistemas* 1:56-65
- Marañón T, Zamora R, Villar R, Zavala MA, Quero JL, Pérez-Ramos I, Mendoza I, Castro J (2004) Regeneration of tree species and restoration under contrasted Mediterranean habitats: field and glasshouse experiments. *Int J Ecol and Environ Sci* 30: 187-196
- Martínez-Muñoz M, Gómez-Aparicio L, Pérez-Ramos IM (2019) Técnicas para promover la regeneración del arbolado en dehesas mediterráneas. *Ecosistemas* 28:142-149
- Martínez-Ruiz C, Fernández-Santos B, Fernández-Gómez MJ, Putwain PD (2007) Natural and man-induced revegetation on mining wastes: changes in the floristic composition at early succession. *Ecol Eng* 30:286-294.
- Milder AI (2015) Estudio de los mecanismos que favorecen la restauración forestal en zonas degradadas: facilitación, forma del borde y estrategias de propagación. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca
- Milder AI, Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C (2008) Influencia de la forma del borde del bosque en la colonización de leñosas: aplicaciones en restauración de escombreras mineras. *Cuadernos de la SECF* 28:259-264

- Milder AI, Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C (2013) Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forest expansion. *Land Degrad Dev* 24:39-46
- Moro MJ, Pugnaire FI, Haase P, Puigdefábregas J (1997) Effect of the canopy of *Retama sphaerocarpa* on its understorey in a semiarid environment. *Funct Ecol* 11:425-431
- Navarro-Cano JA, Goberna M, Verdú M (2019) La facilitación entre plantas como herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas. *Ecosistemas* 28:20-31
- Oroso K, Celaya R, Martínez A, Zorita E (2000) Pastoreo de las comunidades vegetales de montaña por rumiantes domésticos: producción animal y dinámica vegetal. *Pastos* 30:3-50
- Padilla FM, Pugnaire FI (2006) The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers and Ecology and the Environment* 4:196-202
- Pajunen A, Virtanen R, Roininen H (2012) Browsing-mediated shrub canopy changes drive composition and species richness in forest-tundra ecosystems. *Oikos* 121:1544-1552
- Parsons WT, Cuthbertson EG (1992) Noxious weeds of Australia. Inkata Press, Melbourne
- Perea R, Gil L (2014) Shrubs facilitating seedling performance in ungulate-dominated systems: biotic vs. abiotic mechanisms of plant facilitation. *Eur J For Res* 133:525-534
- Pérez-Ramos IM (2014) The miracle of regenerating in *Quercus* species. How will be oak forests in future? *Ecosistemas* 23:13-17
- Pérez-Ramos IM, Marañón T (2008) Factors affecting post-dispersal seed predation in two coexisting oak species: microhabitat, burial and exclusion of large herbivores. *For Ecol Manage* 255:3506-3514
- Pérez-Ramos IM, Gómez-Aparicio L, Villar R, García LV, Marañón T (2010) Seedling growth and morphology of three oak species along field resource gradients and seed mass variation: a seedling age-dependent response. *J Veg Sci* 21: 419-437
- Pickett STA, Cadenasso M, Bartha S (2001) Implications from the Buell-Small Succession Study for vegetation restoration. *Appl Veg Sci* 4:41-52
- Prach K, Hobbs RJ (2008) Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restor Ecol* 16:363-366
- Prieto I, Padilla FM, Armas C, Pugnaire FI (2011) The role of hydraulic lift on seedling establishment under a nurse plant species in a semi-arid environment. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 13:181-187
- Pugnaire FI (2001) Balance de las interacciones entre plantas en ambientes mediterráneos. In: Zamora R, Pugnaire FI (eds) *Ecosistemas mediterráneos: análisis funcional*. CSIC-AEET, Granada, pp 213-236
- Pugnaire FI, Lázaro R (2000) Seed bank and understorey species competition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall. *Ann Bot* 86:807-813
- Pugnaire FI, Haase P, Puigdefábregas J (1996a) Facilitation between higher plant species in semiarid environment. *Ecology* 77:1420-1426
- Pugnaire F, Haase P, Puigdefábregas J, Cueto M, Clark SC, Incoll LD (1996b). Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain. *Oikos* 76:455-464
- Pugnaire FI, Armas C, Valladares F (2004) Soil a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *J Veg Sci* 15:85-92
- Pulido F, Díaz M (2005) Regeneration of a Mediterranean oak: a whole-cycle approach. *Ecoscience* 12:92-102
- Reque JA (2008) *Selvicultura de Quercus pertaea L. y Quercus robur L.* In: Serrada R, Montero G, Reque JA (eds) *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Madrid, pp 745-771
- Rodríguez-Calcerrada J, Pardos JA, Gil L, Reich PB, Aranda I (2008) Light response in seedlings of a temperate (*Quercus petraea*) and a sub-Mediterranean species (*Quercus pyrenaica*): contrasting ecological strategies as potential keys to regeneration performance in mixed marginal populations. *Plant Ecol* 195:273-285
- Rolo V, Plieninger T, Moreno G (2013) Facilitation of holm oak recruitment through two contrasted shrubs species in Mediterranean grazedwoodlands. *J Veg Sci* 24:344-355

- Ruiz de la Torre J (2006) Flora Mayor. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Dirección General para la Biodiversidad, Madrid
- Schupp EW, Jordano P, Gómez JM (2010) Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytologist* 188:333-353
- Smit C, den Ouden J, Díaz M (2008) Facilitation of *Quercus ilex* recruitment by shrubs in Mediterranean open woodlands. *J Veg Sci* 19:193-200
- Torroba-Balmori P, Zaldívar P, Alday JG, Fernández-Santos B, Martínez-Ruiz C (2015) Recovering *Quercus* species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. *Ecol Eng* 77:146-153
- Villa S, Martínez-Ruiz C, García JA, Fernández-Santos B (2013) Influencia de *Cytisus multiflorus* en la supervivencia de plantas de *Quercus ilex* y *Q. pyrenaica*, durante los dos primeros años. In: Martínez-Ruiz C, Lario FJ, Fernández-Santos B (eds) Avances en la Restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación, AEET-SECF, Madrid. pp 75-80
- Walker LR, Walker J, del Moral R (2007) Forging a new alliance between succession and restoration. In: Walker LR, Walker J, Hobbs RJ (eds) Linking restoration and ecological succession. Springer, New York, pp 1-19
- Walker LR, Hölzel N, Marrs R, del Moral R, Prach K (2014) Optimization of intervention levels in ecological restoration. *Appl Veg Sci* 17:187-192
- Whisenant SG (1995) Landscape Dynamics and Arid Land Restoration. In: Roundy BA, McArthur ED, Haley JS, Mann DK (comps) Proceedings: wildland shrub and arid land restoration symposium. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, pp 26-34
- Zaldívar P (2015) Papel de los matorrales en el establecimiento de quercíneas en antiguas minas de carbón. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid

Caso práctico V

Restauración de dehesas de encina (*Quercus ilex* L. subsp *ballota* Desf. Samp.) en Andalucía

Rafael M^a NAVARRO CERRILLO, Rafael SÁNCHEZ DE LA CUESTA,
Pedro I. DE ROJAS MARTÍNEZ DE VILLARREAL,
Guillermo PALACIOS-RODRIGUEZ

1. Bases teóricas del tipo de restauración

1.1. Contexto general

Los sistemas adehesados son, sin lugar a dudas, uno de los ecosistemas más singulares de la península ibérica, y un ejemplo de equilibrio natural entre la explotación de los recursos naturales del bosque por parte del hombre y su conservación. Los sistemas adehesados constituyen en la península ibérica, el modelo más representativo de explotaciones extensivas en el ámbito mediterráneo. Las dehesas de especies del género *Quercus* son bosques esclerófilos o subsclerófilos característicos de la Iberia seca, de gran amplitud ecológica que, cuando se encuentran bien conservados, constituyen uno de los ecosistemas naturales más complejos y maduros de los paisajes forestales mediterráneos, dando lugar a formaciones bien diferenciadas (biotopos arbolados planoesclerófilos) en cuanto a sus exigencias ecológicas. En general, son formaciones más o menos huecas (densidades que varían entre 30 y 90 árboles ha⁻¹), para favorecer la producción de bellota o de diferentes productos forestales y cultivos con pastoreo intercalado, condiciones en las que son muy importantes los matorrales y los arbustos heliófilos junto a las herbáceas pascícolas (Pulido y Picardo 2010).

Las dehesas de encina (*Quercus ilex*) forman masas puras o en mezcla con alcornocos (*Q. suber*) y con robles mediterráneos (*Q. pyrenaica*, *Q. faginea*), con la presencia potencial de un subtipo de especies arbóreas de talla pequeña como piruétano (*Pyrus bourgaeana*), majuelo (*Crataegus monogyna*) y, con menos frecuencia, arce (*Acer monspessulanum*) o fresno (*Fraxinus angustifolia*), acompañado de un matorral diverso (con *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Phillyrea angustifolia*, *Myrtus communis*, *Rhamnus alaternus*), con presencia de leguminosas arbustivas (*Retama sphaerocarpa*, *Cytisus scoparius*, *Cytisus striatus*, *Genista hirsuta*), jaras (*Cistus salviifolius*, *C. ladanifer*, *C. monspeliensis*) en zonas pobres y arenosas, y abundantes lianas (*Rubia peregrina*, *Lonicera etrusca*, *Vitis*

vinífera var. *sylvestris*). En las áreas más cálidas, estos bosques tienen una mayor presencia de especies más termófilas, apareciendo el acebuche (*Olea europea* var. *sylvestris*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el enebro de la miera (*Juniperus oxycedrus*), la coscoja (*Quercus coccifera*) e incluso el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) y, próxima a los arroyos, la adelfa (*Nerium oleander*). Se trata de un sistema agrosilvopastoral de uso múltiple, si bien domina el uso ganadero extensivo, constituyendo un paisaje heterogéneo donde destaca la existencia de un arbolado disperso, principalmente compuesto por especies del género *Quercus* (Costa *et al.* 2006).

La actuación simultánea de varios factores ambientales (suelo, vegetación, topografía, usos, etc.) hace que dentro de la dehesa exista una gran heterogeneidad de ambientes, formas vegetales y recursos (sistema ladera–vaguada, solana–umbria, estructura de mosaico por profundidad del suelo, tipo de sustrato, etc.). El resultado de esta heterogeneidad ambiental es la existencia de una estructura de ecosistemas complementarios unos con otros y conectados entre sí mediante flujos de materia y energía. Las dehesas representan un ejemplo de explotación racional de los recursos en zonas con limitaciones ambientales por sus características naturales extremas, basado en la diversificación, la complementación y la extensificación en el uso de los recursos naturales (Consejería de Agricultura y Pesca 2008).

La encina se ha empleado en plantaciones forestales en España desde muy antiguo (Columela 2013). Sin embargo, hasta la década de los 80 del siglo pasado las repoblaciones de encina eran prácticamente anecdóticas (Vadell *et al.* 2019). Es a partir de las normas de fomento de forestación de tierras agrarias cuando la encina adquiere un mayor protagonismo en trabajos de repoblación, al ser la especie más utilizada en España dentro de dicho programa. En el marco de estas ayudas se han repoblado en España un total de 732926 ha, de las cuales 59633 ha corresponden a plantaciones de encina en masas monoespecíficas y 56514 ha en masas mixtas, principalmente con *Quercus suber*, *Ceratonia siliqua*, *Olea europea* y *Pinus halepensis* (figura V.1; ver también capítulo 1). El destino final de la mayor parte de estas plantaciones debe ser la restauración de dehesas arboladas con encina, promoviendo lo antes posible su uso silvopastoral mediante el aprovechamiento ordenado de la vegetación herbácea. El abandono, o el inadecuado mantenimiento de los trabajos de forestación, bien por problemas económicos o administrativos, pueden comprometer la viabilidad a largo plazo de muchos de los trabajos realizados.

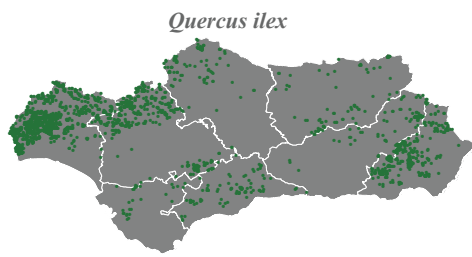
1.2. Problemática específica para la restauración de dehesas

La regeneración de la dehesa se considera uno de los problemas principales para su persistencia a largo plazo, lo que hace urgente integrar en su manejo prácticas que aseguren la renovación de su vuelo como única garantía de su pervivencia. Sin embargo, el elevado costo de las prácticas de regeneración del arbolado bien sea por regeneración natural o establecimiento artificial, implican que la regeneración del arbolado no sea considerada como una prioridad. Esto obliga, al menos en parte, a que las medidas dedicadas a la regeneración del arbolado deban hacerse en el marco de políticas públicas.

Los principales problemas relacionados con el estado selvícola y la restauración de las dehesas han sido ampliamente tratados en la literatura (San Miguel 1994; Consejería

de Agricultura y Pesca 2008; Alejano *et al.* 2011; WWF 2014) y se pueden sintetizar en (ver figura V.1):

- Un envejecimiento generalizado del arbolado, con pies explotados intensivamente durante periodos muy prolongados, que en muchos casos superan los 200 años.
- Una ausencia casi total de regeneración debido al sobrepastoreo o al cultivo agrícola, como consecuencia de la intensificación y tipo de manejo del ganado, lo que imposibilita el establecimiento y la supervivencia de brinzales y chirpiales.
- Árboles con daños parciales o heridas producto de malas prácticas culturales, como podas excesivas, daños mecánicos al arbolado, pudriciones parciales, etc.
- Acumulación de biomasa por falta de cuidados culturales o por abandono total o parcial del aprovechamiento.
- Escasa diversificación específica y estructural de las dehesas por el manejo selectivo de las especies y los desbroces, que se han venido practicando de forma tradicional con un objetivo silvopastoral o selvícola.



Distribución de los expedientes de forestación con encina como especie principal o secundaria en Andalucía.



Responsables del programa de forestación de tierras agrarias en una forestación mixta de encina y alcornoque en Puebla de Guzmán (Huelva).



Vista general de la forestación de encina y alcornoque en la finca Campo Baldío (Puebla de Guzmán, Huelva).

Figura V.1. Localización y ejemplos de forestación en tierras agrarias en Andalucía con encina como especie principal (fotos: RM^a Navarro Cerrillo).

- La influencia del origen de la masa en el adecuado estado vegetativo, en la regeneración y en las condiciones sanitarias del arbolado.
- La inadecuada gestión de los pastos y cultivos, así como el aprovechamiento ganadero desordenado de las dehesas, que compromete la vitalidad del arbolado y su regeneración.
- Un incremento de la incidencia de plagas y enfermedades, con un claro abandono de una política adecuada de sanidad vegetal para la dehesa.
- Pérdida adicional de individuos por procesos de mortalidad antrópica o asociados a especies patógenas invasoras, por lo que cualquier circunstancia desfavorable –como la incidencia de sequías severas– puede llevar al colapso total o parcial del arbolado.
- Abandono casi total de las prácticas tradicionales de regeneración de las dehesas basadas en la selección de brinzales y renuevos de encinas, y su protección frente al diente del ganado o acotando determinadas áreas al pasto.
- Excesiva presión sobre el estrato de matorral, que imposibilita o dificulta la regeneración natural de la dehesa, y favorece la extensión de los matorrales heliófilos, menos eficaces como protectores del regenerado y que favorecen la incidencia y severidad de los incendios.
- Falta de transferencia de las nuevas prácticas de restauración del arbolado y alto costo de las labores de la regeneración, dada la necesidad de acotamientos parciales o el uso de protecciones individuales para evitar la acción del ganado durante los primeros años sobre las plántulas.

El resultado final es que las dehesas suelen presentar problemas graves de regeneración natural, puesto que se han modificado las condiciones microclimáticas del bosque original donde se establecía el regenerado, y porque las prácticas ganaderas y/o agrícolas que en ellas se desarrollan son en gran medida incompatibles con el establecimiento de brinzales y chirpiales (Pulido y Díaz 2003). Diversos estudios han abordado la regeneración en estos montes claros mediterráneos, algunos de ellos muy centrados en la encina y el alcornoque (Montero y Cañellas 1999; Moreno y Pulido 2009), coincidiendo todos ellos en la dificultad que supone actualmente su regeneración, principalmente por el laboreo del suelo, el pastoreo, el exceso de insolación y la sequía estival, o por los problemas asociados con la dispersión y el envejecimiento de los árboles semilleros. Es por ello por lo que en este capítulo se presentarán dos casos de regeneración de dehesas de encina.

1.3. Elección del modelo restaurador

Las zonas de establecimiento potencial de la encina se han descrito a través de la autoecología paramétrica (Sánchez-Palomares *et al.* 2012). Dada la gran amplitud ecológica de la especie, y su distribución por prácticamente todas las provincias de la España peninsular y Baleares, se acepta que su establecimiento es posible en amplias zonas de la península ibérica (Ruiz de la Torre 2006).

La elección del modelo restaurador (regeneración natural o repoblación) a seguir en cada caso particular dependerá de los factores del medio físico (climáticos, edáficos, estados erosivos, etc.), selvícolas (edad, densidad, distribución, forma fundamental y principal

de la dehesa, etc.) y del uso de la finca (estado fitosanitario y de vigor de la masa, cargas ganaderas, cultivos, etc.). Por ello, antes de abordar un proyecto de restauración de una dehesa conviene hacer previamente un diagnóstico de las causas principales que limitan su regeneración y su repoblación, con el fin de buscar soluciones restauradoras compatibles con la complejidad ecológica y socioeconómica de este sistema productivo. En general, en los sistemas adherados se opta por usar la especie principal que ya está presente en el área de restauración (restablecimiento o densificación). Sin embargo, puede resultar recomendable la repoblación con varias especies (enriquecimiento o diversificación), aprovechando variaciones microambientales o diseños en pequeños bosquetes o rodales (ver capítulo 10). Por ejemplo, en dehesas de encina y alcornoque, se pueden introducir otras especies como quejigos en lugares más umbrosos y húmedos, acebuche en suelos pesados y zonas cálidas, algarrobo y pino piñonero en suelos más someros y pobres o pequeños golpes de arbustos (madroño, piruétano, etc.).

En un modelo simplificado del proceso restaurador (tabla V.1), las alternativas posibles se pueden reducir a tres (figura V.2):

- **Regeneración natural.** La regeneración natural ha sido un aspecto muy estudiado en sistemas adherados. En muchos casos, la regeneración está encaminada a la conservación y al mantenimiento de las masas, y forma parte de las actividades previstas en la silvicultura de la especie o en las ordenaciones (Serrada y San Miguel 2008). En otros muchos casos, la regeneración natural se produce de forma no planificada bajo otro tipo de masas, principalmente pinares (*Pinus pinaster*, *P. pinea*, *P. halepensis*) de repoblación, o en formaciones de matorral o terrenos descubiertos (Pulido y Díaz 2003).

En áreas de dehesa, si hay suficiente número de pies adultos, y estos están uniformemente distribuidos (figura V.2), se podrá optar por la regeneración natural, tanto en monte alto (semillas) como en monte bajo (rebrotos de cepa o renuevos de raíz). En el caso de optar por la regeneración a partir de semillas será necesario, además, que los árboles fructifiquen abundantemente y las semillas no sean consumidas. Mientras que en el caso de la regeneración asexual los árboles deben conservar la capacidad de producir retoños o renuevos. En dehesas ganaderas se han propuesto periodos de regeneración de 20 años, aunque con unas buenas prácticas de gestión, a los 5-6 años podría abrirse el acotado al cerdo y a la oveja, ésta última en las épocas de hierba abundante; y a los 15-20 años a la cabra, vaca y caza mayor. Asimismo, Fernández Rebollo *et al.* (2008), estudiando dehesas cordobesas, indican que con una carga ganadera por debajo de 0,3 UGM ha⁻¹, y siguiendo unos criterios básicos de manejo, el regenerado suele prosperar favorablemente. Estas propuestas podrían resultar válidas tanto para la regeneración natural como para la densificación (o enriquecimiento). Transcurrido el período de regeneración se puede abrir al pastoreo libre e ir eliminando los árboles más viejos. En los últimos años la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía está promoviendo el uso de acotados estrictos en montes públicos para favorecer los procesos de regeneración en montes de encina y, preferentemente, de alcornoque (Rodríguez-Sánchez *et al.* 2017).

- **Densificación (enriquecimiento).** Si la falta de regeneración viene motivada por el laboreo del suelo, el pastoreo excesivo o las rozas de matorral (figuras V.2 y

V.3), y se quieren mantener las actividades productivas en la dehesa, se podrá optar por la densificación (o enriquecimiento), tanto a partir de la regeneración natural como artificial. En estos casos se procede a incrementar el número de individuos mediante la protección del regenerado, bien de plantas individuales o mediante la creación de acotados parciales, o bien mediante la introducción artificial de un número relativamente bajo de individuos por ha (hasta un máximo de 50 brinzales), incluyendo en ambos casos una adecuación de la ordenación del pastoreo siguiendo criterios análogos a los usados en la regeneración natural.

- **Repoblación.** Cuando la regeneración natural no fuese viable, normalmente por falta de árboles productores de semillas, o por el excesivo envejecimiento o debilitamiento de éstos, o bien, si se desea cambiar de especie principal o introducir nuevas especies, se procederá a la regeneración artificial mediante repoblación (figura V.3). Esta repoblación se podrá llevar a cabo por siembra o plantación, por lo que se necesitará conseguir los propágulos (material forestal de reproducción) necesarios para cada caso, por medio de recolección propia o por compra a viveristas o empresas comercializadoras.



Dehesa con presencia de matorral y abundante regenerado natural (Hornachuelos, Córdoba).



Dehesa de espesura adecuada sin regeneración (Pozoblanco, Córdoba).



Dehesa hueca con presencia de individuos envejecidos y apoyo a la regeneración (Pozoblanco, Córdoba).



Oquedal degradado (Andévalo, Huelva).

Figura V.2. Diferentes estados de conservación de dehesas de encina en Andalucía (fotos: RM^a Navarro Cerrillo).

En cualquiera de los modelos elegidos habrá que llevar a cabo, asimismo, las actuaciones necesarias para favorecer la implantación y el establecimiento del regenerado: labores sobre la vegetación preexistente y el suelo que faciliten el arraigo, la disponibilidad hídrica (en especial durante el período de sequía estival) y reduzcan la competencia vegetal a la vez que proporcionen cierta protección contra la insolación directa. Para ello, salvo algunos comentarios específicos que citaremos más adelante, remitimos a los capítulos correspondientes de este manual.



Regeneración natural (Palma del Río, Córdoba).



Densificación (Cazalla de la Sierra, Sevilla).



Forestación de encina y alcornoque en un antiguo terreno agrícola (Villanueva de los Castillejos, Huelva).

Figura V.3. Diferentes actuaciones restauradoras en dehesas de encina (fotos: RM^a Navarro Cerrillo).

1.4. Recomendaciones para la regeneración natural

Se resumen, a continuación, algunas recomendaciones para favorecer la regeneración natural (Serrada y San Miguel 2008; WWF 2014):

- La regeneración natural (brotes de cepa y de raíz, brinzales, regeneración a la espera, regeneración natural asistida) es una alternativa eficaz para regenerar las dehesas siempre que exista un número mínimo de individuos adultos y la presencia de agentes de dispersión, y preferiblemente cuando ya existe la presencia de brinzales, chirpiales o matas.

- La regeneración natural sólo se utilizará como procedimiento de restauración o mejora de las dehesas cuando el modelo de gestión (tipo de ganado, cargas ganaderas bajas –ovino con menos de 0,3 UGM ha⁻¹–, ordenación pastoral, gestión del arbolado-matorral-pasto), y la viabilidad económica de la finca lo permitan, y exista un claro compromiso de la propiedad.
- En caso de que se den las circunstancias anteriores, se debe establecer un programa de regeneración del arbolado a nivel de finca y a escala de unidad de pastoreo, que defina la densidad objetivo, y la programación espacial y temporal de las rotaciones (acotamientos totales o parciales) a lo largo del ciclo productivo. Numerosos trabajos han demostrado que la regeneración natural permite la restauración de la dehesa en periodos de acotamiento entre 10 y 20 años (establecimiento de brinzales, la aparición de renuevos con una distribución de edades equilibrada –regeneración a la espera).
- Establecer densidades objetivo de 100-120 árboles por hectárea, una vez se haya finalizado el periodo de establecimiento del regenerado, con el fin de seleccionar y favorecer un patrón irregular, pero uniforme a lo largo de los rodales de regeneración.
- Realizar labores selvícolas como rozas entre dos tierras (primavera) o laboreo ligeros (otoño) para favorecer la aparición de renuevos y/o brinzales en aquellas dehesas en las que existe una densidad mínima de arbolado.
- Con el fin de evitar acotamientos prolongados, se pueden utilizar protectores individuales, preferiblemente protectores metálicos de tipo ganadero (ver capítulo 17), que eviten los daños directos de la fauna doméstica y cinegética. Los protectores deben tener una altura de 1,5 a 2,0 m, adecuada al tipo de ganado y a su estancia en los diferentes rodales de restauración.
- Realizar podas de formación al regenerado desde edades muy tempranas (a partir del quinto año), con el fin de ir formando al árbol y evitar malas conformaciones iniciales.

1.5. Recomendaciones para la regeneración artificial

Se resumen a continuación algunas recomendaciones para favorecer la regeneración artificial (Serrada y San Miguel 2008; WWF 2014):

- En casos de inviabilidad de la regeneración natural, o bien de incompatibilidad con el modelo de uso ganadero de la finca (superficie, ordenación pastoral, rentabilidad, estado del arbolado, etc.), se puede recurrir al establecimiento artificial mediante labores de densificación y/o enriquecimiento, lo que permitiría aportar irregularidad de clases de edad a la dehesa.
- La restauración mediante establecimiento artificial de las dehesas debe responder a una programación meditada que identifique las zonas con mayor potencial restaurador (exposición, pendiente, calidad y profundidad del suelo, etc.), el método de repoblación (siembra o plantación), la elección de la especie (densificación o enriquecimiento), la densidad y distribución de los plantones (irregular, por bosquetes, etc.), las técnicas de implantación y los cuidados culturales, para garantizar una supervivencia y un crecimiento adecuados de las plantas introducidas.

Tabla V.1. Actuaciones recomendadas para la regeneración de dehesas arboladas de encina (adaptado de Borrero 2007; Navarro-Cerrillo *et al.* 2013).

Situación inicial	Regeneración	Actuaciones recomendadas
Dehesa en buen estado, y con una densidad aceptable	Regeneración natural con o sin densificación (enriquecimiento)	Acotamiento al ganado con malla cinégetica
	Existe regeneración	5 primeros años acotado a todos los casos 5–15 años, admite ovejas y porcino ibérico en montanera 15–20 años entrada de cabras A partir de 20 años: todo tipo de ganado, incluso vacuno Desbroces parciales y selectivos
Dehesas en regresión, pero con abundancia de matas de la(s) especie(s) principal(es) achaparradas	No existe regeneración	Podas de rejuvenecimiento o fructificación (opcional) Acotamiento al ganado similar al anterior Desbroce a hecho aunque selectivo, pudiéndose acompañar de laboreo. Roza entre dos tierras y posterior selección de brotes Acotamiento al ganado mediante cercado o con protectores individuales Desbroce selectivo con especial atención a la conservación de los suelos Corta de los pies y posterior selección de brotes (poco recomendado) Acotamiento o regulación del pastoreo Desbroces selectivos
	Dehesas productivas con espesura adecuada pero envejecidas	Desbroce de conversión: aclareo de la masa respetando los pies con mejores características (más adecuado si las condiciones de la masa lo permiten) Puesta en luz de los pies de encina, aclarando o eliminando totalmente a las especies arbóreas/arbusivas competidoras
Dehesa regenerada con presencia abundante de brinzales y/o chirpiales		Replacación
Rasos. Dehesas huecas. Incompatibilidad con otros usos Estación no adecuada por causas bióticas o abióticas		Replacación artificial Replacación artificial, contemplar el cambio provisional o definitivo de la especie principal

- Seleccionar adecuadamente el material forestal de reproducción. Si se recurre a la siembra, elegir bellotas de origen local, seleccionadas de varios progenitores con un buen estado vegetativo, producción adecuada (en cantidad y calidad), y libres de plagas y enfermedades. Las siembras estarán restringidas a situaciones muy favorables (baja o nula predación, suelos de buena calidad, protección, etc.), y se harán preferentemente por golpes, dada la clara adaptación de la especie a este método de repoblación.
- Si se va a utilizar planta de vivero, adecuar la calidad al tipo de plantación, pudiéndose usar plantones de una savia, cuando se usen densidades elevadas (forestaciones genéricas), o bien plantones de 2-3 savias, en labores de densificación o enriquecimiento a baja densidad, y estén asegurados los cuidados culturales.
- Adecuar el procedimiento de preparación del suelo al método de repoblación, siendo recomendable las casillas u hoyos en el caso de siembras, y procedimientos mecanizados en el caso de las plantaciones. Cuando se use planta de gran tamaño (altura mayor de 2 m y envases de más de 2 litros), se procederá a realizar hoyos de mayor profundidad (60 cm) y en zonas desarboladas u oquedales se puede proceder a preparaciones mecanizadas de mayor intensidad como subsolados (forestación de tierras agrarias). La época de siembra y plantación siempre será en otoño o invierno, con suelo en tempero.
- Una vez garantizada la supervivencia de la planta o la germinación de la bellota, se les debe dar los cuidados culturales adecuados, principalmente protección, eliminación de la competencia herbácea y riegos, cuando estos sean necesarios. Se realizarán escardas en primavera, o bien se usarán *mulch* orgánicos o de plástico si la competencia herbácea es muy elevada, aprovechando para preparar un alcorque que facilite los riegos estivales (recomendables entre 1-5 durante los primeros 5 años).
- Planificar el régimen de pastoreo, adecuando el tipo de ganado, estancia y pastoreo, como complemento para el mantenimiento de las restauraciones de encina.
- No establecer plantas de *Quercus* cuando la zona tenga un diagnóstico positivo de podredumbre radical, considerando el uso de otras especies como algarrobo, acebuche o especies arbustivas de interés silvopastoral.

1.6. Planificación de la restauración

En la tabla V.2 se resumen las principales actuaciones para el establecimiento y manejo de repoblaciones con encina (adaptado de Villar-Salvador *et al.* 2013 y de Navarro-Cerrillo *et al.* 2013).

2. Parcela experimental de restauración de una dehesa en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (IFAPA, Hinojosa del Duque, Córdoba).

2.1. Caracterización ambiental de la zona de restauración

La zona de restauración se encuentra en una parcela experimental situada en el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (IFAPA)

de Hinojosa del Duque (Córdoba, coordenadas 38° 29' 46" N, 5° 6' 55" O). El área plantada (16 ha) presenta una topografía plana, con pendientes inferiores al 3%, por lo que no existen problemas de erosión ni escorrentía en la zona. El clima es típicamente mediterráneo (tabla V.3). El suelo de toda la zona se ha generado sobre sustratos ácidos, dando lugar a suelos fértiles (xerochrept), que se han cultivado a lo largo de la historia.

Tabla V.2. Resumen de actuaciones para el establecimiento y manejo de plantaciones de encina (*Quercus ilex*).

Características y actuaciones	
Estación	Estaciones sin sequía estival marcada con una precipitación anual superior a 600 mm, una temperatura media anual entre 14 y 16 °C y una temperatura media del mes más frío entre 6 y 8 °C
Objetivos	Restauración ecológica
Materiales forestales de reproducción	
Procedencia	En España se han identificado nueve regiones de procedencia y 17 procedencias de área restringida (BOE N° 224, de 16 de septiembre de 2009)
Planta tipo	1 savia en envases forestales (300-400 cm ³) (20-35 cm de altura) o 2-3 savias en envase de gran volumen (más de 1000 cm ³) (60-100 cm de altura)
Preparación del suelo y plantación	
Fecha de plantación	Noviembre-marzo
Tratamiento previo de la vegetación	Motodesbrozadora o desbrozadoras (restauración) Grado o laboreo (producción)
Preparación del suelo	Ahoyado con retroexcavadora (ahoyado manual) (restauración) Subsolado (sencillo o doble) (producción) Acaballonado con desfonde o laboreo profundo (producción)
Diseño de la plantación	Enriquecimiento o densificación (menos de 300 plantas ha ⁻¹) Plantaciones regulares (producción) (200-300 plantas ha ⁻¹)
Cuidados culturales tras la plantación	
Tubos	Tubos invernaderos perforados. Mallas de sombra
Riegos	Establecimiento y durante el primer verano (recomendables)
Reposición de marras	Primer año
Escaradas y binas	Laboreo (producción) o escaradas manuales (restauración)
Gestión de la plantación	
Control de la competencia herbácea	Laboreo (producción) Pastoreo ligero con ganado ovino
Podas	Formación a partir del quinto año
Fertilización	Recomendable (producción)

Desde el punto de vista geobotánico, la zona se encuentra en el área de distribución de los encinares lusoextremeños de la parte occidental de Andalucía. En condiciones adecuadas la encina aparece en bosques de densidad variable, frescos y húmedos, bajo los que se desarrolla un arbustado diverso (*Arbutus unedo*, *Quercus coccifera*, *Pistacia terebinthus*, *Phillyrea latifolia*, *Rhamnus alaternus*). En la actualidad el paisaje está dominado por encinares huecos con presencia de cultivos agrícolas o de dehesas ganaderas de muy baja densidad con presencia residual de piruétano (*Pyrus bourgaeana*), quejigo (*Quercus faginea* subsp. *broteroi*) o majuelo (*Crataegus monogyna* subsp. *brevispina*).

Tabla V.3. Condiciones climáticas medias en Hinojosa del Duque (estación meteorológica del IFAPA situada a 543 m s. n. m.; período 2007-2010).

Parámetro bioclimático	Valor medio
Precipitación media anual (mm)	500
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	3
Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	34
Temperatura media anual (°C)	16
Evapotranspiración anual (°C)	1200

2.2 Actuaciones de restauración

2.2.1 Planificación

La zona objeto de la restauración carecía de cualquier tipo de cubierta arbórea, ya que se había dedicado al cultivo agrícola de forma regular, por lo que el modelo de restauración seleccionado fue la plantación y/o siembra. La forestación en Hinojosa del Duque es una plantación pura de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), por ser la especie adecuada desde el punto de vista biogeográfico y edafoclimático. No se optó por la mezcla de otras especies, como el alcornoque (presente en zonas limítrofes) al elegirse un modelo de dehesa monoespecífica, similar a las dehesas próximas.

El objetivo de la actuación fue establecer un ejemplo de restauración de las dehesas para la Comarca de los Pedroches y de amplias zonas de dehesas de Andalucía que se caracterizan por presentar un arbolado envejecido, muy debilitado, de muy baja o nula densidad y para los cuales hay que optar por regeneración artificial (siembra o plantación) (figura V.4).

2.2.2 Ejecución

Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

La preparación del suelo se realizó mediante un subsolador agrícola hasta una profundidad de 60 cm, seguido del pase de una grada. El desbroce de la vegetación herbácea se realizó de forma simultánea a la preparación del suelo. En el momento del establecimiento, se dio una preparación adicional del punto de plantación mediante un ahoyado manual sobre el terreno preparado (30 × 30 × 30 cm), ocasionalmente se usó una barrena helicoidal.

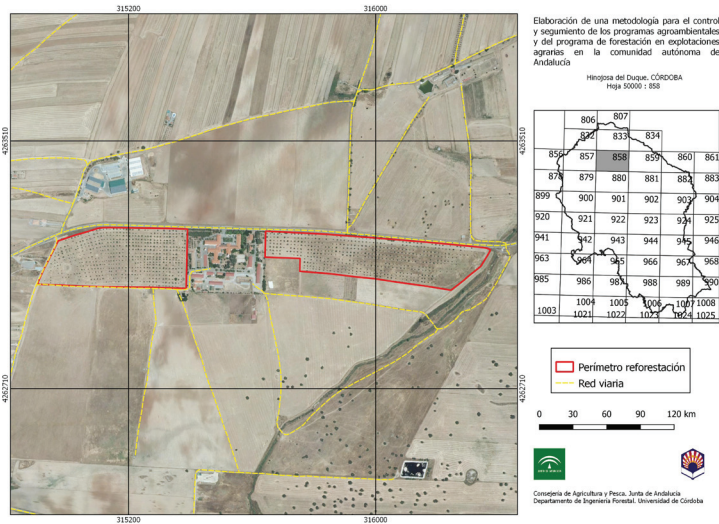


Figura V.4. Mapa de localización del IFAPA respecto de Hinojosa del Duque con detalle de la parcela de restauración de dehesas del IFAPA.

Plantación

La plantación se hizo principalmente en otoño de 1993, a un marco regular de 11×11 m con planta de vivero. Las semillas se colectaron de árboles próximos a la plantación, y la planta se cultivó en el mismo centro, en alveolo forestal (300 cm^3 , en turba-perlita [3:1 v:v]; altura $14,66 \pm 0,81$ cm y diámetro $3,45 \pm 0,31$ mm, media \pm error estándar, $N=50$) con buenas características funcionales. La plantación se realizó de forma manual sobre el hoyo de plantación, a unos 20 cm de profundidad efectiva. La fecha de plantación fue el otoño, con el suelo en tempero.

Cuidados culturales

Debido a las condiciones de establecimiento (insolación, sequía estival, etc.) y al temperamento de la encina (especie de media luz en sus estadios iniciales), se optó por realizar una serie de cuidados culturales para garantizar el arraigo de las plantas, y un crecimiento razonable a los objetivos de la restauración:

- Tubos. Con el fin de facilitar el establecimiento de los brinzales se procedió a colocar tubos invernadero (Tubex)
- Riegos. La plantación recibió riegos de establecimiento en verano durante los 4 primeros años.
- Laboreos. Periódicamente se realizó un gradeo para eliminar la vegetación adventicia (2 veces al año, a comienzo de la primavera y del otoño). En diferentes momentos se realizó una escarda individual y el aporcado de los individuos.
- Podas de formación. A medida que los árboles iban alcanzando la talla adecuada se realizaban podas de formación de los pies.

No se utilizó en ningún caso ni hidrogeles ni acolchados (*mulch*), así como tampoco enmiendas o fertilizaciones.

2.3. Mantenimiento

El mantenimiento de las repoblaciones en terrenos de dehesa exigen de un conjunto de cuidados culturales para optimizar el crecimiento de la planta, una vez ésta ha superado el estrés de plantación, y se ha asegurado el arraigo definitivo de la planta (pasados 3-5 años). El objetivo principal de los cuidados culturales en la dehesa está orientado a un adecuado crecimiento de los árboles y la estructura del árbol (figura V.5).

- Mejora de pastos. Una vez se ha logrado el control de la competencia producida por la vegetación adventicia durante los años posteriores a la plantación, y normalmente mediante el uso de medios mecánicos, es necesario proceder a la mejora del estrato herbáceo. El objetivo de la mejora de pastos es orientar el uso silvopastoral de la plantación, y mejorar la sostenibilidad económico-ambiental en las explotaciones ganaderas extensivas (Blázquez-Carrasco y Fernández-Rebollo 2008; Carbonero y Fernández 2008). En el caso de la plantación objeto de estudio se ha utilizado una combinación del manejo racional del ganado, adecuando las cargas ganaderas en momentos puntuales, y fertilizaciones de fósforo y nitrógeno para favorecer la presencia de leguminosas.



Vista general de la plantación con el responsable de la forestación Reyes Alonso Martín Coleto.



Mantenimiento y mejora del estrato herbáceo mediante pastoreo programado.



Árbol podado.

Figura V.5. Restauración de una dehesa en IFAPA de Hinojosa del Duque (Córdoba)
(Fotos: RM^a Navarro-Cerrillo).

- Podas. Se han realizado podas de formacón a partir de que el árbol tena talla suficiente con el fin de asegurar un porte adecuado de los árboles. Las labores se hacan siguiendo los criterios establecidos por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenacón del Territorio (Decreto 8/1986 de 23 de enero), con una periodicidad menor de 5 años y asegurando en todos los casos la buena cicatrizacón de las heridas de la poda anterior. Se han eliminado preferentemente ramas muertas, enfermas o dañadas, para asegurar el correcto porte del árbol. Se ha buscado un porte propio de la produccón de bellotas, dejando un fuste largo (al menos 1,8 metros) y tres ramas principales, cuando esto ha sido compatible con el crecimiento del arbolado.

2.4. Estado final de la restauracón y datos de seguimiento de la replacación

2.4.1. Características de la masa creada

La plantacón en su estado actual está formada por individuos de encina de 25 años de edad, que forman una dehesa de densidad óptima y con árboles de talla media de 2,6 m de altura y 9,5 cm de diámetro (tabla V.4).

Tabla V.4. Características dasométricas de una plantacón de encina de 26 años (1994-2020) en el IFAPA de Hinojosa del Duque (Córdoba) (media ± error estándar).

Edad	Densidad (pies ha ⁻¹)	Altura (m)	Diámetro normal (cm)	Diámetro de copa (m)	Área basimétrica (m ² ha ⁻¹)
26 (año 2020)	80 ± 2,00	2,63 ± 0,17	9,50 ± 0,32	2,93 ± 0,07	0,62 ± 2,00

2.4.2. Mejora de la calidad del pasto y aprovechamiento silvopastoral

La composicón del pasto, debido a los tratamientos anteriores de laboreo en la parcela, está formado principalmente por crucíferas, con *Lolium rigidum* de forma esporádica. Por otro lado, la presencia del arbolado procedente de la plantacón, ha contribuido a mejorar la calidad del pasto, como elemento diversificador y factor ecológico, al modificar las características del pastizal.

2.4.3. Efecto de la replacación sobre el suelo y la fijación de CO₂

En la plantacón se han realizado estudios para modelizar los flujos netos de CO₂ en forestaciones de encina (Morales 2011) a partir de las medidas ecofisiológicas realizadas en esta plantacón y de variables procedentes de estudios previos sobre la especie. El intercambio neto de la plantacón fue negativo durante los primeros 8 años de la simulación, debido a que la productividad primaria neta no superó la respiración del suelo (figura V.6). Bajo las condiciones climáticas actuales, el intercambio neto de CO₂ aumentó con la edad alcanzando un máximo de 4,08 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ al final de la simulación. Bajo condiciones de cambio climático, se considera que puede alcanzar un máximo de 1.58 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ a los 21 años, para reducirse posteriormente. La integracón del intercambio neto de CO₂ a lo largo de la simulación permite evaluar el secuestro de carbono del sistema. En las simulaciones con datos climáticos actuales y bajo escenario de cambio climático se estimó un secuestro de 43,74 Mg CO₂ ha⁻¹ y 11,04 Mg CO₂ ha⁻¹, respectivamente. El contenido total

de carbono en el suelo (generado a final de cada año de simulación), se redujo en 30 años de simulación de un valor inicial común de $80,00 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a $39,00$ y $46,83 \text{ Mg C ha}^{-1}$ bajo condiciones presentes y de cambio climático (figura V.6).

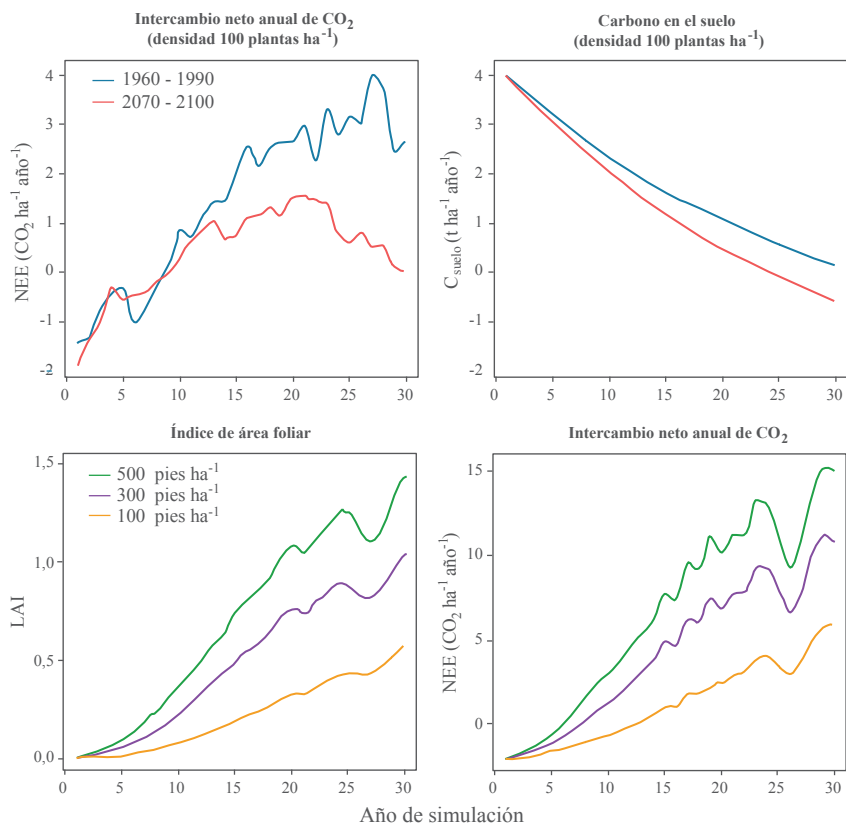


Figura V.6. Estimación de diferentes parámetros relacionados con la fijación de carbono para una forestación con encinas en Hinojosa del Duque (Córdoba): simulación bajo condiciones meteorológicas presentes (período 1960-1990) y bajo cambio climático (período 2070-2100, modelo regional HadRM3) para plantación con una densidad de 100 pies ha⁻¹ y simulación con tres densidades de plantación bajo condiciones meteorológicas presentes (período 1970-2000) (fuente: Morales Sierra *et al.* 2021).

El índice de área foliar resultó siempre superior para las plantaciones con mayores densidades (figura V.6). Los valores máximos alcanzados al final de cada simulación fueron $1,44$, $1,04$ y $0,58 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para 500, 300 y 100 pies ha⁻¹. Las dimensiones de los árboles a los 30 años de simulación fueron 1,81, 1,98 y 2,49 m de radio horizontal de copa y 28,8, 34,6 y 58,0 m² de área foliar para 500, 300 y 100 pies ha⁻¹. El intercambio neto de CO₂ siguió una evolución similar a la del índice de área foliar (figura V.6). Durante los primeros años de simulación, la emisión de CO₂ por descomposición de la materia

orgánica del suelo superó a la productividad primaria neta, por lo que el ecosistema actuó como fuente de CO₂ hacia la atmósfera. Para las densidades de plantación de 500, 300 y 100 pies ha⁻¹ el secuestro de carbono obtenido por integración temporal del intercambio neto ascendió a 199,45, 129,11 y 36,91 Mg CO₂ ha⁻¹ mientras que el secuestro de carbono marginal (i.e. incremento del secuestro de carbono por cada pie añadido a la plantación) fue 0,39, 0,43 y 0,39 Mg CO₂ pie⁻¹.

La pérdida de carbono en la simulación bajo condiciones de cambio climático fue superior, debido a la mayor temperatura y a la menor producción de desfronde dadas las condiciones de mayor aridez. Por otro lado, dichas condiciones aumentarían el tiempo durante el cual el suelo permanece seco y, por lo tanto, con bajas tasas de descomposición, pero las simulaciones indican que este efecto es menor. El secuestro de carbono total a 30 años bajo condiciones de cambio climático fue menor, fruto del menor crecimiento de la masa forestal y las mayores pérdidas de carbono en suelo, aunque el intercambio neto anual de CO₂ fue similar durante los primeros años de simulación. En ambas simulaciones, durante los ocho primeros años de simulación, las forestaciones se comportaron como fuentes de CO₂ debido a la baja productividad primaria neta y las elevadas pérdidas del carbono en el suelo. La densidad de plantación tuvo un efecto reducido en las pérdidas de carbono del suelo y sin embargo fueron suficientes para explicar los valores de secuestro de carbono marginales.

Una selvicultura multifuncional que tenga en cuenta otros objetivos ambientales y económicos, además del secuestro de carbono y el incremento de la densidad de plantación, implica un aumento de costes en la forestación y mantenimiento posterior de la misma (por ejemplo, número de plantones, reposición de marras, riegos de apoyo, podas, etc.). Es por ello por lo que, en función del coste por planta en la forestación la densidad de plantación óptima será distinta y, en el caso de que la densidad elegida difiera de la óptima, por influencia de los otros objetivos de la plantación, las simulaciones con el modelo permitirá evaluar las pérdidas de secuestro de carbono con respecto al valor máximo.

2.4.4. Otras funciones y servicios

El IFAPA, en colaboración con los organismos competentes (IFAPA, IES, Ayuntamientos, Mancomunidades, Universidades, COVAP, etc.) ha sido un actor fundamental para la formación de los ganaderos y propietarios de dehesas en trabajos de restauración. El IFAPA utiliza la parcela de dehesa restaurada para la formación en el sector de la dehesa como un elemento clave para su futuro y el de las fincas de dehesa que suponen su base productiva, como agente coordinador de la formación en dehesas en Andalucía, a través de los programas formativos institucionales, potenciando la realización de cursos específicos y obligatorios para los ganaderos. El IFAPA integra en la Plataforma de Asesoramiento y Transferencia del Conocimiento Agrario y Pesquero de Andalucía (SERVIFAPA) toda la información y conocimiento existente y generado por el complejo I+D+F+i andaluz, en el ámbito temático de dehesa. También se han desarrollado actividades formativas para los Ciclos Formativos de Grado Medio en Trabajos Forestales y de Conservación del Medio Natural, de Explotaciones Agrarias Extensivas y de Explotaciones Ganaderas, y los de Grado Superior en Gestión y Organización de Empresas Agropecuarias y Gestión y Organización de los Recursos Naturales y Paisajísticos.

3. Acciones de restauración de una dehesa en la finca Los Lagares, dentro del proyecto de Medidas Ambientales Compensatorias de la Presa de la Breña II (Término Municipal de Almodóvar del Río, Córdoba).

3.1. Caracterización ambiental de la zona de restauración

La zona de restauración se encuentra localizada en la finca Los Lagares situada en Almodóvar del Río y dentro del Parque Natural Sierra de Hornachuelos (Córdoba, coordenadas 37° 55' 20" N, 5° 4' 12" O) (figura V.7), y que forma parte de la red de parcelas del área de medidas compensatorias de la presa Breña II. El proyecto de compensación de terrenos afectados por la construcción de la presa de la Breña II fue impulsado por la dirección de la Sociedad Estatal Aguas de las Cuencas de España (ACUAES) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y ha sido ejecutado por la empresa Ingeniería y Gestión del Sur, como responsable del seguimiento, mantenimiento y conservación de las medidas contempladas en el proyecto de compensación de terrenos afectados por la construcción de la presa. Las actuaciones comprenden una superficie total de 2134 hectáreas divididas en 27 parcelas, y tenían por objetivo compensar territorialmente las posibles afecciones causadas por la construcción del embalse y contemplaba una serie de actuaciones para la recuperación de la flora y fauna de la zona.

En concreto, se han ejecutado las siguientes medidas:

- Actuaciones sobre la vegetación: creación de estructuras vegetales con distintas tipologías estructurales, revegetación de charcas y creación de áreas cortafuegos.
- Actuaciones sobre la fauna: construcción de cercados para la cría permanente de conejos y áreas extensivas de cría. Instalación de bebederos y comederos para conejos, colocación de cajas-nido para quirópteros, instalación de niales para rapaces y para aves insectívoras, señalización de alambradas para rapaces, creación y mejora de charcas para anfibios, construcción de palomares de sierra e instalación de pasos para anfibios.
- Infraestructuras y otras actividades: cerramiento de caminos, pasos canadienses, construcción de badenes, casetas de vigilancia, limpieza de manaderos y cerramientos.

El área del presente estudio (Los Lagares), de 112 hectáreas, presenta una topografía ondulada, con una altitud media de 395 m, con pendientes que van desde llanas hasta el 69%, por lo que, puntualmente, se pueden presentar algunos problemas de erosión en la zona. El clima es típicamente mediterráneo (tabla V.5). El suelo de toda la zona se ha generado sobre sustratos ácidos, dando lugar a suelos fértiles (xerochrept), que se han manejado principalmente como dehesas, con la presencia de cultivos herbáceos. Desde el punto de vista geobotánico, la zona se encuentra en el área de distribución de los encinares lusoextremeños de la parte occidental de Andalucía. En condiciones adecuadas la encina aparece en bosques de densidad variable, frescos y húmedos, bajo los que se desarrolla un arbustedo diverso (con *Arbutus unedo*, *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Myrtus communis*, *Pistacia terebinthus*), con presencia de especies arbóreas de talla pequeña como piruétano (*Pyrus bourgaeana*) y majuelo (*Crataegus monogyna*), leguminosas arbustivas (*Retama sphaerocarpa*), y

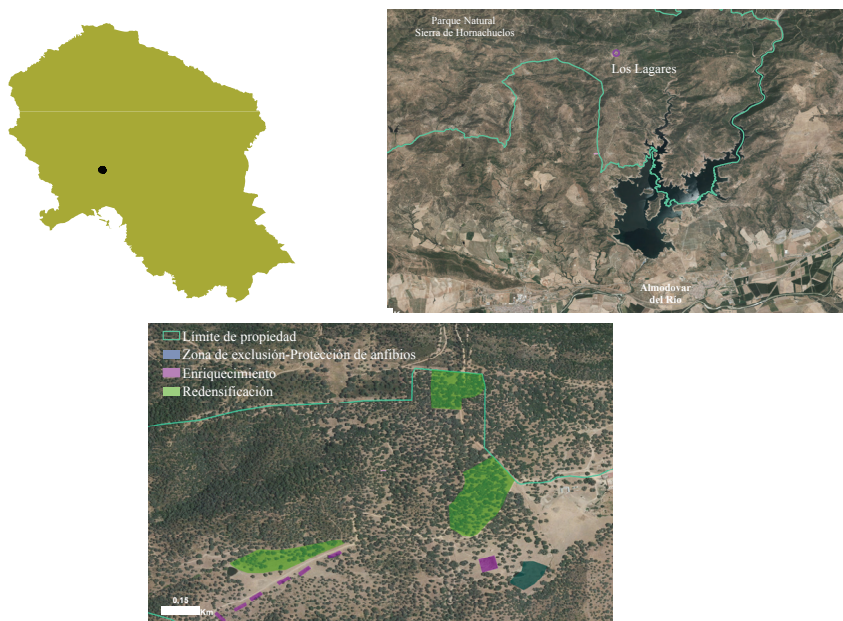


Figura V.7. Localización la Parcela de Compensación 14 “Los Lagares” en la provincia de Córdoba y de algunas acciones restauradoras (Ortoimagen PNOA 2017, IGN).

Tabla V.5. Condiciones climáticas medias en Hornachuelos (estación agroclimática de la Junta de Andalucía, situada a 130 m s. n. m.; período 2000-2018).

Parámetro bioclimático	Valor medio
Precipitación media anual (mm)	562,34
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	3,43
Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	34,47
Temperatura media anual (°C)	17,92
Evapotranspiración anual (°C)	953,8

jaras (*Cistus salviifolius*, *C. ladanifer*, *C. monspeliensis*). En la actualidad el paisaje está dominado por encinares densos de encina y alcornoque, con presencia de usos ganaderos y cinegéticos.

La restauración de la dehesa de Los Lagares comprende un conjunto de medidas de restauración que integran tanto la regeneración natural como las plantaciones. Las actividades de restauración comenzaron en el año 2008, y se han prolongado hasta la actualidad, mediante el mantenimiento y seguimiento de los resultados alcanzado.

3.2. Actuaciones de restauración

3.2.1 Planificación

El objetivo general de la restauración fue disponer de un conjunto de actuaciones piloto para la restauración de las dehesas de encina y alcornoque en Sierra Morena, como posibles alternativas restauradoras para amplias zonas de dehesas de Andalucía que se caracterizan por presentar un arbolado envejecido, de baja densidad, y con un subpiso muy empobrecido en especies por el continuo aprovechamiento ganadero y cinegético. Las actuaciones de restauración se planificaron, por tanto, para alcanzar diferentes objetivos, en particular, la diversificación y mejora del estrato arbóreo de encina y alcornoque, así como la creación de áreas de mayor diversidad a través de la creación de pequeñas áreas de matorral. Por tanto, el modelo de restauración incluía varias especies (tabla V.6), diseños y métodos de repoblación. Las especies elegidas se adecuaron desde el punto de vista biogeográfico y edafoclimático, y en algunos casos se optó por la mezcla de especies arbóreas con varias especies de matorral en las unidades de diversificación.

Las principales actuaciones restauradoras fueron (figuras V.7 y V.8):

- **Apoyo a la regeneración natural.** En las áreas donde la presión ganadera-cinegética era menor se procedió a favorecer la regeneración natural mediante técnicas pasivas (e.g. favoreciendo la dispersión y el establecimiento de bellotas), como activas (e.g. protección individual de chirpiales, rozas selectivas del matorral). Las cargas ganaderas en esas áreas se han mantenido por debajo de $0,5 \text{ UGM ha}^{-1}$, siguiendo unos criterios básicos de manejo, lo que he permitido que el regenerado pueda prosperar favorablemente.
- **Densificación (enriquecimiento).** En las áreas con arbolado defectivo, lo que dificultaba la regeneración natural, pero que mantienen cargas ganaderas moderadas ($0,5\text{-}1,0 \text{ UGM ha}^{-1}$), se realizaron actuaciones de densificación (o enriquecimiento) mediante plantación (principalmente), y protección de los escasos chirpiales presentes en estas áreas. Se utilizaron protectores metálicos individuales o acotados parciales. La densidad de individuos regenerados fue relativamente baja ($30\text{-}40 \text{ plantas ha}^{-1}$), manteniendo una adecuación de la ordenación del pastoreo siguiendo criterios análogos a los usados en la regeneración natural.
- **Plantación.** En sectores de oquedal o áreas descubiertas de arbolado, se ha recurrido a la regeneración artificial mediante repoblación. La repoblación se realizó mediante plantación en la mayor parte de los casos, y, ocasionalmente, mediante siembra. En ambos casos se han realizado las actuaciones necesarias para favorecer la implantación y el establecimiento del regenerado (ver cuidados culturales).
- **Rodales de diversificación de la vegetación.** En determinadas localizaciones, y con el fin de diversificar espacialmente y en composición las dehesas restauradas, se establecieron rodales pequeños de enriquecimiento con árboles y arbustos. Se han realizado actuaciones mediante plantación (principalmente) y siembra, y protección con cerramientos perimetrales frente a grandes herbívoros como

el ganado y ungulados silvestres. A través de dichas actuaciones se pretende el incremento de la diversidad vegetal de las parcelas, tanto por medio del aumento del número de especies y su distribución, como mediante el incremento de la diversidad estructural de las formaciones vegetales, restaurando setos y riberas principalmente. No se han contemplado plantaciones forestales de gran extensión o repoblaciones tradicionales, sino la creación de estructuras vegetales concretas como: “bosques isla”, setos lineales y sotos.

Tabla V.6. Listado y densidad (pies ha⁻¹) de especies utilizadas en el establecimiento de los “bosques isla”.

Especie	Modelo regular	Modelo tresbolillo	Modelo lineal
Acebuche (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)	420	560	420
Encina (<i>Quercus ilex</i>)	420	560	
Alcornoque (<i>Quercus suber</i>)	420		
Quejigo (<i>Quercus faginea</i>)	420		100
Almez (<i>Celtis australis</i>)			420
Higuera (<i>Ficus carica</i>)			310
Espino albar (<i>Crataegus monogyna</i>)			430
Peral (<i>Pyrus bourgeana</i>)		560	310
Madroño (<i>Arbustus unedo</i>)	930	1040	430
Lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>)	930	1040	430
Coscoja (<i>Quercus coccifera</i>)		1040	
Mirto (<i>Myrtus communis</i>)			430
Zarza (<i>Rubus ulmifolius</i>)	930		430
Retama (<i>Cytisus scoparius</i>)	930	1040	
Genista (<i>Genista cinerea</i>)	920	1040	
Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	920	1040	
Labiérnago (<i>Phillyrea angustifolia</i>)	920	1040	
Durillo (<i>Viburnum tinus</i>)	920		
Espino negro (<i>Rhamnus lycioides</i>)		1040	
Agracejo (<i>Phillyrea latifolia</i>)			430
Aladierno (<i>Rhamnus alaternus</i>)	920		
Adelfa (<i>Nerium oleander</i>)			430
Zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>)			430
Densidad final (pies ha⁻¹)	10000	10000	5000



Apoyo a la regeneración natural.



Densificación-enriquecimiento.



Enriquecimiento y diversificación del estrato de matorral.

Figura V.8. Restauración de una dehesa en la Parcela de Compensación de Los Lagares (Almodóvar del Río, Córdoba) (fotos: RM^a Navarro-Cerrillo).

Bosques isla

El objetivo de este tipo de actuaciones fue crear islas de vegetación arbórea y arbustiva en zonas de dehesa o matorral dominado por *Cistus* sp. que sirvan de refugio para la fauna. Estas islas de vegetación redundan en una mayor complejidad estructural y funcional del ecosistema, y tienen un efecto muy positivo sobre la biodiversidad (ver caso práctico XVI). De forma general, cada “bosque isla” (en función de la topografía del terreno) cuenta con una superficie aproximada de 170 m². La plantación se realizó de acuerdo

con tres diseños, “islas simples”, o agrupadas de diferentes formas: agrupadas triangular simple (conformada por tres “islas” en los vértices de un triángulo), agrupadas triangular múltiple (conformada por varias “islas” ocupando el triángulo) y agrupadas geométrica (varios formatos de geometría y número de “islas” variable) (figura V.9).

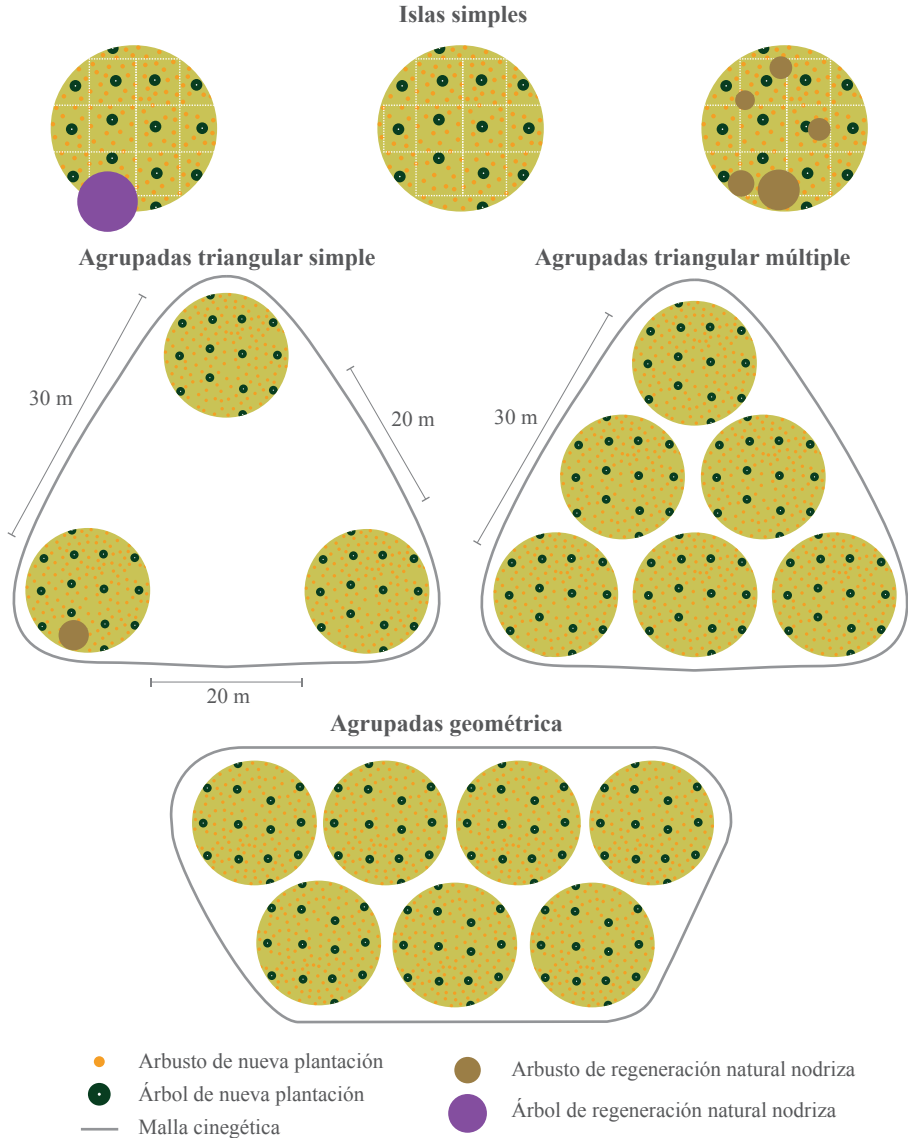


Figura V.9. Esquemas de plantación en “bosque isla”: simples, agrupadas triangular simple, agrupadas triangular múltiple y agrupadas geométrica.

La densidad de plantación es de una planta por metro cuadrado. La preparación previa del terreno se realizó mediante subsolado a una profundidad mínima de 60 cm o ahoyado manual o mecanizado de $30 \times 30 \times 50$ cm de dimensiones mínimas, y la plantación se hizo al tresbolillo con un marco de plantación aproximado de $1,15 \times 1$ m, cubriendo toda la superficie de una isla, o sea unos 170 m^2 , o bien la superficie resultante de la agrupación de varias islas. En todo caso, se intentó que siempre que fuera posible, la isla se agrupara alrededor de un pie arbóreo de encina, alcornoque, quejigo o acebuche existente sobre el terreno, de tal forma que la superficie de plantación se situara inmediatamente en la posición norte de este pie arbóreo nodriza, bajo cubierta, para así reducir al mínimo la insolación de las plántulas durante la época estival y proporcionarle un microclima más favorable para su desarrollo. La distribución de las plantas se llevó a cabo respetando uniformemente la relación 1/5 de árbol/arbustos, o sea, dentro de una misma línea de plantación por cada individuo de una especie arbórea se incluyeron 5 individuos de especies arbustivas, que, como máximo, eran de dos especies distintas (figuras V.9 y V.10; tabla V.6).

La plantación quedó protegida de los daños de grandes herbívoros o ungulados mediante un cerramiento de malla cinéctica de 2 m de altura instalada mediante postes de madera tratada.

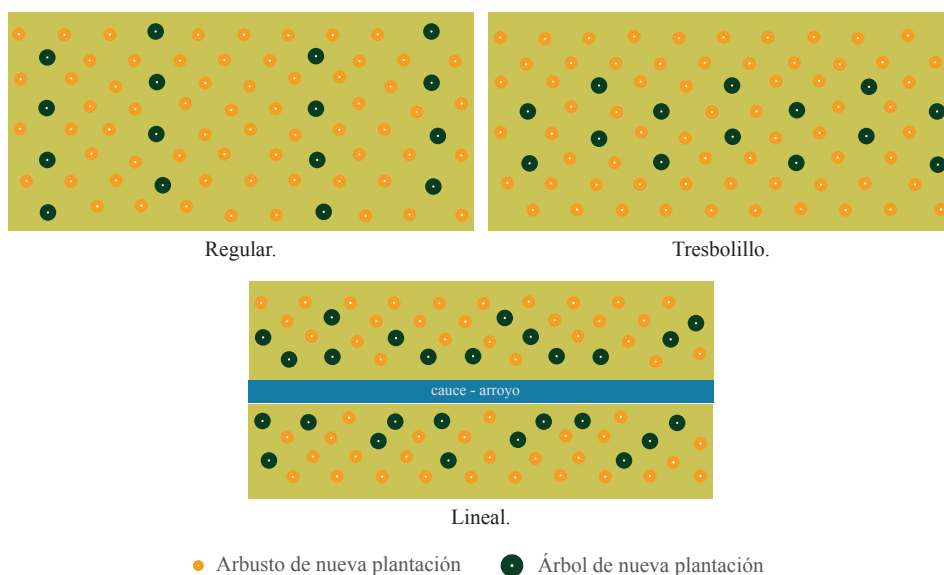


Figura V.10. Modelos de distribución de plantas en “bosque isla”.

Setos

La creación de setos contribuye a incrementar la biodiversidad y la productividad, e introduce una mayor heterogeneidad en el paisaje. En este proyecto, los setos tenían como objetivo ofrecer lugares de refugio y reproducción para los conejos, así como a otras especies de fauna silvestre, que pueden de esta forma explotar mejor los recursos

de las zonas próximas. Por tanto, la restauración de setos permite a los conejos maximizar las posibilidades de uso de toda la matriz espacial disponible, ya que les sirven como corredores para desplazarse a otras zonas, favoreciendo su expansión. Los setos consisten en plantaciones lineales de unos 8-9 m de anchura, definidos por la malla del cerramiento de protección, establecidas a lo largo de caminos, límites de cultivos o cualquier otro tipo de infraestructura lineal como muros de piedra, en tramos de longitud variable entre 45 y 120 m en función de las características del terreno. La plantación está protegida de herbívoros mediante un cerramiento de malla cinética de 2 m de altura con postes de madera tratada. La densidad de plantación fue de una planta por metro cuadrado, con una preparación previa del terreno mediante subsolado a una profundidad mínima de 50 cm donde sea posible o ahoyado mecanizado de 30 × 30 × 50 cm de dimensiones mínimas. La proporción de árboles y arbustos fue similar a los bosques isla, de aproximadamente 1/5 (tabla V.6).

Sotos

El objetivo de la restauración de sotos fue revegetar sectores de arroyos en zonas adhesionadas. Con ello se persigue incrementar la biodiversidad, y la diversidad estructural y de recursos tróficos del ecosistema. También se pretende la creación de corredores verdes que ofrezcan a la fauna protección y lugares de cría, y que faciliten sus movimientos de dispersión. Asimismo, se crean micrositos para potenciar los procesos de regeneración natural de este tipo de ecosistemas. El diseño de plantación consistió en dos bandas de plantación, una en cada margen del arroyo o cauce de actuación, y que consistieron en cuatro líneas de plantación paralelas al eje del cauce.

La densidad de plantación fue de 0,5 plantas m², y la relación árboles/arbustos fue de 2/5, es decir, se plantaron 5 individuos de especies arbustivas por cada dos ejemplares de especies arbóreas. El marco de plantación fue de 2,30 × 1 m, al tresbolillo, iniciando la plantación inmediatamente junto al cauce, respetando en todo momento la vegetación existente. La preparación del terreno se llevó a cabo mediante ahoyado mecanizado siempre que fue posible, en caso contrario se recurrió al ahoyado manual. En ambos casos, las dimensiones mínimas del hoyo de plantación fueron de 30 × 30 × 50 cm. En la línea de plantación más cercana al cauce se establecían dos individuos arbóreos de la misma especie (aquellas más exigentes en cuanto a aporte hídrico) por cada planta arbustiva. En la siguiente línea de plantación se plantó un individuo arbóreo por cada dos arbustos de la misma especie. En la tercera línea, más alejada del cauce, se plantó un espécimen arbóreo por cada tres arbustos de la misma especie; y, finalmente, en la última línea de plantación se plantaron exclusivamente arbustos, que fueron distribuidos en grupos de tres individuos de la misma especie.

La plantación se ejecutó de forma manual con ayuda de azadas, y con el fin de proteger la plantación se colocó un tubo invernadero perforado de 60 cm de altura, y anclado al suelo al menos 25 cm mediante una estaquilla de madera. Una vez colocados los tubos invernadero, se aporcaron hasta una altura de 15 cm para mejorar la sujeción, además de un efecto regulador de la temperatura muy favorable para la supervivencia de la planta. La plantación, en su conjunto, quedó protegida por un cerramiento de malla, siempre de forma paralela al cauce y a una distancia suficiente para respetar la servidumbre y no obstruir los posibles arrastres y escorrentías.

3.2.2. Ejecución

Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

En el caso de la Parcela de estudio, Los Lagares, la preparación previa consistió en un desbroce mecanizado del matorral serial (principalmente *Cistus* sp, y *Genista* sp), remoción del terreno mediante pase de grada y posterior ahoyado mecanizado (pequeña retroexcavadora o tractor con ahoyador tipo barrena helicoidal). Se respetó en todo momento los pies arbóreos y matorral noble existente para cada actuación. Los hoyos para la plantación tenían unas dimensiones de 30 × 30 × 50 cm.

Plantación

La plantación se hizo en otoño de 2008, con planta de vivero, según el marco, distribución y densidades anteriormente descritas para cada tipo de actuación (“bosque isla”, setos y sotos). La planta provenía de viveros forestales certificados, localizados en la comunidad autónoma de Andalucía, aunque no se dispone de información sobre el origen de la semilla, y la calidad funcional de la planta. La plantación se realizó de forma manual sobre el hoyo de plantación, a unos 20 cm de profundidad efectiva. La fecha de plantación fue el otoño, con el suelo en tempero.

3.2.3. Cuidados culturales

Debido a las condiciones de establecimiento (insolación, sequía estival, etc.) y al temperamento de las especies escogidas para el diseño de la plantación, se optó por realizar una serie de cuidados culturales para garantizar el arraigo de las plantas, y un crecimiento razonable a los objetivos de la restauración (figura V.8):

- Tubos. Con el fin de facilitar el establecimiento de los brinzales se procedió a colocar protectores metálicos (mallas cinegéticas), conjuntamente con tubos invernadero, en las actuaciones de densificación. Para las plantaciones de enriquecimiento (“bosque isla”, setos y sotos), se protegieron mediante un cerramiento perimetral de 2 metros de altura, con malla cinegética para evitar el acceso de grandes herbívoros (ganado y especies cinegéticas), además de proteger cada planta con un tubo invernadero de doble capa, microperforado, de 50 cm de altura y tutor de bambú de 75 cm.
- Riegos. La plantación recibió riegos de establecimiento, durante el verano de 2009.
- Escardas. Periódicamente se realizó una escarda de las plantas para eliminar la vegetación adventicia (una vez al año, a comienzo de la primavera), y repasar el estado de los tubos.
- Reposición de marras. Al año de la plantación, y tras realizar un conteo de marras, se procedió a realizar una reposición de marras de hasta un 20% de los individuos muertos, manteniendo la especie, la densidad, etc.

No se utilizó en ningún caso ni hidrogeles ni acolchados (*mulch*), así como tampoco enmiendas o fertilizaciones.

3.2.3. Mantenimiento

El mantenimiento de las actuaciones se realizó de forma periódica, mediante los cuidados culturales básicos para optimizar el crecimiento de la planta, iniciándose inmediatamente después de realizar la plantación. Desde 2008 hasta la fecha actual (2019) se siguen realizando labores de seguimiento y mantenimiento.

- Mantenimiento general de los cerramientos y tubos protectores. Con el fin de evitar los daños por herbivoría se realiza un mantenimiento general de las vallas perimetrales (arreglos puntuales o reposición parcial o total), así como de los tubos protectores. En algunos casos, cuando la planta ya ha alcanzado un tamaño adecuado, se ha procedido a retirar los tubos invernadero.
- Binas y Escardas. Se realizan de forma rutinaria cada año durante la primavera.
- Podas. Se han realizado podas de formación en algunos pies que han alcanzado suficiente talla, aunque esto sólo ha ocurrido en un número limitado de individuos.
- Abonados y fertilizaciones. Se ha realizado una campaña de abonado (año 2016) con superfosfato de cal simple (18%) en todas las superficies restauradas a una dosis de 400 kg ha⁻¹.

En la figura V.11 se puede apreciar la distribución de las principales actuaciones de restauración de los sistemas de dehesa en una de las parcelas de actuación del proyecto de medidas compensatorias del embalse de la Breña II (Córdoba).

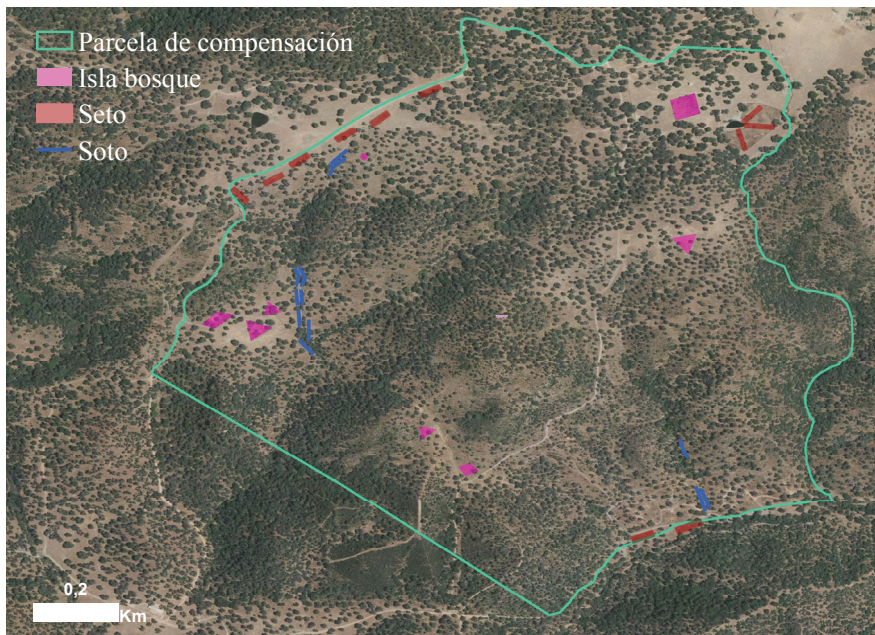


Figura V.11. Localización de los “bosque isla”, setos y sotos en la Parcela de Compensación 14 “Los Lagares” (Ortoimagen PNOA 2017, IGN)..

3.3. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

3.3.1. Características de la masa creada

En el caso de la plantación, y tras efectuar al primer año una reposición de marras, su estado actual se caracteriza por la presencia de individuos de encina y alcornoque de 10 años de edad, con una talla media de 1,5 m de altura y 2,5 cm de diámetro en la base. Hay que destacar que, tras 10 años, el porcentaje de marras es relativamente bajo (30%), siendo un 10% por causas indeterminadas, y un 20 % por destrozos ocasionados por el ganado, que, aunque los individuos se encuentran protegidos, no ha impedido completamente su acceso a las zonas plantadas. Los daños por herbivoría (principalmente bovino) se han localizado en zonas de mayor concentración de animales, en las zonas próximas a comederos o de aporte de alimento y junto a puntos de agua. No obstante, en el resto de las zonas donde se ha realizado la restauración, los individuos se encuentran sanos y vigorosos, y el acotado se encuentra en buenas condiciones.

Igualmente, en los rodales de diversificación de la vegetación (“bosque isla”, setos y sotobosques), a los 10 años desde su ejecución, en la última evaluación realizada (primavera 2019), en conjunto, se observa un alto grado de cobertura (>75%) en todas las actuaciones. Se mantiene la presencia de la mayor parte de las especies que se instalaron durante las plantaciones (3-6 especies), aunque no ha sido posible medir el tamaño de las plantas dado la alta densidad de la vegetación, que imposibilita el tránsito por las zonas de actuación.

3.3.2. Control de focos de podredumbre radical

En el año 2014, dentro de las labores de vigilancia, control y mantenimiento que realiza la asistencia técnica para la dirección de las medidas compensatorias de la Breña II, se localizaron, en algunas parcelas de compensación, varios focos con un apreciable decaimiento del arbolado, afectando a encinas y alcornoques. Se trataba de focos pequeños, con signos de defoliación, pérdida de vigor y presencia de pies muertos. Se realizó un diagnóstico para confirmar la presencia de podredumbre radical, lo que confirmó, mediante el análisis de suelo y raíces de pies sintomáticos dentro de la zona afectada, la presencia de *Phytophthora cinnamomi*. En el marco de las acciones de conservación y restauración se ha puesto en marcha un conjunto de actuaciones:

- Caracterización del foco, delimitando y cartografiando el perímetro de la zona afectada, incluyendo una zona de seguridad.
- Censo de todos los pies existentes dentro del foco, toma de coordenadas GPS de cada pie, marcaje y codificación, anotación de daños y grado de defoliación.
- Diseño de un plan de tratamientos y actuaciones para evitar la propagación.
- Realización de endoterapia y enmiendas calizas.
- Entrega a la propiedad de protocolo de actuación con medidas preventivas.
- Seguimiento anual del estado del foco, propuesta de mejoras.

3.3.3. Otras funciones y servicios

El programa de medidas correctoras de la construcción de la presa La Breña II, ha sido desarrollado por la empresa Ingeniería y Gestión del Sur S.L. (IG), como responsable del

seguimiento, mantenimiento y conservación de las medidas contempladas en el proyecto de compensación de terrenos afectados por la construcción de la presa, y bajo la dirección de la sociedad estatal Aguas de las Cuencas de España (ACUAES) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. IG, en colaboración con los organismos competentes (Ayuntamientos, Mancomunidades, Universidades, etc.) y los propietarios de las fincas ha sido un actor fundamental para la formación de los propietarios de dehesas en trabajos de restauración. IG ha utilizado las parcelas piloto de restauración de dehesa para la formación en el sector de la dehesa como un elemento clave para su futuro y el de las fincas de dehesa que suponen su base productiva, como agente coordinador de la formación en dehesas en Andalucía, a través de los programas formativos institucionales, potenciando la realización de cursos específicos para los ganaderos.

Agradecimientos

En primer lugar es necesario agradecer a Víctor Ortiz, primer y verdadero impulsor de los trabajos de plantación en el Centro IFAPA de Hinojosa del Duque, que han tenido continuidad y un cuidado esmerado bajo la dirección de Reyes Alonso Martín Coletto, así como de todo el personal técnico de la Finca Experimental a lo largo de los 25 años que ya tiene la plantación. En particular las labores de mantenimiento, conservación, y gestión de la plantación han sido ejemplares. También agradecer a todos los estudiantes de la ETSIAM-Universidad de Córdoba que han trabajado de forma directa o indirecta en esta plantación, a veces a través de sus Trabajos Profesionales Fin de Carrera, y otras veces como colaboradores en trabajos de investigación o formación. Por otro lado, agradecer a la empresa Ingeniería y Gestión del Sur por el apoyo brindado para la visita y evaluación de los trabajos de restauración ejecutados como parte de las medidas contempladas en el proyecto de compensación de terrenos afectados por la construcción de la presa Breña II.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejano R, Domingo JM, Fernández M (2011) Manual para la gestión sostenible de las dehesas andaluzas. Foro para la Defensa y Conservación de la Dehesa" Encinal" y Universidad de Huelva, Huelva
- Blázquez A, Fernández P (2008) Comportamiento del ganado ovino en la dehesa. Una estrategia de mantenimiento de las repoblaciones de la dehesa. En Fernández, P., Carbonero, M.A., Blázquez, A.. La dehesa en el norte de Córdoba. Perspectivas futuras para su conservación. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, pp, 65-93
- Borrero G (Ed) (2007) El Alcornoque y el Corcho en Andalucía. Sevilla. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla
- Carbonero M, Fernández P (2008) El pastoreo y la regeneración del arbolado: una interpretación a partir de observaciones de campo. En Fernández, P., Carbonero, M.A., Blázquez, A.. La dehesa en el norte de Córdoba. Perspectivas futuras para su conservación. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, pp, 95-114
- Columela L J M (2013) Los doce libros de agricultura que escribió en latín Junio Moderato Columela. Editorial MAXTOR
- Consejería de Agricultura y Pesca (2008) Caracterización socioeconómica de la dehesa de Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla
- Costa Pérez JC, Martín Vicente A, Fernández Alés R, Estirado Oliet M (2006) Dehesas de Andalucía: caracterización ambiental. Junta de Andalucía, Consejería de medio Ambiente, Sevilla

- Fernández Rebollo P, Carbonero Muñoz MD, Blázquez Carrasco A (coords.) (2008) La dehesa en el norte de Córdoba. Perspectivas futuras para su conservación. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba. 464 p.
- Montero G, Cañellas I (1999) El alcornoque (*Quercus suber* L.). Manual de reforestación y cultivo. Mundi-Prensa, Madrid
- Morales Sierra A, López-Bernal A, Testi L, Villalobos FJ (2021) Transpiration and photosynthesis of holm oak trees in southern Spain. *Trees, Forests People*, 100115
- Moreno G, Pulido FJ (2009) The functioning, management and persistence of dehesas. In *Agroforestry in Europe*. Springer, Dordrecht, pp. 127-160
- Navarro-Cerrillo RM, Pemán J, del Campo AD, Moreno J, Lara MA, Díaz JL, Piñón FM (2009) Manual de especies para la forestación de tierras agrarias en Andalucía. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla
- Navarro-Cerrillo RM, Sánchez-Lancha A, Arroyo Saucedo M, Plaza Arregui L, Mallofret E, Lara M (2013) *Quercus suber* L. En Pemán J, Navarro-Cerrillo RM, Nicolás JL, Prada M, Serrada-Hierro R (eds). Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo II Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, pp 305-341
- Pulido F, Díaz M (2003) Dinámica de la regeneración natural del arbolado de encina y alcornoque. En: Pulido F, Campos P, Montero G (eds) *La gestión forestal de las dehesas*. Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón, Junta de Extremadura, Mérida. pp 39-62
- Pulido F, Picardo A (2010) Libro Verde de la Dehesa. Documento para el debate hacia una Estrategia Ibérica de gestión. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León, Valladolid
- Rodríguez-Sánchez F, Luque-Oliva V, Doña VJ (2017) Impactos de la herbivoría por ungulados en las comunidades de plantas leñosas del Parque Natural de los Alcornocales. *Almoraima* 49:251-263
- Ruiz de la Torre J (2006) *Flora mayor*. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid
- San Miguel A (1994) *La Dehesa Española*. Origen, Tipología, Características y Gestión. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSI Montes, Madrid
- Sánchez-Palomares O, López-Senespleda E, Roig S, Vázquez A, Gandullo JM (2012) Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los encinares españoles. *Monografías INIA: Serie Forestal*, 23. Madrid
- Serrada R, San Miguel A (2008) Selvicultura en dehesas. P. 861-876 in *Compendio de selvicultura aplicada en España*. En Serrada R, Montero G, Reque JA (eds.). Ministerio de Educación y Ciencia, INIA, Madrid
- Vadell Guiral E, Magaña M, Pemán García J (2019). La repoblación forestal en España: las especies utilizadas desde 1877 a partir de las cartografías forestales. *Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural* 77:107-136.
- Villar-Salvador P, Nicolás JL, Heredia N, Uscola M (2013) *Quercus ilex* L. En Pemán J, Navarro-Cerrillo RM, Nicolás JL, Prada M, Serrada-Hierro R (eds). Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo II Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, pp. 226-250
- WWF-Adena (2014) *Dehesas para el futuro*. Recomendaciones de WWF para una gestión integral. WWF-Adena, Madrid

Caso práctico VI

Plantaciones de aliso (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn) en antiguas zonas agrícolas en el monte de la Parroquia rural de Barcia y Leiján (Valdés, Asturias)

María MENÉNDEZ MIGUÉLEZ, Juan GARROTE HAIGERMOSER,
José Valentín ROCES DÍAZ, Marcos BARRIO ANTA,
Pedro ÁLVAREZ ÁLVAREZ

1. Bases teóricas del tipo de restauración

El Plan Forestal de Asturias, aprobado por Consejo de Gobierno el 20 de septiembre de 2001 (Gobierno del Principado de Asturias 2001), establece dos programas relacionados con la restauración de la cubierta forestal arbolada. El Programa 1 orientado a la restauración hidrológico forestal y conservación de hábitats y el Programa 2 orientado al fomento de la producción forestal. Dentro de este último, se contemplan las repoblaciones con especies introducidas (subprograma 2.A) y las repoblaciones con especies productoras naturales propias de las series de vegetación del Principado, incluyendo al castaño como especie naturalizada (subprograma 2.B)

Frente a las repoblaciones con coníferas y eucalipto, las repoblaciones con frondosas autóctonas, como por ejemplo: el abedul (*Betula celtiberica*), el haya (*Fagus sylvatica*), el roble común (*Quercus robur*) y el roble albar (*Q. petraea*), o naturalizada como el castaño (*Castanea sativa*), tienen notables condicionantes. Como consecuencia de ello, son poco interesantes para el propietario particular y poco utilizadas por la Administración forestal. Algunos de los condicionantes que más limitan el uso en repoblaciones de frondosas autóctonas son los siguientes:

- Mayores costes de repoblación y de mantenimiento, debido a la necesidad de optar por sistemas de protección frente a herbívoros silvestres (protector individual o cierre cinegético).
- Mala adaptación a estaciones forestales desfavorables (suelos pobres, de fuertes pendientes y con baja disponibilidad hídrica), con unos índices de marras muy superiores al de las repoblaciones con coníferas, lo que implica unos periodos de mantenimiento muy largos.

- Periodos de producción superiores al de las especies de crecimiento rápido (pinos y eucaliptos), lo que aumenta el grado de incertidumbre en la gestión.
- Mercados de la madera menos desarrollados, por tener menores volúmenes de corta en el territorio asturiano.

Todos estos aspectos hacen que la repoblación con frondosas autóctonas o naturalizadas ocupe un segundo plano en la actividad repobladora de la región. A pesar de ello, la Administración Forestal Regional, tiene entre sus políticas forestales la aplicación del principio de multifuncionalidad en sus montes, que de alguna manera incluye la diversificación de la producción forestal y la búsqueda de nuevas alternativas de desarrollo forestal, considerando también la vegetación forestal autóctona. Un ejemplo de este hecho lo encontramos en la gestión forestal del monte de Barcia-Leiján en Valdés, donde se ha demostrado que un buen estudio previo de la zona y una buena elección de la especie, permite el establecimiento de una frondosa autóctona como especie principal en la repoblación.

Por otro lado, en Asturias, el abandono de la actividad agraria en los últimos veinte años aumentó el interés de la propiedad para transformar dichos terrenos en terreno forestal arbolado, el cual fue asumido por la Administración Forestal en 2009. Debe tenerse en cuenta que este tipo de terrenos procedentes de la agricultura pueden contener contaminantes ya que es frecuente en muchas zonas agrícolas del norte de España la aplicación indiscriminada de purines como fertilizantes y el uso generalizado de productos fitosanitarios. Para evitar la degradación del suelo como consecuencia de la contaminación ligada a las prácticas agrícolas, es necesario conocer el papel que desempeña el suelo como sistema depurador (Porta *et al.* 1999) y los posibles contaminantes que se pueden aportar según el material incorporado al suelo (tabla VI.1).

Tabla VI.1. Elementos contaminantes en función de las materias incorporadas al suelo (Bourrelier y Berthelin 1998).

Materias incorporadas al suelo	Contaminantes potenciales del suelo
Enmiendas calizas y carbonatos	Sr, Ba, Mn, F, Zn (cantidades significativas) Pb, Cu, As, Cd (cantidades bajas)
Escorias de desfosforilación	Ni, Cr, Va
Fosfo-yeso	Cd, U
Abonos fosfatados	Cd
Estiércoles	Zn, Cu
Purín de cerdo	Cu, Zn, Mn
Lodos residuales urbanos	Cd, Pb, Zn, Cu
Compost de basuras urbanas	Cd, Pb, Zn, Cu
Restos de poda de árboles de vías urbanas	Pb (procedente de carburantes)
Productos fibrosanitarios	
Caldo bordelés en viñedo	Cu
Mercuriales y arsenicales	Hg, As
Aguas depuradas	Na ⁺

La FAO (1998) afirma que bajo un uso normal, los fitosanitarios entrañan muy poco riesgo como forma de degradación del medio ambiente. Pese a ello, se ha detectado su presencia incluso lejos de su ámbito de aplicación, tanto en cursos de agua, como aguas freáticas y sedimentos. La mayor parte de los fitosanitarios una vez aplicados sufren un proceso de degradación que derivan en la formación de nuevos productos, que en ocasiones son más móviles, persistentes y peligrosos que los compuestos de partida (Porta *et al.* 1999). En este contexto, la recuperación de suelos, entendida como el proceso mediante el cual los terrenos abandonados y/o degradados vuelven a ponerse en producción (Sheoran *et al.* 2010), es una alternativa para restauración ecológica de estos terrenos.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

El monte objeto de la restauración se encuentra en la vertiente sur de la Sierra de Mouros, que constituye la parte final de la rama de Rañadoiro o asturleonese de la Cordillera Cantábrica, que se bifurca en la parte final en dos sierras en dirección norte-sur, la de Estoupo al oeste y la de los Mouros al este. El monte denominado "Pedredos, Lagos, Mullidos y Tresvalles" es un monte público propiedad de la entidad local menor de Barcia-Leiján situado en el noroccidente de Asturias (figura VI.1). Biogeográficamente se encuentra en la región Eurosiberiana, provincia Atlántica-Europea, subprovincia Cantabro-Atlántica, dentro del piso mesotemplado (colino).

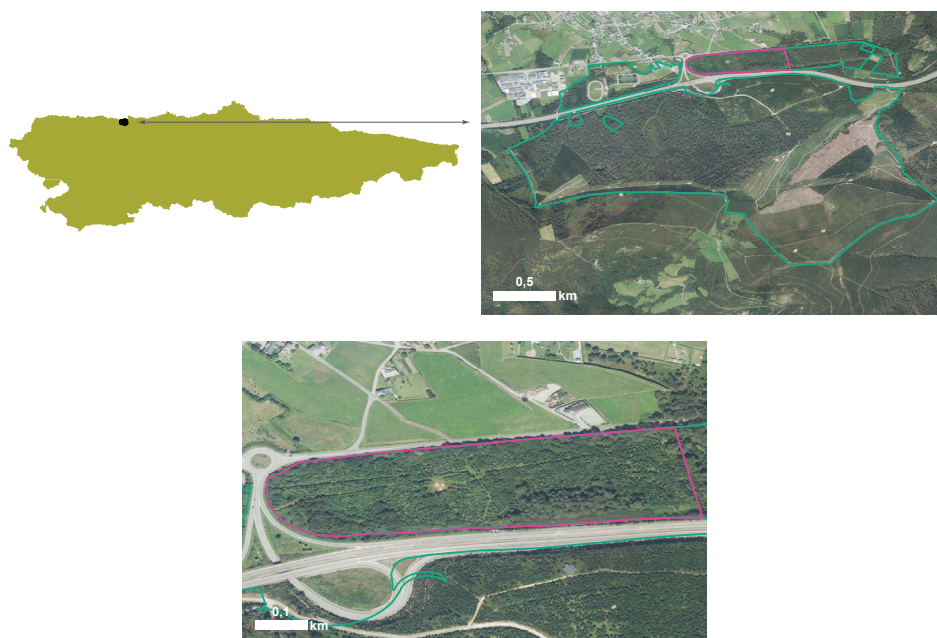


Figura VI.1. Localización del monte en el Principado de Asturias, límites del monte y detalle de la zona de plantación (fuente: Ortoimagen PNOA 2017, IGN).

Se trata de un monte de 245 ha, de las que aproximadamente 220 ha están arboladas. El monte está formado por un conjunto de laderas de umbría de pendiente variable, 20-40%, orientadas al Mar Cantábrico y que terminan en unos finales de ladera llanos. Desde el punto de vista climático el monte se encuentra en una región de clima oceánico costero con temperatura media 11,54 °C y precipitación media anual superior a 1200 mm. Cabe destacar que, a la vista de los datos climáticos analizados no existen meses de helada segura o helada probable, ni tampoco meses de sequía según el criterio de Gausson. Desde el punto de vista geológico, la zona de restauración se encuentra situada en el flanco oeste del antiforme del Narcea, dentro de la zona Astur occidental Leonesa. Los materiales rocosos que conforman el sustrato abarcan desde el Cámbrico Medio al Ordovício Inferior. La formación de mayor representación es la Serie de los Cabos, constituida por una sucesión concordante de materiales sedimentarios de naturaleza siliciclástica: cuarcitas, pizarras y areniscas de grano grueso. Los materiales se encuentran altamente fracturados a escala de afloramiento. Este factor, junto con la exposición a agentes externos, ha generado una gran cantidad de materiales de ladera originarios del Pleistoceno-Holoceno que cubren la mayoría de las laderas del monte en el que se ha realizado la restauración. En algunas zonas, la mayor pendiente de la ladera y la morfología cóncava de la misma favorecen procesos de lavado de material fino, generándose posteriormente canchales (pedreros) sin cobertura vegetal.

En la actualidad el monte está poblado de pino negral (*Pinus pinaster*) como especie principal, introducida mediante siembra por los propios vecinos a principios del siglo pasado, como complemento a la exigua producción agrícola del monte (pastoreo y recogida de rozo, que es el término empleado para la cama de ganado obtenida a partir de la siega en el monte de brezal-tojal). A pesar de la dominancia del pino negral, es importante destacar la presencia espontánea, aunque muy escasa, bajo la cubierta del pino de especies pioneras como el abedul y el castaño, sobre todo en la zona oriental del monte. Asociada a esta vegetación aparecen también especies exóticas como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), acacias (*Acacia* sp.) y pino insigne (*Pinus radiata*), especie muy utilizada en toda la zona, aunque muestra una mala adaptación en el monte. Las formaciones de matorral que predominan son los brezales húmedos, formados por tojo (*Ulex gallii* y *U. europaeus*), y otras especies (*Daboecia cantábrica*, *Calluna vulgaris* y *Erica mackaiana*). Por último, lo más característico en cuanto a las especies herbáceas, es la densa mata de hierba que se puede encontrar en los cantones de menor altitud – zona en la que se realiza la restauración –, que cubren todo el suelo y pueden llegar a dificultar en gran medida la regeneración.

La vegetación potencial de la zona pertenece a la serie 8AA, serie climática termocolina-colina montana galaico-asturiana acidófila del roble (*Blechnospicanti-Querceto roboris sigmetum*) (Rivas-Martínez 1987). La etapa madura la constituyen las carbayedas con abedules, desarrolladas sobre sustratos silíceos. Otro de los integrantes típicos de la región eurosiberiana y uno de los árboles más higrófilos es el aliso, un árbol que habitualmente presenta la mayor parte de su sistema radical sumergido en el agua. Se trata también de un árbol con una gran capacidad para la fijación de nitrógeno gracias a la relación simbiótica que establece con actinomicetes del género *Frankia* en nódulos de fijación que se sitúan en las raicillas más superficiales. Ambas características convierten al aliso en una especie de gran utilidad para la restauración de riberas o zonas temporalmente encharcables. Esta

especie presenta además la ventaja de que su madera tiene gran interés como madera de calidad, en particular como complemento o sustituto del cerezo, dada su similitud en color (Cisneros y Montero 2008).

3. Actuaciones de restauración

3.1. Caracterización de los suelos de la zona

De acuerdo con la clasificación de la FAO (1998), el monte en el que se ha realizado la restauración posee básicamente dos tipos de suelos:

- Regosoles o Leptosoles en las zonas divisorias y próximas a la cumbre. Son suelos débilmente desarrollados, formados a partir de materiales no consolidados con un perfil A/C. Poseen epipediónochrico (Porta *et al.* 1999).
- Cambisoles en las zonas arboladas. Son suelos que se encuentran en una etapa inicial de formación, con un endopedióncámbico. Poseen un perfil A/Bw/C (Porta *et al.* 1999).

Según el MAGRAMA (2011), los perfiles edafológicos realizados en la zona indican suelos de tipo Dystrudept húmico lítico. Son suelos caracterizados por la presencia de un horizonte oscurecido como consecuencia de la abundante materia orgánica humificada, moderadamente espeso, de carácter ácido o fuertemente ácido, bien drenado y con roca coherente próxima a la superficie. Su contenido de materia orgánica en el horizonte superficial es superior al 1%. Dicho horizonte varía su espesor desde un mínimo de 10 cm a un máximo de 50 cm y presenta una saturación de bases inferior al 50%. La caracterización de las propiedades del suelo se realizó mediante un muestreo en dos zonas próximas al área de restauración. Los datos obtenidos en dicho muestreo se muestran en la tabla VI.2 (MAGRAMA 2011). En conjunto, las estaciones forestales presentes son muy pobres, con predominancia de los suelos silíceos, fuertemente ácidos, que favorecen una mala humificación de la materia orgánica. En las laderas de pendiente moderada, predominan los suelos profundos pero muy pedregosos. En los finales de ladera se dan los terrenos llanos, con presencia de un encharcamiento temporal pero prolongado, desde el otoño hasta la primavera, que favorece los procesos de pseudogleysificación. Estos finales de ladera son las mejores estaciones de Pedredos, debido al continuo aporte de elementos finos y agua desde las partes altas del monte, razón por la cual se transformaron a praderas de siega por los vecinos en los años 60 (figura VI.2). Esta zona es conocida como Los Lagos, aludiendo a su hidromorfia. Por último, indicar que los estudios realizados sobre el terreno mostraron la presencia de amonio como consecuencia de la aplicación de purines.

3.2. Acondicionamiento del terreno

Las actividades de explotación agrícola no transformaron en gran medida la topografía del terreno objeto de restauración (pendientes, cortas, escombreras, infraestructuras, etc.), de modo que pudiera comprometer su estabilidad futura o pudiera dificultar la operatividad de la misma. Sin embargo, fue necesaria la realización de una serie de trabajos previos a la plantación para adecuar el suelo a la producción forestal. En primer lugar se eliminó la vegetación existente mediante una roza continua mecanizada con desbrozadora de

Tabla VI.2. Caracterización de los suelos en el monte “Pedredos, Lagos, Mullidos y Tresvalles” (Barcia-Leiján, Asturias) (MAGRAMA 2011).

Propiedad	Muestreo 1	Muestreo 2
Acidez de campo (meq 100 g ⁻¹)	0,82	0,71
Bases completo total	-	-
Bases de cambio Ca ⁺⁺ (meq 100 g ⁻¹)	1,83	2,87
Bases de cambio K ⁺ (meq 100 g ⁻¹)	0,13	0,18
Bases de cambio Mg ⁺⁺ (meq 100 g ⁻¹)	0,36	0,59
Bases de cambio Na ⁺ (meq 100 g ⁻¹)	0,19	0,13
C.I.C. (meq 100g ⁻¹)	4,42	6,24
Caliza activa (%)	Inapreciable	Inapreciable
Capacidad de campo (%)	8,69	13,15
Carbonatos (%)	-	-
CE (mmhos/cm). Extr. 1:5 (25 °C)	0,041	0,078
Clasif. Text. USDA	Arenoso franco	Arenoso franco
Cloruros (meq L ⁻¹)	27,80	55,60
Cobre	-	-
Coefficiente de marchitamiento (%)	3,74	4,53
Color Munsel (húmedo)	-	-
Color Munsel (seco)	10 YR 5/6	10 YR 3/1
Elementos gruesos (%)	13	24
Fósforo asimilable (mm)	< 1	2
Hierro	-	-
Horizonte	C	A1
Manganeso	-	-
Materia orgánica oxidable (%)	1,49	2,90
Nitrógeno total (%)	0,07	0,09
pH en cloruro potásico	5,20	5,10
pH en agua	5,90	5,70
Potasio asimilable	51	70
Profundidad (cm)	60-80	20-40
Relación C/N	12,34	18,68
Saturación de bases (%)	56,79	60,42
Sulfatos (meq L ⁻¹)	Inapreciable	Inapreciable
Arcilla (%)	6,44	7,28
Arena fina (%)	61,28	64,14
Arena gruesa (%)	22,54	17,93
Limo (%)	9,74	10,65



Figura VI.2. Pradera de siega en el monte Pedredos, como la que fue objeto de repoblación con alisos en 2009 (foto: J Garrote).

cadena dispuesta sobre tractor de ruedas. Mediante dicha roza se eliminó la parte aérea del matorral y los arbustos presentes, a una altura entre 5 y 10 cm sobre el suelo, siendo la altura del matorral inferior a 1 m.

En segundo lugar se llevó a cabo la preparación del terreno. A pesar de la hidromorfia de la parcela a repoblar, no se varió la técnica habitual de preparación del terreno en Asturias para terrenos mecanizables. Dicha preparación consistió en un subsolado sobre terreno suelto con tractor forestal, durante los meses de agosto y septiembre, previo al inicio de la temporada de lluvias, que hubiera dificultado el trabajo de la maquinaria pesada. Se trabajó con una profundidad del rejón de 50 cm, siempre de manera discontinua, levantando el rejón para evitar cualquier posible riesgo de erosión. Posteriormente se realizó sobre el subsolado una raspa manual hasta 30 cm de profundidad sobre una casilla de 40 × 40 cm de dimensiones exteriores con su centro sobre el eje del subsolado, con el fin de acondicionar el lugar para la plantación.

3.3. Plantación

El encharcamiento de la parcela restringía el número de especies a utilizar. Si bien la baja calidad de las estaciones forestales del monte ha favorecido el uso de pino negral, se seleccionó el aliso como especie principal para la repoblación con el objetivo de potenciar la diversidad forestal del monte con la plantación de una nueva especie. En el año 2004 se hicieron pruebas en una pequeña parcela próxima a la de la repoblación, introduciendo un abanico de especies, con objeto de conocer la respuesta de las mismas a las condiciones de encharcamiento. Las especies que se probaron fueron: el aliso, el fresno común (*Fraxinus excelsior*), el cerezo (*Prunus avium*), el chopo (*Populus nigra*), el roble común y el arce (*Acer pseudoplatanus*).

La especie que mejor resultado presentó fue el aliso seguido del chopo, el resto de especies tuvieron peor respuesta en la plantación. El aliso, con planta en cepellón de una savia, destacaba al segundo año por encima del tapiz herbáceo de la parcela, mientras que el resto de especies parecían ahogarse entre las pratenses, ya sea por las condiciones de hidromorfia o por la competencia radicular con las frondosas introducidas. Este ensayo permitió establecer al aliso como especie con grandes posibilidades de éxito en

la repoblación de 2009, incluso con un objetivo no sólo de restauración de un hábitat, sino con fines de producción maderera, dado su crecimiento inicial. En condiciones de plena luz y con suficiente humedad, como es el caso de la zona de restauración, el crecimiento inicial del aliso es muy vigoroso, superior al de otras especies forestales. Este hecho, unido a su carácter heliófilo y a la capacidad para la fijación de nitrógeno, permite la instalación rápida de las plantas al superar pronto la competencia herbácea (Cisneros y Montero 2008).

En la plantación se utilizó planta de 1 savia dispuesta en envase forestal, que se plantó con un pincho plantador sobre la casilla realizada previamente. La época de plantación fue en el otoño de 2009. La plantación se hizo de forma que la raíz principal quedara derecha y que el sistema radical quedara enterrado hasta la altura del cuello de la raíz, comprimiendo posteriormente la tierra alrededor de la planta para evitar la formación de cámaras de aire.

3.4. Elección de la densidad de plantación

La densidad recomendada para el aliso en plantaciones realizada en otros países de Europa donde se ha utilizada la especie con mayor frecuencia variaba entre los 2200 y 3000 pies ha^{-1} (Landesforstverwaltung Brandenburg 2004), muy por encima de lo que habitualmente se utiliza en Asturias. Otros autores (Bary-Lenger *et al.* 1988; Bazin y de Juan 1995; Sevilla 2001) recomiendan densidades altas, entre 1000 y 2500 pies ha^{-1} , respectivamente, cuando se prevea que la regulación de la densidad de pies no se va a poder realizar salvo con diámetros grandes; o densidades comprendidas entre 1600 a 4400 pies ha^{-1} (Boudru 1986; Sevilla 2001) si se considera necesario superar rápidamente el matorral para conseguir los portes deseados, o cuando se busca disponer de una base genética amplia para una futura selección de pies. Densidades tan elevadas producen una fuerte poda natural y una disminución del grosor de las ramas. Además, dado que se trata de una especie heliófila, los claros y las claras serían necesarios para reducir estas densidades iniciales tan elevadas, con el consiguiente gasto mayor que el beneficio obtenido en los productos medios, a excepción de la posible venta como biomasa (Cisneros y Montero 2008). Hoy en día los modelos de silvicultura con bajas densidades se están imponiendo con éxito en Europa y, por ejemplo, en Francia se usan densidades entre los 600 y los 1200 pies ha^{-1} (CRPF LIMOUSIN 2011), lo que facilita el éxito de la repoblación, ya que las bajas densidades reducen el coste medio de la repoblación y los posteriores tratamientos culturales.

A partir de estas consideraciones, en el caso de suelos excesivamente húmedos o pobres para la producción de otras especies de mayor valor comercial como el chopo, el nogal, el cerezo, o el fresno, tal y como ocurre en esta restauración, se puede plantear la instalación del aliso en una plantación pura, entre 800 y 1000 pies ha^{-1} (Cisneros y Montero 2008). De ahí que se optase por la densidad habitual en repoblaciones de frondosa sin protectores individuales, que corresponde a 1100 pies ha^{-1} a un marco de 3×3 m. Esa densidad de plantación, junto con un trabajo de poda hasta alcanzar la troza de calidad, permitirá producir madera de aliso de calidad, asegurando la obtención de un número suficiente de árboles adecuados en la corta final, sin necesidad de trabajos intermedios de claras.

El pliego de condiciones técnicas estableció un porcentaje de marras admisible inferior al 10%, obligando a la reposición de marras en caso de sobrepasar dicho porcentaje. La presencia de corzo en la zona podría haber planteado la necesidad de incluir algún tipo de cerramiento o protección para asegurar el desarrollo de la repoblación. Dichas protecciones podrían ser protectores verticales, cerramientos de malla cinegética o cierre de alambre de espino. Sin embargo, finalmente no se contempló ninguna de estas alternativas, dado que en el proyecto piloto previo se observó que el aliso se ve poco afectado por la herbivoría del corzo. No se constató ramoneo y el escodado lo superaba la planta al año siguiente, con un nuevo rebrote, incluso a edades tempranas. La escasa incidencia de los herbívoros silvestres sobre el aliso está recogida en la bibliografía forestal (Masson 2005). Con esas densidades, y dado que no se observaron marras, se espera poder iniciar el programa de claras cuando el arbolado alcance una altura dominante de 15 metros, dejando 150 pies ha^{-1} como árboles del porvenir, que quedarán señalados con una poda alta a 6 metros.

4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

La repoblación, seis años después de su establecimiento, se pudo dar como consolidada. El año posterior a la plantación se rozaron las entrelineas de plantación para evitar que las pratenses pudiera ahogar la planta pequeña, pero no se realizó ninguna intervención posterior en este sentido.

El desarrollo de los árboles ha sido satisfactorio, alcanzando a los 6 años desde su plantación una altura total de 6 a 8 m. Se efectuó una poda baja a los 11 años en campo (figura VI.3).



Desarrollo de un ejemplar tras 6 años en campo.

Aspecto de la repoblación a los 11 años tras su plantación.

Figura VI.3. Evolución de ejemplares de aliso plantados en 2009 (fotos: J Garrote).

Como era de esperar, el corzo escodó numerosas plantas después del segundo año, pero el vigoroso rebrote de la planta, hizo innecesario la reposición de marras. Se puede plantear, como intervención a corto plazo, una poda de formación de los alisos dañados por el

corzo, si bien se considera suficiente el número de pies por hectárea que cumplen las condiciones para ser candidatos a pies de porvenir. El objetivo de producción debe ser producir madera de calidad de aliso a turnos de 40-60 años.

Los resultados de esta plantación indican que el aliso puede ser una especie alternativa para la restauración de muchos terrenos en el noroccidente asturiano, donde son abundantes situaciones similares a la mostrada en esta repoblación. La presencia de numerosas praderas de siega abandonadas con una muy buena disponibilidad hídrica, y localizadas en fondos de valle, vaguadas u hondonadas, y que actualmente se plantan con eucalipto, podrían ser objeto de plantaciones de especies autóctonas de vocación protectora-productora como el aliso, lo que representa una alternativa de producción maderera ambientalmente más compatible, como puede constatarse por el éxito en esta repoblación. Este tipo de intervención puede aportar, además, una mejora desde el punto de vista paisajístico, como puede apreciarse en la figura VI.4.



Figura VI.4. Vista del año 2009 en la que se aprecia, en primer término, las masas de *Pinus pinaster* que dominan el monte Pedredos; en segundo plano, entre la autovía A-8 y el pueblo de Barcia-Leiján, se encuentra la repoblación con alisos; al fondo el Mar Cantábrico (foto: J Garrote).

BIBLIOGRAFÍA

- Bary-Lenger A, Evrard R, Gathy P (1988) La forêt. Editions du Perron, Liège
- Bazin P, de Juan C (1995). Repoblación forestal de tierras agrícolas. Mundi-Prensa
- Boudru M (1986) Forêtet sylviculture – Sylviculture appliquée. Les Presses agronomiques de Gembloux, Paris
- Bourrelrier PH, Berthelin J (1998) Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestión. Lavoisier Tecdoc. Rapport nº42
- Cisneros O, Montero G (2008) Selvicultura de *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. En: Compendio de Selvicultura Aplicada en España. Serrada R, Montero G, Reque JA (eds). Instituto Nacional de Investigación Agraria y Tecnología Agraria y Alimentaria. Fucovasa
- CRPF LIMOUSIN (2011) L’aulne glutineux 2. http://www.crpflimousin.com/sources/files/FOGEFOR/botafor_aulne.pdf
- FAO (1998) World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports nº84 Rome
- Gobierno del Principado de Asturias (2001) Plan Forestal de Asturias. Principado de Asturias, Oviedo

- Landesforstverwaltung Brandenburg (2004) *Waldbau-Richtlinien 2004 "Grüner Ordner" 9*. Die Erle, Berlin
- MAGRAMA (2011) Mapa de evaluación de estudios agroecológicos a escala 1:50.000 del Principado de Asturias. Madrid
- Masson G (2005) *Autoécologie des essences forestières*. Tomo I. Editions Tec&Doc, Paris
- Porta J, López-Acevedo M, Roquero C (1999) *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 2ªed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid
- Rivas-Martínez S (1987) Mapa de las series de vegetación. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid
- Sevilla F (2001) Marco y densidad en las repoblaciones forestales. En: S.E.C.F. – Junta de Andalucía (eds.), III Congreso Forestal Español. Montes para la Sociedad del Nuevo Milenio 02. Gráficas Coria. Sevilla
- Sheoran V, Sheoran AS, Poonia P (2010) Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *Int. J. Soil, Sed. Wat.* 3(2):13

Caso práctico VII

Plantaciones truferas (“Plantación de Julio”)

Santiago VIEITES BERNAD, Daniel OLIACH LESAN,
Carlos COLINAS GONZÁLEZ, José Antonio BONET LLEDÓS

1. Base técnica singular del tipo de plantación

1.1. Singularidades del cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum*)

Las trufas son cuerpos de fructificación de hongos hipogeos micorrícicos, es decir, que producen sus esporas en carpóforos bajo tierra y que se asocian a plantas huésped, de las que reciben carbohidratos en contraprestación a la aportación de agua y nutrientes por parte del hongo. La trufa está considerada como el “diamante negro de la cocina” por sus excepcionales características organolépticas. El género *Tuber* cuenta con muchas especies presentes en la Península Ibérica, pero la más apreciada por los mercados es la trufa negra (*Tuber melanosporum*) (figura VII.1).

La trufa negra se asocia con varias especies arbóreas, pero mayoritariamente se encuentra de forma silvestre en formaciones de los géneros *Quercus* (*Q. ilex*, *Q. faginea*, *Q. humilis*, *Q. coccifera*) y *Corylus avellana*. No obstante, la producción de la trufa silvestre sufrió un descenso importante desde la segunda mitad del siglo XX, que continua actualmente, y que se asocia a múltiples factores, entre los que destacan el cambio de fisonomía de los montes con un incremento de biomasa, una sobreexplotación con malas prácticas de recogida y, últimamente, al cambio climático (Reyna 2012; Le Tacon *et al.* 2014; Büntgen *et al.* 2015, 2019).

La falta de aprovisionamiento de trufa negra silvestre para unos mercados que veían incrementar su precio incentivó la investigación para conseguir plantas micorrizadas con trufa negra en vivero, que estuvieron disponibles a principios de los años setenta del siglo pasado. Estas primeras plantas, producidas por viveros franceses, llegaron a España en esa década, hasta que a partir de la década de los años ochenta aparecen las primeras empresas

viverísticas que producen y venden sus propias plantas, asesorando a los agricultores en la plantación, mantenimiento y recolección. Los tibios inicios de la truficultura en España se aceleraron cuando se constató que las primeras plantaciones empezaban a producir trufas, aunque irregularmente, a partir aproximadamente del año 10 desde su instalación. El apoyo decidido de las administraciones al desarrollo de la truficultura ha permitido que la superficie plantada de este cultivo aumentara rápidamente hasta superar en la actualidad las 15000 hectáreas de truferas establecidas con *T. melanosporum*.



Figura VII.1. Carpóforo de trufa negra (*T. melanosporum*) (foto: C Colinas).

1.2. Antecedentes de la finca. Objetivo de la plantación

El objetivo de la forestación de la “Plantación de Julio” era el cambio de uso de un terreno agrícola de secano, con una superficie útil de casi 4 hectáreas, donde anualmente se venían realizando las labores agrícolas asociadas a la siembra de trigo y cebada. La finca (figura VII.2), ubicada en Graus, provincia de Huesca, tenía con su uso cerealístico unas producciones anuales de 3000 a 4000 kg ha⁻¹. Los gastos anuales asociados al cultivo cerealístico consistían en el laboreo del suelo, la siembra, el abonado, las aplicaciones fitosanitarias eventuales y, finalmente, la cosecha. La escasa superficie de la finca hacía que las necesidades de maquinaria para llevar a cabo estas labores supusieran un alto coste de amortización, lo que implicaba una rentabilidad muy ajustada.



Vista aérea de la finca
(fuente: ortofoto PNOA 2012).



Estado de la propiedad en agosto de 2012
(foto: S Vieites).

Figura VII.2. Imágenes de la finca objeto de la plantación trufera en Graus (Huesca).

Todo esto, junto con el hecho de que Graus se encuentre en una zona privilegiada para la producción de trufa negra y las ganas por parte del dueño de realizar una plantación arbórea en la que no fuera necesaria la aplicación de productos fitosanitarios, hizo que la forestación con encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y quejigos (*Quercus faginea*) micorrizados con *T. melanosporum* fuera una alternativa por la que se decidió el propietario.

2. Caracterización de la estación

La trufa negra se desarrolla preferentemente en suelos calcáreos bien estructurados, con textura equilibrada y porcentajes de materia orgánica moderados (Colinas *et al.* 2007). Las características edáficas pueden ser limitantes para el desarrollo del hongo. Así, un terreno puede presentar *a priori* unas buenas características para la plantación, pero un exceso de nutrientes, debido a cultivos agrícolas intensivos previos, podría desaconsejar el establecimiento de las plantas inoculadas con el hongo. Un segundo gran grupo de factores que es necesario parametrizar previamente al establecimiento de una plantación son los factores climáticos (Oliach *et al.* 2020). La truficultura se basa en el mantenimiento de la asociación entre hongo y planta mediante las micorrizas que supone un equilibrio frágil por el que un exceso o una falta de aportación hídrica, puede ir en detrimento de la correcta evolución de *T. melanosporum* (Olivera *et al.* 2014a). La trufa negra, como especie propia del Mediterráneo, está adaptada a un cierto déficit hídrico, siendo fundamentales para la formación y engrosamiento de las fructificaciones las lluvias de primavera y verano.

2.1. Fisiografía

La parcela donde se realizó la plantación presenta un relieve suave debido a los movimientos de tierra que se realizaron en la parcela desde la aparición de maquinaria pesada. Así, consultando el vuelo fotogramétrico “americano” de 1956-1957 (figura VII.3), se puede apreciar que esta propiedad estaba compuesta por muchas terrazas y pequeñas fajas donde se repartía un mosaico compuesto por viña, campos de labor, olivos centenarios y almendros con intención de mantener los terraplenes.



Figura VII.3. Vuelo fotogramétrico realizado en los años 1956-57 por el Army Map Service de EEUU con el que se realizó el primer Catastro de Graus en 1959.

Actualmente, la parcela ya no dispone de fajas y terraplenes (figura VII.2) y tiene una pendiente suave que va desde 480 a 507 metros de altura.

Las condiciones fisiográficas no suelen ser una limitación para el establecimiento de las plantaciones de trufa, a no ser que la parcela se encuentre en condiciones de fondo de valle con encharcamientos puntuales o con pendientes elevadas, que puedan ser fácilmente erosionables. Este extremo puede ser especialmente delicado, sobre todo cuando la plantación sea productiva y se produzca el “quemado” alrededor del árbol, causado por el efecto alelopático que produce la micorriza de trufa negra al expandirse el sistema radical, produciendo una zona libre de vegetación (figura VII.4). En el caso de la “Plantación de Julio”, los factores fisiográficos como altitud, orientación y pendiente no suponen ningún limitante para su establecimiento.



Figura VII. 4. Zona libre de vegetación o “quemado” alrededor del árbol micorrizado con trufa negra (foto: D Oliach).

2.2. Suelo

El suelo de la parcela forestada se caracteriza por una gran alteración antrópica, resultado de décadas de cultivo extensivo, aunque, a pesar de la mecanización continuada, no existe ningún afloramiento rocoso y cuenta con una pedregosidad baja, siendo la profundidad de labor de 40-50 cm.

La aparente aptitud de una parcela para el establecimiento de una plantación necesita ser analizada con detalle, por lo que siempre es recomendable realizar análisis de suelos y corroborar si los parámetros edáficos se sitúan en el rango recomendado para el desarrollo de *T. melanosporum* (tabla VII.1). En las parcelas objeto de estudio, se tomaron muestras de suelo y se realizó un análisis en el laboratorio. Los resultados del análisis mostraron que el pH de la parcela tenía un valor aproximado a 8, con una textura franco-arenosa equilibrada (26,6% de limo, 16,2% de arcilla y 57,2% de arena) y un porcentaje de materia orgánica de 1,67%, lo que se establece dentro de los rangos recomendados para el desarrollo del hongo de la trufa negra (tabla VII.1). Igualmente se observó que el porcentaje de caliza activa que debería estar entre el 0,1% y 30%, se encontraba en un 6%, mientras que la relación carbono/nitrógeno (C/N) que debería tener valores cercanos a 10, era de 8,67.

Una vez analizados los parámetros edáficos detalladamente, se pudo confirmar que la propiedad era apta para el cultivo de encinas micorrizadas con trufa negra desde un

punto de vista edáfico y que, con los pertinentes trabajos de cuidado y mantenimiento, se podía conseguir el objetivo de plantar la parcela y obtener un rendimiento económico importante con la producción de trufa negra.

2.3. Clima

La presencia del hongo de la trufa negra necesita de unas condiciones de precipitación y temperaturas que muestran un rango amplio (ver tabla VII.1). No obstante, como el objetivo de la plantación es maximizar las fructificaciones de *T. melanosporum*, las variables climáticas, principalmente en lo que se refiere a la precipitación estival y a la temperatura máxima de los meses más cálidos, pueden ser limitantes para la plantación. Es conveniente, por tanto, realizar un estudio climatológico previo a la ejecución del proyecto, para garantizar la viabilidad del cultivo y/o articular y valorar las actuaciones culturales que permitan alcanzar los rangos climáticos óptimos. Estas actuaciones culturales pueden consistir en el establecimiento de un sistema de riego, en el caso de que exista un déficit de precipitaciones, y/o la implantación de acolchados (Olivera *et al.* 2014b), con el objetivo de reducir la temperatura máxima en los meses más cálidos.

Tabla VII.1. Parámetros fisiográficos, edáficos y climáticos principales de la finca objeto de estudio y de las zonas que habita *T. melanosporum* en el mundo.

Parámetro	Plantación de Julio (Graus)	Requerimientos de <i>T. melanosporum</i> ⁽¹⁾
Altitud (m)	480-507	400 – 1200
pH	8,04	7,5 – 8,5
Textura	Franco-arenosa	Principalmente de franca a franco-limosa
Materia orgánica (%)	1,67	1 – 8
Precipitación anual (mm)	667	400 – 1500
Precipitación estival (mm)	152	75 – 185
Temperatura media anual (°C)	11	8 – 15
Temperatura media del mes más frío (°C)	3,5	1 – 8
Temperatura media del mes más cálido (°C)	22	16,5 – 23

⁽¹⁾ Colinas *et al.* (2007); García-Barreda *et al.* (2012); Serrano-Notivoli *et al.* (2015 a y b).

2.3.1. Régimen pluviométrico

Las precipitaciones anuales son relativamente abundantes (667 mm en el observatorio de Graus) y bastante bien repartidas a lo largo del año. Los periodos más lluviosos son el otoño y, en segundo lugar, la primavera. El verano y el invierno son algo menos lluviosos, pero aun así reciben precipitaciones notables.

En el área donde se encuentran los terrenos de la plantación, las precipitaciones son algo menos abundantes, pero sin alcanzar cifras excesivamente bajas. El reparto es algo

diferente pues, aunque otoño y primavera siguen siendo las estaciones más lluviosas, esta última supera al otoño ya que en ella se recogen 197,7 mm (29,6% del total anual). El verano pasa a ser la estación menos lluviosa (22,8% del total), pero con muy poca diferencia respecto del invierno, que aporta el 22,9%. En este caso, mayo destaca como el mes más lluvioso y julio como el más seco.

Los datos de precipitación registrados son suficientes para el desarrollo de la truficultura (tabla VII.1). No obstante, la variabilidad climática es otra de las características propias de la estación, pudiendo combinarse años muy lluviosos, con años muy secos y años medios. Esta circunstancia redundará necesariamente en la regularidad de las producciones de trufa negra en el futuro, por lo que es aconsejable el establecimiento de un sistema de riego de apoyo. En la finca existe acceso al agua de riego, por lo que se plantea instalar un sistema de riego por microaspersión al quinto año de la plantación.

2.3.2. Régimen térmico

El clima mediterráneo, propio de esta zona, se caracteriza con respecto a las temperaturas, por unos veranos calurosos y unos inviernos moderados, con contrastes que se ven acentuados por la orografía accidentada que presenta la zona de Graus.

Los veranos son secos y calurosos, con una temperatura media estacional de 21 a 23 °C, y los inviernos son fríos, con una temperatura media entre 3 y 4 °C. El otoño suele ser suave, atemperado y sin los bruscos cambios térmicos de la primavera ya que las invasiones de aire frío son muy esporádicas y, si suceden, no suelen alcanzar valores muy bajos. La temperatura media anual para la zona donde se encuentra la forestación está entre los 10 y 12 °C.

Los datos de temperatura registrados en la finca no muestran limitaciones para el desarrollo de la truficultura, aunque la temperatura media del mes más cálido está cerca del límite observado (tabla VII.1) por lo que, en un contexto de cambio climático futuro con un incremento de temperaturas y una mayor variabilidad interanual, es posible que pudiera sobrepasarse este umbral. No obstante, la instalación del sistema de riego puede, igualmente, contribuir a suavizar las temperaturas máximas.

3. Características de la plantación

Una vez comprobada la idoneidad del terreno y confirmada la disposición del propietario a establecer una parcela productora de trufa negra, se decidió por la utilización de las especies huésped presentes en el entorno de la propiedad y que tradicionalmente se vienen utilizando en plantaciones inoculadas con trufa negra, siendo la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y el quejigo (*Quercus faginea*) las especies elegidas. La encina es el árbol huésped más utilizado en truficultura, aunque el quejigo se muestra también como una especie muy adaptable y que puede proporcionar grandes producciones de trufa. Ambas especies tiene un sistema radical pivotante, cuya raíz principal penetra a gran profundidad si el suelo lo permite. Una vez desarrollada la raíz principal, comienza a ramificarse emitiendo otras muy superficiales, que son las que son el objetivo de la plantación.

3.1. Preparación del terreno

Previamente a la realización de la plantación se preparó el terreno con las siguientes actuaciones:

- Subsolado pleno, con un subsolador tipo *chissel*, a una profundidad media de 50 cm. El objetivo del subsolado fue el de romper la suela de labor que se forma en cultivos como consecuencia de las labores continuadas, año tras año, a la misma profundidad.
- Laboreo con arado de vertedera a unos 30-40 cm de profundidad, volteando la tierra, enterrando los residuos provenientes del cultivo anterior y facilitando de esta forma su descomposición. Estas dos primeras fases se hicieron durante el verano anterior a la plantación durante el periodo más seco, para facilitar la aireación del terreno y la eliminación de la vegetación existente.
- Finalmente, 15 días antes de empezar la operación de marcaje y plantación, se hizo una labor mediante grada de cultivadores (rejas de golondrina o discos) para igualar el terreno y dejarlo lo más esponjado y aireado posible, de forma que la plantación fuera sencilla de realizar.

3.2. Marco de plantación y marcaje

Una vez preparado el terreno se realizó el marcaje de la parcela con un marco de plantación en cuadrícula de 6×6 metros con una densidad de 278 pies ha⁻¹. El motivo de la elección de este marco de plantación es que se favorecen las actuaciones con maquinaria a realizar, así como la obtención de unas condiciones adecuadas e idénticas de insolación para todos los árboles plantados.

El método de marcaje utilizado fue el “método de la cadena” mediante el cual se fue marcando la parcela de forma manual con marcas visibles para el posterior ahoyado y plantado.

3.3. Calidad del material vegetal

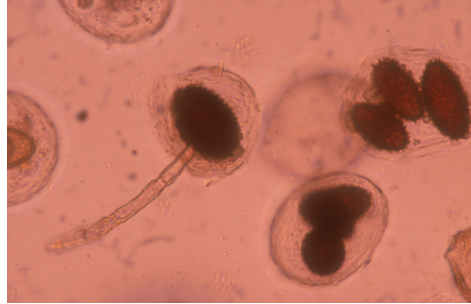
El elemento clave para garantizar el éxito futuro de una plantación trufera es adquirir plantones micorrizados de calidad. Es necesario que las plantas cumplan con las condiciones establecidas por el Real Decreto 289/2003 sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción, en el Anexo VII donde se establecen los requisitos de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción. También es necesario que exista una garantía sobre el estado micorrícico de los plantones antes de realizar la plantación. Los requisitos mínimos exigibles en plantas micorrizadas con hongos comestibles no están regulados ni unificados oficialmente a nivel estatal, existiendo diferentes métodos de control de la calidad de la planta aplicados por parte de laboratorios dependientes de las comunidades autónomas (figura VII.5) que analizan las plantas procedentes de los viveros comerciales (Andrés-Alpuente *et al.* 2014). Los diferentes criterios de calidad de planta micorrizada tienen como elementos comunes deseables la abundancia de raíces tróficas, la existencia en cantidad suficiente de micorrizas del hongo deseado y la ausencia de otros hongos del género *Tuber*.

Las plantas utilizadas en la “Plantación de Julio” procedieron de un vivero autorizado y previa a su plantación se analizaron en el Centro de Investigación y Experimentación

en Truficultura (CIET), situado en Graus. Las plantas de quejigo tuvieron un porcentaje de micorrización media del 24,3% mientras que las de encina fueron del 33,8%, no observándose presencia de contaminantes (tabla VII.2), por lo que fueron certificados como plantas de calidad para su plantación.



Análisis de calidad de planta inoculada en las instalaciones de la ETSEA de la Universitat de Lleida (foto: D Oliach).



Espora de *T. melanosporum* germinando (foto: CR Fischer).

Figura VII.5. Análisis de calidad de planta inoculada.

Tabla VII.2. Resultado del análisis de las plantas de 1 savia micorrizadas con *T. melanosporum* utilizadas en la reforestación realizado por el Centro de Investigación y Experimentación en Truficultura (CIET) de Graus (fecha de evaluación: 28/11/2014).

Especie	Porte/raíz (cm)	Presencia de raíces tróficas	Colonización > 10%	Ápices micorrizados con <i>T. melanosporum</i> (%)				Contaminantes
				Muestra			Media	
				1	2	3		
<i>Q. faginea</i>	10/17	Media-baja	si	19	25	29	24,3	-
<i>Q. ilex</i>	18/16,5	Media-baja	si	41	34	28	34,3	-
<i>Q. ilex</i>	17,5/16	Media-baja	si	38	32	30	33,3	-

3.4. Plantación

La plantación se realizó en dos años diferentes. En el primero, en noviembre del año 2014, se plantaron únicamente 1,40 ha con un marco de plantación a 6 × 6 m y un total de 330 plantas micorrizadas. Para esta plantación se utilizaron 110 quejigos y 220 encinas. La distribución de las plantas fue de dos líneas de encinas por una de quejigos (figura VII.6). En el segundo año, en noviembre del año 2015, se plantaron las restantes 2,55 ha con un marco de plantación a 6 × 6 m, continuación del marcaje del año anterior, con un total de 670 plantas. Para esta plantación se utilizó un 95% de encinas y un 5% de quejigos (figura VII.6).

Para la realización de la plantación y una vez realizado el marquillado, se procedió al ahoyado manual de forma que no se compactase el terreno con maquinaria, a pesar de ser mucho más costoso. La planta con cepellón se plantó evitando los días de heladas y los días en los que pudiera haber un exceso de agua por lluvias recientes. La distribución espacial de las plantas en la finca se muestra en la figura VII.7.



Estado de la plantación realizada en noviembre de 2014 a fecha de julio de 2018. En primer lugar, dos líneas de encinas y a continuación una alineación de quejigos.



Estado de la plantación realizada en noviembre de 2015 a fecha de julio de 2018.

Figura VII.6. Aspecto de la plantación en el año 2018 (fotos: S Vieites).



Figura VII.7. Estado de la reforestación una vez finalizada la plantación del año 2015.

Las plantas fueron protegidas individualmente con tubos invernadero de 60 cm de altura, de doble capa, y abocardados en su extremo superior. El tubo protector se coloca, una vez plantado el árbol, sujetándolo con un pequeño caballón de tierra, evitando poner estacas de madera que a la larga se pueden pudrir y por tanto pudieran crear algún tipo de interacción entre el hongo micorrízico de la trufa y los hongos de pudrición. Adicionalmente, este acopio de tierra mantiene más humedad en verano junto a la planta.

4. Mantenimiento y datos del seguimiento de la plantación

Una vez finalizada la plantación entre los años 2014 y 2015, se realizaron labores de mantenimiento de la forestación que consistieron en las siguientes actuaciones:

- Reposición de marras, un total de 19 árboles desde que se inició la plantación, realizadas en los meses de noviembre de los años 2016 y 2017.
- Tres laboreos anuales, dos de ellos a finales de invierno (final de febrero y mediados de marzo) y uno a principio de primavera (primera quincena de abril), para la eliminación de la competencia que pueda ocasionar la reducción del crecimiento de los árboles y perjudicar al desarrollo del hongo. Estas labores se realizan con cultivador de rejas, porque si se utilizan puntas de corazón se favorece la suela de labor. Adicionalmente a la labor del cultivador, se repasa con azada alrededor de cada árbol.
- Inspección, dos veces al año, del buen estado y colocación de los protectores en los árboles más pequeños y escarda manual, con azada, en la proximidad del árbol.
- El año 2018 se eliminaron los protectores y se podaron los troncos de los árboles eliminando rebrotes y bifurcaciones de las plantas establecidas el año 2014, además de una pequeña poda en la copa para dar forma al árbol (figura VII.8).



Figura VII.8. Foto detalle de una encina sin protector y con las plantas más cercanas eliminadas. Se aprecia el último laboreo con tractor (foto: S Vieites).

- En 2019 se eliminaron el resto de los protectores de la plantación realizada en el año 2015 y se inició la instalación de un sistema de riego por microaspersión. El abastecimiento de agua procede de la acequia que atraviesa la parcela (figura VII.9).
- En el año 2020 se ha finalizado la instalación del sistema de riego automatizado con microaspersores de forma que se genere un riego de cobertura a la totalidad del suelo de la plantación (figura VII.10).

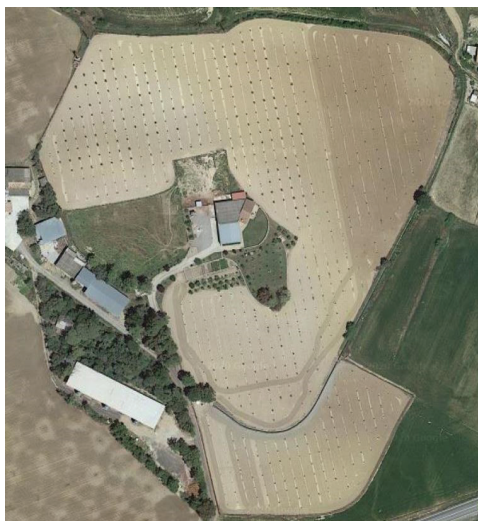


Figura VII.9. Ortofoto del año 2019 en la que se aprecia la plantación completa, con la acequia de riego que atraviesa la finca por la parte inferior (fuente: www.google.es/maps).



Figura VII.10. Detalle de la plantación con sistema de riego superficial. En primer plano los árboles plantados en 2014 y al fondo la plantación realizada en 2015 (foto: S Vieites).

En la actualidad se está a la espera de que pueda iniciarse la fructificación de las primeras trufas, que serán favorecidas con los riegos periódicos que se puedan realizar cuando las condiciones climatológicas no sean idóneas.

BIBLIOGRAFÍA

Andrés-Alpuente A, Sánchez S, Martín M, Aguirre A, Barriuso JJ (2014) Comparative analysis of different methods for evaluating quality of *Quercus ilex* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum*. *Mycorrhiza* 24 Suppl 1, S29-37

Büntgen U, Egli S, Schneider L, von Arx G, Rigling A, Camarero JJ, Sangüesa-Barreda G, Fischer CR, Oliach D, Bonet JA, Colinas C, Tegel W, Ruiz Barbarin JJ, Martínez-Peña F (2015) Long-term irrigation effects on Spanish holm oak growth and its black truffle symbiont. *Agric Ecosyst Environ* 202:148–159

- Büntgen U, Oliach D, Martínez-Peña F, Latorre J, Egli S, Krusic PJ (2019) Black truffle winter production depends on Mediterranean summer precipitation. *Environ Res Lett* 14:074004
- Colinas C, Capdevila JM, Oliach D, Fischer CR, Bonet JA (2007) Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Catalunya. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya Ed, Solsona, Spain
- García-Barreda S, Reyna S, Pérez R, Rodríguez-Barreal JA, Domínguez JA (2012) Ecología de la trufa y las áreas truferas. En: Reyna S (ed.) *Truficultura. Fundamentos y técnicas*, pp. 151-204. Ed. Mundiprensa, Madrid
- Le Tacon F, Marçais B, Courvoisier M, Murat C, Montpied P, Becker M (2014) Climatic variations explain annual fluctuations in French Périgord black truffle wholesale markets but do not explain the decrease in black truffle production over the last 48 years. *Mycorrhiza* 24:115-125
- Oliach D, Morte A, Sánchez S, Navarro-Ródenas A, Marco P, Gutiérrez A, Martín-Santafé M, Fischer C, Albus LM, García-Barreda S, Martínez-Peña F, Colinas C (2020) Las trufas y las turmas. En: Sánchez-González M, Calama R, Bonet JA (eds.). *Los productos forestales no madereros en España: Del monte a la industria. Monografías INIA: Serie Forestal, 31*, Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España, Madrid
- Olivera A, Bonet JA, Oliach D, Colinas C (2014a) Time and dose of irrigation impact *Tuber melanosporum* ectomycorrhiza proliferation and growth of *Quercus ilex* seedling hosts in young black truffle orchards. *Mycorrhiza* 24 (Suppl 1), S73–S78
- Olivera A, Bonet JA, Palacio L, Liu B, Colinas C (2014b) Weed control modifies *Tuber melanosporum* mycelium expansion in young oak plantations. *Ann For Sci* 71:495–504
- Reyna S (2012) *Truficultura. Fundamentos y técnicas*. Mundi-Prensa Ed, Madrid
- Santafé M, Sánchez-Durán S, Barriuso JJ (2015b) Cultivation potentiality of black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.) in Zaragoza province (Northeast Spain). *J Maps* 12(5):994-998
- Serrano-Notivoli R, Incausa A, Martín-Santafé M, Sánchez-Durán S, Barriuso JJ (2015a) Modelización espacial del hábitat potencial de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Huesca (España). *ITEA* 111(3): 227-246

Caso práctico VIII

Plantaciones de nogal para madera

Neus ALETÀ SOLER, Joan ABEL BACHS, Anna TEIXIDÓ COMPAÑÓ,
Ignacio URBÁN-MARTÍNEZ, Jesús FERNÁNDEZ-MOYA,
Antoni VILANOVA SUBIRATS

1. Bases teóricas

1.1. Contexto general

La madera de nogal fue muy valorada en Europa desde la temprana edad media. Los primeros muebles de calidad eran de nogal común, *Juglans regia*, una especie que crecía naturalmente por toda Europa. El abastecimiento parecía asegurado hasta que la gran demanda de Gran Bretaña en el siglo XVIII, causada por el floreciente desarrollo de la industria de la fabricación del mueble, quebró este equilibrio. El primer país donde se impusieron restricciones al arranque masivo de nogales fue Francia, prohibiéndose su exportación en 1720 (Aletà *et al.* 2003). Actualmente, las decisiones de cada país, e incluso internacionales, van en esa misma dirección y son muy estrictas en aras de proteger y gestionar racionalmente la biodiversidad mundial. Los arranques masivos del siglo pasado en países como Grecia y España, o las talas indiscriminadas en las masas naturales de *J. regia* en países centroasiáticos ya son historia.

A finales del siglo XX, en el proceso de dar valor a las especies forestales autóctonas y a su madera, el nogal sale muy bien posicionado, y la producción de su madera deja de considerarse sólo como un subproducto de las plantaciones productoras de nuez, iniciándose plantaciones de nogal exclusivamente para producir madera. El espejo es las ‘plantaciones naturales’ que existen en EE.UU de otro nogal, *Juglans nigra*, que aportan rentabilidades nada despreciables al productor. Además, la UE compra una elevada cantidad de madera de frondosas a EE.UU, unas 315000 t año⁻¹ (Aletà y Vilanova 2014), entre ellas de nogal. La posibilidad real de este desarrollo en Europa se ve favorecida con el giro de la UE hacia una política agraria más medioambientalista, que se concreta con las ayudas europeas para la reforestación de tierras agrarias que se establecen a partir del año 1992.

En España, en un contexto de bonanza económica, en los años 2000-2008, se inicia la expansión de este tipo de plantaciones; pero surge un grave problema: no existe material vegetal contrastado para realizarlas. Así, en los últimos 20 años, se han plantado mayoritariamente las únicas progenies existentes en el mercado, los híbridos de *Juglans* obtenidos en campos productores de semillas híbridas por viveros franceses (Becquey 1997). Estos materiales destacan por su espectacular crecimiento, atribuido a que corresponden a híbridos entre *J. regia* y otras especies de origen americano, *J. nigra* y *J. major*. Han tenido que transcurrir unos cuantos años para que se encuentren en el mercado español otras progenies o clones seleccionados para producir madera (Aletà y Vilanova 2012; Fernández-Moya *et al.* 2019a).

El objetivo productivo de estas plantaciones era conseguir madera con un diámetro normal de más de 40 cm en turnos cortos, no muy superiores a los 25 años, y de máxima calidad para la obtención de chapa. Con los años se ha observado que el crecimiento esperado era alcanzable en terrenos agrícolas de calidad media (figura VIII.1), pero en cambio las alturas de fuste de más de 5 m, rectas y sin defectos, eran difíciles de lograr si la gestión no era apropiada y/o la estación mal elegida (Calvo 2011; Nosenzo *et al.* 2011). En muchos casos, los propietarios dieron poca importancia a la gestión; al fin y al cabo, se trataba de una producción forestal, y no entraron a valorar el deterioro de la calidad del producto que supondría un inapropiado manejo y la merma que representaría en el precio final.

La gran incógnita de este tipo de plantaciones sigue siendo el precio final del producto. La comparación con la madera de *J. nigra* de EE.UU es una buena aproximación, a falta de un mercado estable y transparente de la madera de nogal en Europa. Sin embargo, hasta ahora no había suficiente producción a nivel europeo para crearlo, pero sí que la habrá en los próximos 5-10 años (Aletà y Vilanova 2014).

Cabe considerar que resulta muy difícil para el productor proyectar a 30 años el tipo de producto que demandará la sociedad. De un objetivo inicial focalizado en producir chapa a final de turno, el producto actualmente de mayor valor, se piensa en valorar aprovechamientos a más corto plazo, como es el de la madera de sierra procedente de diámetros pequeños para dar salida a la producción derivada de las potenciales claras.

1.2. Situación en España

En España, unas 5000 ha de plantaciones están ya alcanzando, e incluso superando, la mitad de su turno de corta (Aletà y Vilanova 2014). Las plantaciones bien gestionadas están produciendo madera de la calidad prevista; sin embargo, no son la mayoría. El principal defecto observado es la falta de homogeneidad, más en la calidad del fuste que en el crecimiento, lo que lleva a que las claras no se puedan efectuar de manera sistemática, sino que suponen la eliminación de los peores ejemplares en la gran mayoría de las plantaciones. En estas condiciones, la madera eliminada a mitad o a dos tercios del turno de corta resulta difícilmente utilizable. La selección clonal se presenta como una buena solución para homogeneizar el producto (Fernández-Moya *et al.* 2019a).

La mayoría de la superficie existente en España corresponde a las plantaciones realizadas entre los años 2004 y 2012. Posteriormente, el número de nuevas plantaciones ha sido

muy inferior, pasando de plantarse unas 400 ha anuales a una estimación, en los últimos cinco años, de entre 100 y 150 ha al año (datos IRTA, encuestados en viveros forestales).

El tipo de material utilizado en estas plantaciones ha ido evolucionando y desde las primeras actuaciones, realizadas exclusivamente con brinzales de *J. nigra* seleccionados en EE.UU, pasando por las progenies francesas, sobre todo la conocida como Ng209×Ra, que representan más del 90% de las plantaciones españolas actuales, hasta la introducción de *J. regia* seleccionado para madera en España y de material clonal de *Juglans* spp. accesible, han transcurrido más de 20 años. En los últimos diez años se han registrado, e incluso protegido, en España un importante número de materiales de base, desde huertos semilleros, progenitores de familia hasta clones, de *Juglans* ×*intermedia* y de *J. regia* que ofrecen la opción de utilizar materiales con una mayor garantía de crecimiento y homogeneidad productiva (Aletà y Vilanova 2012).

Con datos de 24 explotaciones forestales de *Juglans* para producción de madera de más de 10 años de edad existentes en España, y considerando la evolución del crecimiento secundario (diámetro a 1,30 m o diámetro normal), se han elaborado las curvas de crecimiento de la figura VIII.1. En ella, se observa que las plantaciones de *J. regia* se mantienen en el rango inferior respecto de los materiales de híbridos, aunque cabe señalar que los datos corresponden sólo a seis plantaciones, como representación de las pocas que existen con esta especie en España. Pese a ello, la evolución del diámetro normal medio se mantendría en la banda del crecimiento esperado en una calidad II de estación según Cisneros *et al.* (2008). En cambio, en base a la evaluación de 18 plantaciones, el crecimiento de los híbridos (brinzales + clones) se mantiene en la banda superior, de calidad I de estación.

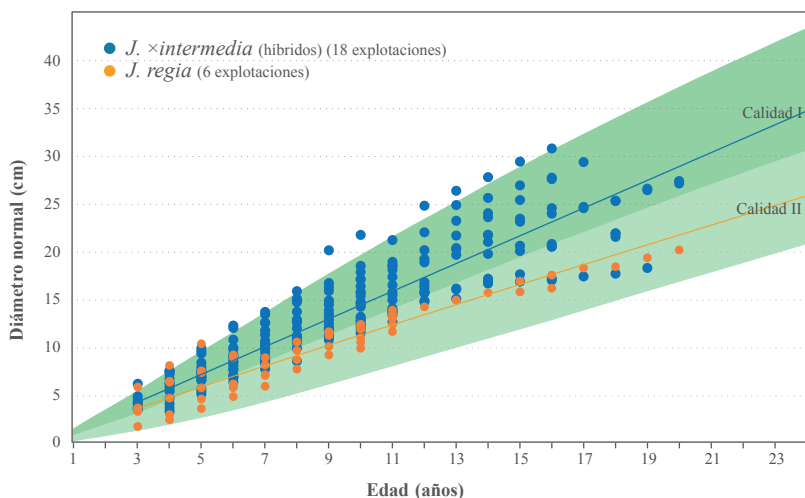


Figura VIII.1. Evolución del diámetro normal medio de 24 plantaciones españolas de nogal para madera (datos del seguimiento regular, en parada vegetativa, desde la plantación hasta la actualidad). Las bandas verdes corresponden al crecimiento en diámetro esperado de *J. regia* en estaciones de calidad I y calidad II según Cisneros *et al.* (2008).

1.3. Limitaciones de las plantaciones de nogal

Los nogales, incluso el nogal común, en muy pocas ocasiones forman parte de plantaciones de enriquecimiento en zonas forestales. Sin embargo, las expectativas de la rentabilidad de la madera de estas especies las convierte en una producción apetecible para la obtención de rentas a medio-largo plazo. Se planta en diseños regulares para lograr una producción lo más homogénea posible que genere una elevada rentabilidad en turnos más cortos que los de la especie en condiciones asilvestradas (Cisneros *et al.* 2008; Vilanova *et al.* 2011).

Disponer de unas buenas condiciones para el desarrollo vegetativo, es decir, una adecuada adaptación al medio, y aplicar una gestión que se ajuste al comportamiento de los materiales plantados son condiciones imprescindibles para la sostenibilidad de este tipo de plantaciones. Pese a que nos reframos a turnos cortos, son de un mínimo de 25-30 años. Como resumen del proyecto europeo WOODnat se aportan una serie de consideraciones de sumo interés para el desarrollo de este tipo de plantaciones (Fernández-Moya *et al.* 2019b).

El fracaso de algunas de estas plantaciones radica en haber pensado más en su potencial rentabilidad que en su real viabilidad, no considerando suficientemente la importancia de la estación ni si el propietario podría cumplir con las exigencias de gestión durante el tiempo necesario.

1.3.1. Requerimientos climáticos y edáficos

A la hora de elegir el material vegetal es muy aconsejable consultar los criterios de uso de cada uno en relación con la climatología, en particular, el encaje del ciclo vegetativo de la especie al período libre de heladas de la zona de plantación. Tanto las heladas de primavera como las primeras del otoño son peligrosas durante el período de formación, ya que afectan a la conformación del fuste. Las de primavera tienen fácil solución si, tras el daño, se elige un nuevo eje pronto, pero las de otoño pueden llegar a ser muy dañinas, estropeando de manera difícilmente reversible la rectitud del árbol (Lestrade *et al.* 2012; Guàrdia *et al.* 2013).

Las limitaciones climáticas también se refieren al período de lluvias y a la humedad ambiental. Si se va a plantar sin riego, hay que asegurar que se dispondrá de más de 800 mm anuales de dotación hídrica y que, si durante el período seco no llueve, se podrá recurrir a aportes puntuales, al menos durante los 6-7 años de formación, y a tantos como las condiciones del año lo justifiquen. Si la explotación dispone de sistema de riego, éste deberá estar bien ajustado a las condiciones de la zona, al terreno y al diseño de la plantación. Se deben seguir las mismas indicaciones que se darían para cualquier especie leñosa frutal, pero considerando que se produce madera en proporción anual creciente y que, aparte de propiciar un buen crecimiento primario en primavera-verano, se debe favorecer el crecimiento secundario que se inicia con la lignificación de verano, ajustando la dotación a este proceso fisiológico. El exceso de dotaciones hídricas verano-otoño dará lugar a plantas frágiles, poco lignificadas, que se enfrentaran peor a los descensos bruscos de temperaturas al no haber entrado correctamente en senescencia (Guàrdia *et al.* 2016).

Las plantaciones realizadas en zonas con exceso de humedad ambiental tendrán problemas de ataques por hongos, muy especialmente de *Gnomonia leptostyla* (antracnosis), que pueden llegar a ocasionar la defoliación de los árboles. Es también una buena medida de prevención no realizar este tipo de plantaciones en zonas cercanas a embalses naturales o para almacenaje del agua de riego, ni elegir progenies híbridas de *J. ×paradox* en esas condiciones por su gran susceptibilidad a la antracnosis.

Los árboles productores de madera de calidad en turnos cortos precisan suelos con un potencial agrícola de medio a alto para su adecuado desarrollo. Para estas plantaciones se deben descartar los suelos marginales, pobres o superficiales. La gestión esmerada, por muy intensiva y continuada en el tiempo que pueda ser, no llegará a suplir los requerimientos de los árboles durante todo su largo ciclo productivo (Becquey 1997).

Bajos niveles de materia orgánica, elevada caliza activa o condiciones de mal drenaje no son admisibles en este tipo de plantación, ni tampoco una mala calidad del agua de riego (salinidad) porque actúan como factores limitantes del vigor de los árboles y crearán necesidades de gestión suplementarias.

1.3.2. Exigencias de gestión

El nogal es una especie forestal por el producto que se explota, pero no puede tratarse como tal con las expectativas productivas con las que se instalan la gran mayoría de estas plantaciones.

Para alcanzar el éxito productivo, estas plantaciones se deben manejar siguiendo criterios de gestión más cercanos a las prácticas agrícolas que a las forestales. Se requiere una buena preparación del terreno antes de plantar, garantizar el soporte hídrico continuado en el tiempo, y aplicar podas de formación al menos hasta los 6-7 años. Posteriormente, la gestión debe focalizarse en mantener un crecimiento sostenido, controlando las afecciones bióticas y abióticas que puedan reducir la calidad de la madera y supliendo correctamente las demandas hídricas y de nutrientes. El principal escollo suele ser mantener una adecuada gestión durante todo el largo ciclo productivo.

Inicialmente, las plantaciones se establecieron sin demasiados conocimientos sobre el crecimiento esperable de los árboles, utilizando marcos entre 25 y 42 m². Con el paso de los años, e incluso bajo una gestión esmerada, se constata que estas densidades no pueden ser las definitivas. Las claras se muestran necesarias en la mayoría de las plantaciones una vez alcanzado la mitad del turno; y a la corta final deben llegar menos de 200 pies ha⁻¹.

La elección de la gestión selvícola para la formación del fuste ha sido el mayor punto de controversia técnica en estas plantaciones y a menudo se ha buscado lograr muy rápido los 7 m de altura de fuste en detrimento de una buena conformación del tronco. A este objetivo va asociada la necesidad del uso de tutores, un elevado gasto que en algunas zonas ha resultado nefasto al dañar irreversiblemente los troncos, el producto que se pretende vender. Se ha tendido a homogeneizar la gestión de la poda de formación de los árboles, sin considerar que no todos los brinzales, aún los del mismo origen genético, tienen la misma conformación ni las mismas capacidades de crecimiento. El gran error ha sido querer homogeneizar la gestión de un material heterogéneo. En cualquier caso, la experiencia demuestra que la formación debe tratar de aprovechar la potencialidad individual, especialmente en repoblaciones con materiales

obtenidos a partir de semillas. En las plantaciones clonales, cuando la selección se ha realizado también por conformación, una gestión específica de cada pie no será estrictamente necesaria. Ahora bien, si en una plantación de nogales se elige aplicar una gestión individualizada de los fustes ésta debe iniciarse precozmente; el árbol ya demuestra sus posibilidades a partir de los cinco años; la planificación sistemática de claras puede abordarse a partir de que se alcance un diámetro normal de 10 cm (figura VIII.2).

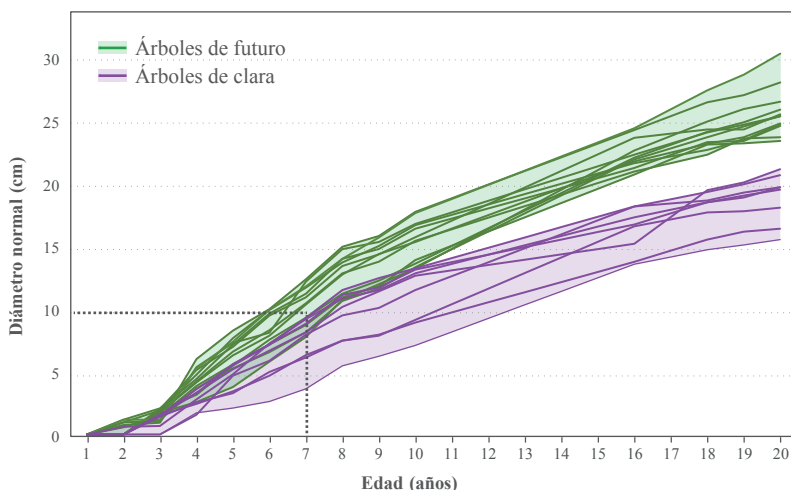


Figura VIII.2. Elección de los árboles de futuro, a partir de la evolución de la jerarquía de cada pie con la edad en una plantación de nogales para madera (fuente: datos de plantaciones controladas por el IRTA).

El largo recorrido de estas plantaciones dificulta la continuidad de una determinada gestión, pero obtener un buen producto al final del turno permite pocos errores en el camino. Una acertada elección precoz de los árboles de futuro permite ejercer un control más riguroso sobre los árboles que están generando el producto real/final de la plantación.

Muchas plantaciones españolas e italianas, plantadas a principios de los años 2000, están mostrando una parada de crecimiento muy ligada a la alta densidad en la plantación y, por lo tanto, están llegando al momento crucial de hacer claras. Esta situación es compleja y las decisiones dependen de las condiciones de cada finca. Muchas de estas plantaciones, realizadas con criterios muy intensivos, no fueron diseñadas para aplicar claras. Las claras son intervenciones caras y delicadas, difíciles de asumir, especialmente por los pequeños propietarios forestales, al no existir mercado de madera de nogal en Europa, y menos si ésta es de pequeño tamaño. En ese sentido, en el marco del proyecto europeo WOODnat, se ha analizado la situación de los bosques plantados de nogal para madera en Italia y España, observándose la amplitud del problema (Pelleri *et al.* 2019). En este contexto, se está tratando de buscar salidas a las pequeñas dimensiones de la madera obtenida de fustes con menos de 20 cm de diámetro normal. Los propietarios de las explotaciones deben ser conscientes que si no se efectúan las claras oportunamente se producirá el envejecimiento de la masa y a los pocos años su capacidad de reacción será nula.

2. Itinerarios productivos posibles en las plantaciones forestales de nogal

Las plantaciones regulares para producción de madera establecidas en España a partir de finales de los años noventa, se hicieron mayoritariamente como plantaciones monoespecíficas; los criterios de intensificación prevalecieron en muchos casos en la toma de decisiones (figura VIII.3). Posteriormente, se empezó a introducir la idea de las plantaciones mixtas, en las que se mezclan especies arbustivas o arbóreas con la especie principal para favorecer su conformación forestal (figura VIII.4); su presencia es todavía testimonial en nuestro país. Vilanova *et al.* (2018) presentan evidencias de la mejora sobre la calidad externa del fuste que supone el intercalar otras especies con los nogales durante los años de formación. Un tercer tipo de plantaciones posible incluye la producción de madera de frondosas en las combinaciones agroforestales, intercalándolas con cultivos agrícolas. Cabe señalar que en muchas de estas plantaciones se ha privilegiado el uso de *Juglans* spp., especialmente en Francia donde la agroforestería empieza a tener un papel relevante en la agricultura productiva (Liagre 2019).



Plantación de progenie híbrida, a los 6 años, en Benavent de Segrià (Lleida).



Plantación clonal de 9 años en El Rourell (Tarragona).

Figura VIII.3. Ejemplos de plantaciones monoespecíficas de *Juglans* (fotos: IRTA).



Figura VIII.4. Plantación mixta de nogal con avellano como especie acompañante a los 12 años (Lleida) (foto: IRTA).

En la tabla VIII.1 se muestran las ventajas e inconvenientes que se derivan de cada tipo de sistema productivo. Como se observa, en el caso de las plantaciones mixtas, las especies acompañantes aportan una mejor conformación final de los fustes, siendo éstos más altos, más rectos, con menos defectos y más estables. Sin embargo, el principal problema radica en el aumento de las necesidades hídricas en estas masas, ya que las especies acompañantes deben estar en perfectas condiciones de crecimiento para que el conjunto surta el efecto deseado. La utilización de especies arbustivas con algún interés económico podría ser una buena solución. Así, algunas plantaciones de este tipo han utilizado con éxito el avellano como especie acompañante (Vilanova *et al.* 2018) (figura VIII.4).

Tabla VIII.1. Comparación productiva entre sistemas aplicables a la producción de madera de nogal (+, ++, +++: de menor a mayor efecto).

Tipo de plantación	Diámetro	Rectitud	Altura del fuste	Defectos (nudos)	Estabilidad biomecánica	Turno de corta
Monoespecífica	++	++	++	++	++	++
Mixta	++	+++	+++	+	+++	++
Agroforestal	+++	+	+	+++	+	+++

Varios autores han publicado estudios sobre las ventajas y los inconvenientes ligados a la realización de plantaciones sólo con nogal, frente a la producción combinada con otros cultivos forestales/agrícolas y agroganaderos (Mohni *et al.* 2009; Vidal y Becquey 2006; Buresti-Lattes y Mori 2016; Dupraz 1999; Coello *et al.* 2018). No existe una clara línea de diferenciación entre las distintas alternativas, y cada productor/agricultor puede plantear su propio itinerario productivo según su conveniencia.

En la tabla VIII.2 se resumen las principales características de los posibles itinerarios productivos existentes en el sur de Europa para la producción de madera de nogal.

En todos los casos, la preparación del terreno antes de plantar será fundamental para favorecer la buena instalación de los árboles. Se realizará con tiempo suficiente, iniciándola al menos el verano-otoño anterior a la plantación. Consistirá en un subsolado cruzado, en la eliminación de los tocones/raíces de los cultivos anteriores, en un abonado de fondo (materia orgánica y mineral) ajustado a los análisis del suelo, y a un gradeo final para esperar a plantar. Los nogales suelen venderse como plantones a raíz desnuda, incluso los producidos *in vitro*, por lo tanto, los cuidados en la plantación son los requeridos para este tipo de plantas. Si se van a utilizar tutores y protectores, es preferible colocarlos en el momento de la plantación.

En las plantaciones monoespecíficas, la gestión juega un papel primordial. Se deben crear condiciones productivas adecuadas, incluso en grandes explotaciones, y procurar realizar cualquiera de las intervenciones en su momento y con el esmero necesario. Un buen

manejo y planificación de la poda de formación, del aporte hídrico y nutricional y de las claras son cruciales para el éxito de estas plantaciones. La gestión ineficiente del vigor de estos árboles deriva en fracasos que han llevado, incluso, al abandono de plantaciones.

Los diseños agroforestales favorecen el vigor de los árboles al beneficiarse muy directamente de la gestión del cultivo intercalar. Como consecuencia se produce un crecimiento en diámetro muy rápido. Sin embargo, este plus de vigor inducido suele dificultar la formación de los árboles con el aumento de las superficies de corte en las podas. Las intervenciones de formación deben ser muy específicas y oportunas. Según la estación y el tipo de cultivo intercalar se efectuarán 1 o 2 veces al año, o incluso, 3 o más si es necesario, ya que son imprescindibles si se quiere aprovechar la madera de estas explotaciones.

El itinerario productivo se elegirá en función de las características de la parcela, su extensión y potencialidad agrícola, las disponibilidades hídricas y, especialmente, la capacidad de gestión de la empresa/propietario.

Las densidades de plantación variarán en función del tipo de plantación, desde prácticamente definitivas, 100 árboles ha⁻¹ en agroforestería o acompañamiento arbóreo, hasta 400 pies ha⁻¹ en los casos de mayor intensificación en las plantaciones monoespecíficas o con acompañamiento arbustivo.

Para *Juglans* spp., se describen como especies arbustivas acompañantes adecuadas a *Corylus avellana*, *Elaeagnus umbellata*, *Sambucus nigra*, y a *Alnus* spp. o *Fraxinus* spp. como árboles, entre otros (Vilanova *et al.* 2018; Fernandez-Moya *et al.* 2019b). La elección se hará en función de las características climáticas y edáficas de la finca y se considerará indispensable que las especies acompañantes se adapten bien a la zona; un buen indicador es que estén presentes como especies silvestres, de manera que no se deba aplicar una gestión específica dirigida a favorecer su crecimiento.

La utilización de tutores/tensores y protectores se evaluará en cada estación. Si la zona es ventosa puede estar justificado su uso durante la formación del fuste, pero deberán evitarse o incluso retirarse si dañan los troncos. Una poda de formación equilibrada suele permitir que su uso sólo sea para casos individualizados. La utilización de protectores estará directamente ligada a la problemática que genera la fauna de la zona; en cualquier caso, deben ser ventilados y retirarse antes de que el tronco ocupe todo el espacio para evitar daños de la corteza capaces de inutilizar parte del fuste o, incluso, de matar al árbol.

La poda de formación ha de controlar el vigor en interés del fuste del árbol, favoreciendo el eje y eliminando las ramas para ir distribuyendo la intensidad de ramificación a lo largo del tronco, siempre cortando primero las más vigorosas y erectas. Existen diferentes recomendaciones, desde una poda dinámica hasta una poda sistemática (Lefèvre y Carmeille 2005; Cisneros *et al.* 2008). En todos los casos el objetivo es controlar el vigor. La poda de verano es uno de los recursos más utilizados, pero sin olvidar que una adecuada gestión hídrica y de nutrientes también facilita el control del crecimiento.

Tabla VIII.2. Características de distintos sistemas productivos para obtener madera de nogal.

	Mixtas		Agroforestal		
	Monoespecíficas	Con especies acompañantes	Policultica	Agrícola	Silvopastoral
Descripción	Nogales para producción exclusiva de madera	Nogales con árboles/arbustos acompañantes bien adaptados a la zona	Nogales y especies forestales con diferente turno de corta	Plantación de nogales y cultivos agrícolas intercalares	Plantación de nogales y pasto para alimentar ganado
Objetivo productivo	Madera de nogal	Madera de nogal y frutos o madera de otra especie	Madera de nogal y otros para industria y/o bioenergía	Madera de nogal y plantas agrícolas de corta duración	Madera de nogal y producción ganadera
Ventajas	Gestión concentrada únicamente en el nogal	Mejora del crecimiento y la calidad del fuste. Mayor biodiversidad	Obtención de rentas anticipadas a la corta del nogal. Mejora de crecimiento/ calidad del fuste. Mayor biodiversidad	Obtención de rentas anticipadas, anuales, a la corta del nogal	Obtención de rentas anuales anticipadas a la corta del nogal
Inconvenientes	Costes altos de gestión y dificultades para conseguir fustes rectos y con pocas nudosidades	Riesgo de competencia por nutrientes y agua. Potencial merma en desarrollo del nogal	Complejidad de gestión. Riesgo de competencia por nutrientes y agua. Potencial merma en desarrollo del nogal	Riesgo de competencia por nutrientes y agua. Dificultades para conseguir fustes rectos y con pocas nudosidades	Dificultades para conseguir fustes rectos y con pocas nudosidades. Potenciales daños del ganado sobre el fuste
Elección estación	Recursos hídricos suficientes y calidad de suelo medio-alto	Recursos hídricos suficientes para toda la masa y calidad alta de suelo.	Recursos hídricos y de calidad de suelo muy altos	Recursos hídricos y de suelo medio-altos	Recursos hídricos y de suelo de tipo medio

	Monoespecíficas		Mixtas		Agroforestal	
	Con especies acompañantes		Policiclística		Agrícola	
Elección especies	Elegir bien el material de partida. Adaptado al medio		Mayoritariamente arbóreas con un crecimiento igual o superior al del nogal		Frecuentemente herbáceas de tipo extensivo/aromáticas	
Densidad del nogal	200-400 plantas ha ⁻¹	200-400 plantas ha ⁻¹	50-150 plantas ha ⁻¹	50-200 plantas ha ⁻¹	100-150 plantas ha ⁻¹	
Densidad otras especies arbóreas/arbustivas		400-800 plantas ha ⁻¹	Muy variable. Altas densidades si hay cultivos de corta rotación			
Control vegetación competitiva	Muy necesario. Medios culturales y/o químicos	Necesario. Medios culturales y/o químicos	Necesario. Medios culturales y/o químicos	Sólo necesario en la proximidad al árbol. Medios culturales/raramente químicos	Necesario en los primeros estadios de la plantación	
Uso de tutores	Muy aconsejable	Innecesarios	Innecesarios	Muy aconsejable	Muy aconsejable	
Poda de guiado y formación	Imprescindible hasta los 6-8 años. Anual, en verano	Necesaria hasta los 4-6 años. Anual, en verano	Necesaria hasta los 4-6 años. Anual, en verano	Muy necesaria hasta los 6-8 años. Anual, en invierno y verano	Muy necesaria hasta los 6-8 años. Anual, en invierno y verano	
Poda tecnológica o limpieza del fuste	Muy necesaria hasta los 7-12 años. Anual, en invierno y verano	Necesaria hasta los 4-6 años. Después, puntual. Anual, en verano	Necesaria hasta los 4-6 años. Después, puntual. Anual, en verano	Muy necesaria hasta los 7-12 años. Anual, en invierno y verano	Muy necesaria hasta los 7-12 años. Anual, en invierno y verano	
Turnos de corta del nogal	Entre 20-40 años	Entre 25-45 años	Entre 25-45 años y las otras especies entre 5 y 15 años	Entre 20-30 años	Entre 20-30 años	

3. La producción de madera

3.1. Características de la madera que se produce en estas plantaciones

La madera de cualquier especie tiene una componente genética relativamente constante, pero también otra mucho más variable, la ambiental (Zobel y Talbert 1994). En estas nuevas plantaciones se aplica una selvicultura depurada (podas, tratamientos, riego, fertilización, etc.) sobre material vegetal seleccionado para acortar turnos. En cambio, la madera de los nogales silvestres se obtiene en condiciones sujetas exclusivamente a la variabilidad ambiental natural, en ciclos de producción largos, en prácticamente ausencia de gestión (Beckey 1997). Como en otras especies “domesticadas” del monte para su plantación, existen diferencias en el producto obtenido, tanto en la morfología del tronco como en propiedades físicas de la madera.

Esta comparación entre la madera de nogal de plantación y la procedente de ejemplares en condiciones silvestres resulta reveladora, si bien los análisis disponibles son de un número reducido de muestras y de estaciones/explotaciones no siempre comparables. Tres aspectos deberían considerarse en este tipo de valoraciones: i) la forma y dimensiones del fuste, y del resto del árbol; ii) el aspecto visual o apariencia de la madera obtenida, y iii) el comportamiento físico-mecánico de ésta.

En una plantación forestal parecería evidente que se mejora la rectitud, la presencia de nudos y la longitud del fuste. Sin embargo, en las plantaciones más antiguas, algunos trabajos de caracterización cualitativa muestran resultados poco positivos (Barreca *et al.* 2010). Así, en un estudio sobre 59 plantaciones de distintas frondosas nobles en Italia (alrededor de 100000 pies) se apunta a que algo más del 47% de la madera en pie no podrá destinarse a usos nobles debido a la presencia reiterada de defectos (Calvo 2011). En la misma línea, en un trabajo sobre 1500 árboles de 15 plantaciones en el mismo país, se concluyó que sólo el 8% de los fustes podrían clasificarse dentro de una categoría de máxima calidad (Nosenzo *et al.* 2011). De manera similar, estos resultados se presentan en estudios realizados en España (Vilanova *et al.* 2011) y se constata al visitar algunas de las plantaciones más antiguas en nuestro país. En todos los casos, el diagnóstico es el mismo: la elección de la estación y la gestión aplicada no se planificaron adecuadamente. Esta situación ha ido enfriando el mercado y el ritmo de plantación ha descendido de manera visible en los últimos 5 años.

No obstante, en los últimos 10 años los productores parecen haber adquirido consciencia de la situación, y se puede afirmar que las nuevas plantaciones presentan mejores características cualitativas, resultado de mejorar los criterios de selección de la estación, de disponer de materiales vegetales mejorados (incluyendo clones) y, especialmente, como consecuencia de aplicar una selvicultura de podas y/o tutorado más acorde con la propia especie y los objetivos productivos (ver, a continuación, algunos casos prácticos).

En cuanto a su aspecto, la madera procedente de plantación es de color más claro que la de nogales silvestres, debido a una mayor proporción de la albura respecto del duramen y a una superior anchura de los anillos de crecimiento. Este hecho, común a las especies más utilizadas en las plantaciones españolas (nogal autóctono e híbrido), es fundamental a la hora de definir esta madera. En el estudio de Merlo *et al.* (2009), con progenies híbridas de Mj209×Ra, se obtiene que la tonalidad de la madera depende en parte del genotipo, pero se ve especialmente afectada por las condiciones de la estación.

Se ha insistido en que el objetivo es obtener madera con el menor número y tamaño de nudos posible, pero la realidad indica que sólo en unas pocas plantaciones se logra. Los resultados negativos se deben a la realización de podas a destiempo o con demasiada intensidad o, también, al abandono de la gestión que suele conducir a una aparición descontrolada de brotes epicórmicos (figura VIII.5). El estudio de estos defectos se ha efectuado sobre todo en madera de claras, siendo muy característica la tonalidad grisácea oscura del nudo, que contrasta con la madera blanquecina que le rodea. A menudo, esta coloración sigue un patrón de distribución más allá de la periferia del propio nudo, pero bien tratado puede convertirse en un atractivo (figura VIII.6). En este contexto, se han iniciado algunos trabajos sobre el efecto de la época de poda de las ramas y la influencia del proceso de secado de las tablas aserradas en la coloración general de la madera (Nocetti *et al.* 2011).



Brotos epicórmicos convertidos en poderosos chupones, aparecidos por una ineficiente gestión. La copa es pequeña y hay un exceso de iluminación. Plantación de 14 años, en Lleida (foto: IRTA).



Respuesta a una poda de formación excesiva. Plantación de 16 años, en Huesca (foto: A Vilanova).

Figura VIII.5. Ejemplos de respuestas no deseadas debido a podas inadecuadas.

Finalmente, todavía más escasos son los conocimientos sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera obtenida en plantaciones. Algunos de los estudios citados, y en trabajos realizados en el marco de proyectos de investigación, se apunta que parámetros como la densidad y la dureza de la madera son superiores en los nogales híbridos respecto de los registrados bibliográficamente para el nogal autóctono de origen “silvestre”. Por el contrario, se obtendrían valores menos convenientes en relación con parámetros como la contracción volumétrica o el balance hinchazón-merma, relacionados con la estabilidad de la madera frente a cambios de humedad y temperatura. Se considera, sin embargo, que es preciso recabar mayor información al respecto y, así, poder establecer las características reales que puede aportar una madera de nogal producida en plantación.



Trozas resultado de las primeras claras
(foto: Bosques Naturales).



Madera de claras sin transformar
(foto: A Vilanova).



Uso de la madera de claras para parquet
(foto: Bosques Naturales-Woodna).



Propuesta de uso de madera de pequeño diámetro -
Diseño de Woodna (foto: Bosques Naturales-Woodna).

Figura VIII.6. Madera sin transformar y algunos posibles destinos.

3.2. Usos potenciales de la madera de nogal y comercialización

Se citan múltiples usos y aplicaciones para la madera de nogal principalmente en el ámbito de pequeñas piezas de artesanía (instrumentos musicales, tornería, culatas de armas de fuego), la ebanistería de lujo (piezas únicas y singulares) y en el ámbito del mueble y revestimientos (chapas y madera maciza). Los nogales silvestres son árboles que individualmente pueden presentar singularidades de forma y tamaño, y en los que tanto raíces, fuste y ramas pueden aprovecharse. Por el contrario, la madera de plantación, por sus características más homogéneas, probablemente tiene cabida en un contexto menos artesanal y más industrial, principalmente en los sectores del mueble, complementos, revestimientos y suelos. En realidad, es aún una incógnita debido a la baja o casi inexistente movilización que se ha hecho de esta madera.

Las escasas experiencias que se tienen en la corta y venta de nogales procedentes de plantación surgen de países como Italia y Francia, en donde se inició antes la andadura en esta actividad. En España, la edad actual de las plantaciones obliga a que se tenga que hablar, aún, en términos de potencial de comercialización, ya que se estima un inicio de las cortas entre el año 2020 y el 2030, y muchas cortas finales entre los años 2030 y 2040 (Aletà y Vilanova 2014).

En el contexto mercantil europeo de la madera, el sector del mueble es una importante diana para la madera de nogal. Este mercado en alza hasta 2007 se desplomó con la crisis de 2008-

2009 y 14 años después aún no se ha recuperado. Los últimos datos, en 2018-2019, hablan de un estancamiento en las transacciones de las maderas de frondosas (EOS 2019).

Actualmente, en Europa, se constata que la madera de nogal de plantación es completamente desconocida. En foros como Fordaq.com, una red internacional de negocios con productos de la madera, no está considerada. “Madera de nogal” es prácticamente sinónimo de nogal negro (*J. nigra*), procedente tanto de EE.UU como de algunos países bálticos, caracterizada por una calidad definida en estándares y un claro reconocimiento por parte de los prescriptores. La madera de nogal autóctono o europeo (*J. regia*) queda relegada a usos minoritarios, si bien de mayor valor, como la conocida chapa, o presentada en *slabs* o *boules* para tapas de mesa y encimeras, pero con una oferta muy puntual de árboles enormemente heterogéneos en forma y defectos. Esta situación podría verse como una ventaja para la madera de nogal de plantación que, al igual que el nogal negro, gozaría ahora de una silvicultura capaz de homogeneizar el producto (básicamente el fuste del árbol). En todo caso, para ocupar este nicho de mercado y abrirse también a exportaciones fuera del espacio europeo, quedaría pendiente resolver aspectos de difusión comercial, estandarización, disponer de lotes de producción de mayor volumen y desarrollar tecnologías apropiadas, como mínimo, de primera transformación y secado.

En el capítulo de la estandarización para la clasificación de la madera, se han realizado ya algunos pasos encaminados a facilitar el trabajo de los diferentes actores. La intención es que el productor sepa hacia donde orientar la silvicultura, el intermediario valore de manera óptima y más transparente la madera en pie, y el industrial conozca las bonanzas y limitaciones del material que adquiere para su transformación. Con esta idea, en el marco del proyecto europeo WOODnat, se han definido unas primeras reglas de clasificación (tabla VIII.3). Estos avances, facilitarán la concentración de madera en lotes homogéneos y permitirán reunir producciones de distintos orígenes, de manera que el tamaño de las explotaciones no condicione la viabilidad de la comercialización.

Tabla VIII.3. Destino de los troncos de nogal (*Juglans* spp.) en función de su diámetro (basado en el entregable 4.1 del proyecto WOODnat).

Diámetro del tronco (cm)	Características	Tecnología de procesado	Destino
> 35	100% duramen o mezcla albura/duramen	Corte a la plana	Chapa fina natural para usos decorativos
30 – 35	100% albura		Chapa fina teñida para usos decorativos
18 – 30	Albura o duramen	Aserrado	Chapa gruesa natural o tabla aserrada para muebles, suelos y panelados
< 18	Albura o duramen		Sin uso industrial

Finalmente cabe hacer una reseña sobre el precio de la madera, siendo probablemente una de las primeras cuestiones formuladas antes de plantar. Los precios varían en función de la calidad y dimensiones de la madera y del encaje en las diferentes normas clasificatorias. Pero si estas no están bien definidas, el precio queda a expensas de demandas específicas de las empresas. Algunos individuos singulares dedicados a carpintería artesanal de lujo pueden alcanzar

precios exorbitantes; sin embargo, en las plantaciones no se genera este tipo de árboles y, actualmente, se barajan, como valores medios para la madera en pie con diámetros normales superiores a 40 cm, unos precios de 500-600 euros m⁻³ en calidades A-B (definidas para otras frondosas) (Wiedenbeck *et al.* 2003). Por ello, es necesario planificar bien la gestión necesaria en cada caso para contener/adequar los costes de producción a la realidad del mercado.

4. Plantaciones ejemplo

Se presentan tres plantaciones ejemplo (figura VIII.7, tabla VIII.4) para tratar de cubrir la realidad actual de la producción de madera de nogal en plantación en España.

- Plantación 1. Corresponde a un ensayo productivo del IRTA que forma parte de una red de ensayos, con el mismo diseño, localizados en el norte peninsular. Se ha elegido como representativa de una plantación de *J. regia*. Tiene 12 años.
- Plantación 2. Representa a las plantaciones de pequeña superficie realizadas con la progenie híbrida Mj209×Ra (llamada también Ng209×Ra), muy comunes en toda España. Tiene 12 años.
- Plantación 3. Muestra una plantación de gran superficie, una explotación gestionada por una empresa del sector forestal. Tiene 16 años y está plantada con un clon seleccionado y multiplicado *in vitro* a partir de la progenie comercial Mj209×Ra.



Plantación 1: parcela de *J. regia* de Caldes de Montbui (Barcelona) (foto: IRTA).



Plantación 2: parcela de Ng209×Ra en l'Alforja (Tarragona) (foto: IRTA).



Plantación 3: plantación clonal en A Mota (A Coruña) (foto: Bosques Naturales).

Figura VIII.7. Vistas de las tres plantaciones descritas.

Tabla VIII.4. Localización geográfica, caracterización ecológica y resumen de la gestión silvícola de las tres plantaciones evaluadas.

	Plantación 1 Torre Marimón	Plantación 2 Les Tallades	Plantación 3 A Mota
Término municipal y provincia	Caldes de Montbui (Barcelona)	L'Alforja (Tarragona)	A Mota (A Coruña)
Coordenadas Lat./Long.	2,165401/41,614893	0,988943/41,024413	-8,196697/42,980271
Altitud (m)	203	350	435
Región de identificación y utilización ⁽¹⁾	9	11	1
Año de plantación	2008	2008	2004
Superficie (ha)	0,6	2,1	47
Marco (m)	5 × 5	7 × 7	5 × 6
Precipitación anual (mm)	630	587	1400
Precipitación estival (junio+julio+agosto) (mm)	141	111	162
Temperatura media anual (°C)	15,5	14,3	12
Continentalidad (°C) ⁽²⁾	15	16	11
Número días sin heladas	359	365	265
pH ⁽³⁾	8	8,1	5,5
Caliza activa (%) ⁽³⁾	< 3	1,56	
Materia orgánica oxidable (%) ⁽³⁾	1,62	1,32	7,8
Profundidad suelo (m) ⁽³⁾	< 1	< 1	0,9
Textura ⁽³⁾	Franco-arcillosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Material vegetal	Progenies de <i>J. regia</i> e híbridas	Progenie <i>J. ×intermedia</i> Ng209×Ra	<i>J. ×intermedia</i> clon Nat 7 BN
Riego	1 jun a 15 sept. 550 m ³ ha ⁻¹ (dosis actual)	1 jun a 15 sept. 600 m ³ ha ⁻¹ (dosis actual)	Puntual, en periodos de sequía excepcionales
Fertilización	De fondo y a los 8 años 21 t ha ⁻¹ de materia orgánica	27 m ³ ha ⁻¹ de purines 2018 y 2019; anteriormente nada	Anual mineral NPK; enmienda cálcica cada dos años
Uso de tutores	De madera. Altura efectiva: 2,5 m	De madera. Altura efectiva: 2,5 m	De bambú. Altura efectiva: 2 m
Tipo de poda ⁴	Dinámica	Dinámica	Dinámica
Control competencia herbácea	Desbrozado (2-3 veces año)	Laboreo entre calles y herbicida en línea	Primeros años laboreo y herbicida. A partir de los 8-10 control con pastoreo ovino

⁽¹⁾ Según García del Barrio *et al.* (2001).

⁽²⁾ Diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la temperatura media del mes más frío.

⁽³⁾ Análisis del suelo realizado al inicio de la plantación.

⁽⁴⁾ Metodología de poda descrita por Lefèvre y Carneille (2005).

4.1. Plantación 1. IRTA Torre Marimon (Barcelona)

Tipo de plantación. Material vegetal

La plantación ocupa una superficie de 6100 m² y es un ensayo de progenies de *Juglans regia* y de híbridos comerciales establecido en el marco de un proyecto INIA para evaluar el comportamiento adaptativo y productivo de estos materiales. Forma parte de una red de ensayos genotipo × ambiente distribuida en distintas localidades del norte peninsular español. Está localizada en Caldes de Montbui (Barcelona). Los materiales evaluados son las progenies de los progenitores de familia de *J. regia* seleccionados por el IRTA y registrados en el Catálogo Nacional de Materiales de Base como material cualificado: IRTA-MB1, IRTA-MB2, una progenie de *J. regia* conocida (MBT-218) y las progenies híbridas comerciales Ng209×Ra y Ng23×Ra como testigos.

Cultivo anterior. Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

Con anterioridad a la plantación, la finca estaba dedicada al cultivo de herbáceas anuales. Se realizó un subsolado cruzado del terreno, se aplicó el abonado de fondo (materia orgánica, P y K), y se pasó una grada de discos. Para plantar se abrieron surcos con un arado y se distribuyeron las plantas.

Plantación ejecución y diseño

La plantación se realizó en febrero 2008 a un marco de 5 × 5 m. Las plantas eran plantones de una savia a raíz desnuda producidas en los viveros de Forestal Catalana SA, a partir de las semillas recogidas en los progenitores de familia correspondientes del IRTA, ubicados éstos en Mas Bové (Constantí, Tarragona). En el momento de la plantación, las plantas de las progenies híbridas tenían una altura media de 50 cm y las de *J. regia* de 30 cm.

Gestión y mantenimiento de la plantación

En el momento de la plantación se instalaron tutores de madera de 2,5 m de altura visible a una distancia de unos 10 cm del árbol, cara al viento dominante, y se mantuvieron hasta los 5 años. El sistema de riego por goteo se instaló con el propósito de efectuar riegos de soporte durante la época estival (1 de junio a 15 de septiembre). La aportación actual por campaña ha sido, en promedio, de unos 550 m³ ha⁻¹.

El control de la competencia herbácea de las calles ha sido mecánico, mediante una picadora arrastrada por un tractor y utilizando una desbrozadora para limpiar entre las líneas.

La fertilización de la parcela ha consistido en el aporte de 20 t ha⁻¹ de materia orgánica al inicio de la plantación como abonado de fondo; a los 8 años se realizó un nuevo aporte en las calles, de unas 10 t ha⁻¹, que se repitió cada dos años. A partir de los 10 años, se siembra en invierno una mezcla de gramíneas, leguminosas y crucíferas de ciclo largo que se incorpora a finales de primavera como abonado en verde. Las características del suelo, con una textura franco-arcillosa y un bajo nivel de materia orgánica, aconsejan seguir manteniendo este ritmo de aportes orgánicos.

La poda en la plantación se efectúa anualmente a partir del segundo año de plantación. Hasta los 5 años, la poda consistió en una poda de formación exclusiva de verano. Posteriormente, cada verano se aplica poda de limpieza del fuste y de recuperación de la guía; en invierno se continúa subiendo el fuste.

No suele ser necesario efectuar tratamientos fitosanitarios; no obstante, desde el tercer año de plantación se aplica un tratamiento a base de cobre a la caída de las hojas. En contados árboles han aparecido pequeñas exudaciones en el tronco, por encima de 1 m de altura, a finales del verano y que corresponden a la presencia de *Brenneria nigrifluens*, bacteria marcadora de síntomas de estrés. Aplicaciones directas de cobre en esta misma época resultan efectivas y en ningún caso se han detectado afecciones recurrentes e interferencias con el ritmo de crecimiento.

Descripción y evolución de la plantación

La evolución de la plantación es buena, como se aprecia en la figura VIII.8. Los crecimientos en diámetro son los esperados, con un diámetro normal medio a los 12 años superior a 1,2 cm año⁻¹. Se ha observado una ligera ralentización del crecimiento en los últimos 3 años, que se atribuye a un déficit en la aportación hídrica, que se ha mantenido constante desde los 8 años, ya que, de momento, no se produce la tangencia de copas. En 2021 se subsanará el problema doblando las líneas de aportación de agua.

La media del diámetro normal, tanto de las progenies híbridas como de las de *J. regia* presenta su valor absoluto en 13 cm a los 11 años, lo que indica que, en las condiciones de esta plantación, la tasa de crecimiento de *J. regia* es equiparable a la de los híbridos. La altura de los fustes limpios se sitúa por encima de los 5 m.

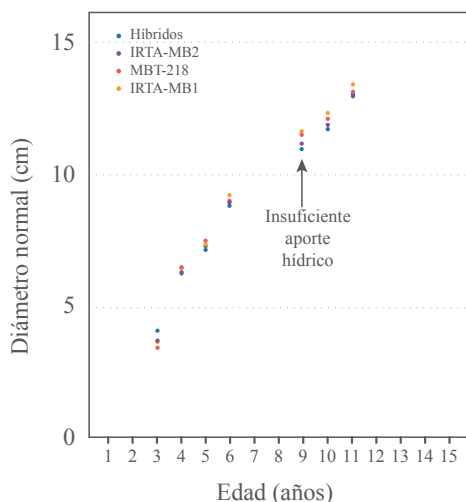


Figura VIII.8. Evolución de los crecimientos en diámetro en la plantación de Torre Marimón (fuente: IRTA).

Debilidades y fortalezas de la plantación

Esta plantación es un ensayo, pero se decidió incluirla en este caso práctico por el interés que presentan las nuevas plantaciones de nogal para madera de *J. regia*, y, además, por no disponer de un ejemplo de plantación productora con edad suficiente y adecuadamente controlada.

Los resultados de esta plantación son claros: el comportamiento (crecimiento) de los materiales seleccionados de *J. regia* es similar al de las progenies híbridas. La calidad visual de la madera (rectitud del fuste y nudosidades visibles) de los materiales de *J. regia* muestra también una ventaja importante (figura VIII.9): se observa que en una plantación bien gestionada las nudosidades del tronco se reabsorben sin problemas. Se estima un turno de corta de unos 30 años para alcanzar los 40 cm de diámetro normal medio (según curva de calidad II de estación de Cisneros *et al.* (2008). La debilidad de esta plantación ha sido no adecuar la aportación hídrica a las necesidades que requieren estos materiales a medida que ha aumentado su tamaño de copa.

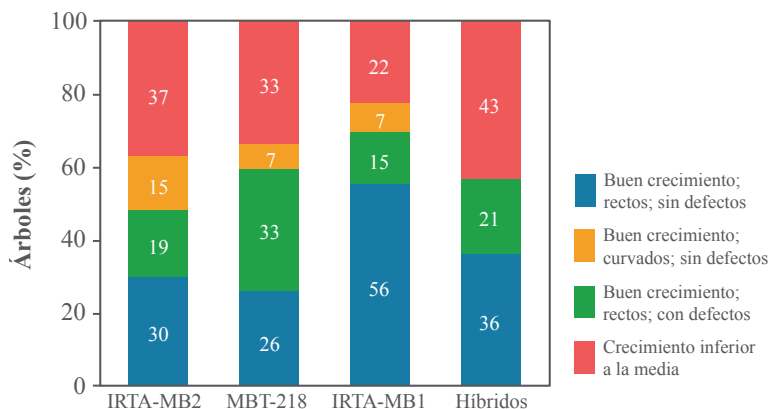


Figura VIII.9. Evaluación de las características visuales de los fustes: rectitud y nudosidades a los 11 años (fuente: IRTA).

4.2. Plantación 2. Les Tallades l'Alforja (Tarragona)

Tipo de plantación. Material vegetal

La plantación ocupa una superficie de 2,1 ha y es monoespecífica de la progenie híbrida Ng209×Ra, procedente de material de reproducción de la categoría cualificada, propiedad de un vivero comercial. Está localizada en una zona agrícola de la comarca del Baix Camp rodeada de olivos y avellanos.

Cultivo anterior. Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

Con anterioridad a la plantación, la finca estaba ocupada por avellanos decrepitos, sin gestionar durante más de 10 años. La preparación del terreno consistió en arrancar todos los arbustos, efectuar un subsolado cruzado a 80 cm de profundidad que permitió que

aflojaran tocones y restos de raíces que se eliminaron, seguido de un volteado con arado. Finalmente se efectuó ahoyado mecánico y se plantó a finales de invierno.

Plantación ejecución y diseño

La plantación se realiza por iniciativa de un particular y está establecida en terrenos de su propiedad en la finca Les Tallades de l'Alforja. Se plantó en 2008 a un marco de plantación de 7×7 m. Los plantones utilizados, de una savia a raíz desnuda, eran de plantas procedentes de semillas de un campo de progenitores de familia registrado, propiedad de un vivero español. En el momento de la plantación, las progenies híbridas tenían una altura media de 50 cm y un sistema radical muy bien desarrollado.

Gestión y mantenimiento de la plantación

En el momento de la plantación se colocaron tutores de madera de 2,5 m de altura visible y se mantuvieron durante 2 años. La plantación dispuso de un sistema de riego por goteo desde el primer momento, para disponer de agua de soporte durante la campaña estival (1 de junio a 15 de septiembre). La disponibilidad de agua es limitada; se están aportando actualmente unos $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

El control de la competencia herbácea se realiza labrando regularmente entre las calles y aplicando herbicida entre las líneas de los árboles.

No se ha aportado ningún tipo de fertilización a la plantación hasta 2018, año en el que se ha considerado que los árboles ya están bien asentados. Se aplicaron unos $27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de purines de cerdo en las calles, dosis que se repitió en 2019 y que se tiene intención de mantener.

Se aplicaron podas anuales de formación hasta los 5 años, especialmente en verano. A los 5 y 8 años se realizaron podas dirigidas a obtener una altura de fuste de 4 m de media. La poda que se aplica es dinámica y la subida del fuste se realiza lentamente con intervenciones en invierno muy individualizadas.

Se aplica un tratamiento fitosanitario anual a base de cobre desde el tercer año de plantación a la caída de las hojas. En algunos árboles heridos por maquinaria agrícola han aparecido exudaciones en el tronco, que suelen corresponder a *Brenneria nigrifluens*, una bacteria marcadora de síntomas de estrés. Aplicaciones directas de cobre en la zona controlan la expansión del problema, pero los daños en el fuste causados por los aperos pueden ser irreparables (figura VIII.10).

Descripción y evolución de la plantación

La plantación sigue un ritmo de crecimiento adecuado, tal y como puede observarse en la figura VIII.11. Su incremento medio en diámetro normal se sitúa en $1,3 \text{ cm año}^{-1}$. Actualmente su diámetro normal absoluto es de 15,7 cm a los 12 años. La estación donde está situada la finca es de buena calidad y los crecimientos obtenidos son adecuados a estas condiciones. Dadas las condiciones climáticas de la zona, sería aconsejable incrementar el aporte hídrico en los próximos años.



Figura VIII.10. Resecado y agrietado de la corteza resultado de la no cicatrización de daños físicos en el fuste (foto: IRTA).

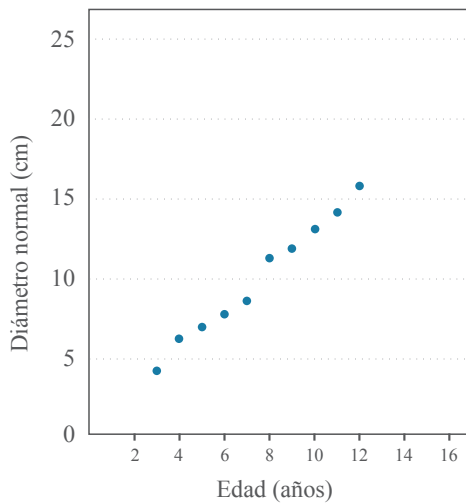


Figura VIII.11. Evolución de los crecimientos en diámetro de la progenie híbrida (Ng209xRa) en la plantación de l'Alforja (Tarragona) (fuente: IRTA).

Debilidades y fortalezas de la plantación

Con este ejemplo queda demostrado que el resultado de una plantación de nogal para madera, ejecutada por un particular, puede ser bueno si se utilizan materiales apropiados, se elige bien la estación y se efectúan las intervenciones mínimas que requiere este cultivo.

En esta plantación, la gestión es adecuada a las condiciones de la parcela, el suelo es de buena calidad, sin factores limitantes conocidos para el nogal, lo que ha permitido

lograr buenos crecimientos con pocos aportes minerales. La poda dinámica se aplica con racionalidad y se sigue el criterio de la individualización de los árboles para sacar el máximo provecho de cada uno.

Quizás se podría considerar como debilidad que el fuste objetivo se sitúa en los 4 m de media, acorde con las posibilidades de la maquinaria disponible, pero con los crecimientos y las buenas cicatrizaciones que se observan, el turno tecnológico se posicionará entre los 25 y los 30 años con diámetros esperable de 40 cm en más de la mitad de los ejemplares.

4.3. Plantación 3. A Mota (A Coruña)

Tipo de plantación. Material vegetal

La plantación ocupa 47 ha y se estableció en 2004 integrada en un proyecto forestal que abarca aproximadamente 300 ha, en las que se incluyen otras masas plantadas con cerezo y eucalipto, así como rodales de nogal plantados posteriormente. El titular de la plantación es la empresa Bosques Naturales S.A.

El material utilizado es el clon NAT 7 BN procedente de una selección de la progenie híbrida Ng209×Ra registrada que se ha multiplicado por micropropagación *in vitro*.

Cultivo anterior. Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

Antes de la plantación, la finca estaba dedicada al aprovechamiento ganadero de los prados (vacas de leche). Se realizó un subsolado lineal, un abonado de fondo ligado al análisis del suelo (es un suelo particularmente ácido) y un ahoyado con retroexcavadora.

Plantación ejecución y diseño

La plantación se estableció en 2004 con un marco de plantación de 5 × 6 m. La planta tenía dos savias (1+1). El plantón fue en un 80% de maceta por lo que se plantó con el cepellón; el 20% restante estaba a raíz desnuda. En el momento de la plantación, las progenies híbridas tenían una altura media de 80 cm.

Gestión y mantenimiento de la plantación

La plantación incluyó el uso de tutores de bambú de 2 m que se mantuvieron durante los dos primeros años. La plantación tuvo desde el inicio instalado un sistema de riego por goteo para aportar agua de apoyo en momentos puntuales. La pluviometría anual de la zona ha sido bastante estable desde el año de la plantación (unos 1400 mm año⁻¹), y los riegos se han ido realizando sólo de forma esporádica.

El control de las malezas es considerado una de las actividades fundamentales para el éxito de la plantación, sobre todo en los primeros 2-3 años. Éste se realizó mediante laboreo y/o siega en las calles de plantación y aplicando herbicidas en la línea de plantación. Una vez que los árboles estuvieron bien establecidos en campo, las actividades de desbroce se sustituyeron por el pastoreo ovino en la mayoría de las zonas de la plantación.

El régimen de fertilización y enmiendas aplicado consiste en una aplicación anual en cobertera de un fertilizante compuesto N-P-K (15-15-15 o 9-18-27) en torno a los 150-200 kg ha⁻¹ y una enmienda cálcica (con cal o dolomita) de 1000 kg ha⁻¹ cada dos años. Este programa de fertilización viene determinado por las características particulares del suelo de la finca y por los planteamientos técnicos en los que se basó inicialmente; no obstante, en estos momentos, la reacción de los árboles indica que quizás no sea necesario un régimen de fertilización tan intensivo.

Las podas se han realizado anualmente desde el establecimiento de la plantación (control de chupones) hasta aproximadamente el año 11, aunque la mayor intensidad en la poda se realiza durante los años de conformación del fuste, entre los 3 y 8 aproximadamente, siendo particularmente intenso entre los 3 y los 5 años.

Los tratamientos fitosanitarios sólo se han aplicado puntualmente para combatir la antracnosis utilizando productos específicos para este hongo.

Descripción y evolución de la plantación

La plantación presenta una buena evolución coincidiendo con el crecimiento en diámetro esperado para un bosque de nogal en un sitio clasificado como calidad I según los modelos propuestos por Montero y Cisneros (2006) (expuestos en Cisneros *et al.* 2008). La plantación mantiene adecuadas tasas de crecimiento, alcanzando diámetros normales medios en torno a 20-22 cm a los 14 años. Sin embargo, en este momento se observa un estancamiento en el crecimiento (figura VIII.12), a causa, muy posiblemente, del exceso de competencia debido a que no se han efectuado todavía claras. Según los modelos que se presentan en Fernández-Moya y Urbán-Martínez (2020), estos bosques plantados de nogal híbrido con 20-22 cm tienen un diámetro de copa de 5,8-6,1 m. Teniendo en cuenta un marco de plantación de 5 × 6 (con una densidad de 333 árboles ha⁻¹), se estima, entonces, un factor de competencia de copas actual del 89-95%.

Debilidades y fortalezas de la plantación

La empresa Bosques Naturales dispone de un equipo profesional encargado de las labores de campo con amplia experiencia en el establecimiento y mantenimiento de este tipo de sistemas productivos de madera.

Se hizo en su momento una buena selección de la estación para esta especie. El suelo tiene un horizonte úmbrico profundo (30-40 cm), rico en materia orgánica y con buen drenaje. El clima también es fundamental, con una abundante precipitación.

Se usó un clon seleccionado específicamente para la producción de madera (NAT 7 BN), cuya ventaja reside, no tanto al mayor vigor de los árboles (éste puede ser similar en algunos casos a árboles procedentes de semilla) sino más bien, en la homogeneidad en la plantación y en la rectitud del fuste. Una plantación homogénea supone una reducción en los gastos de mantenimiento (por ejemplo, poda uniforme en todos los árboles a la vez) y da confianza en lo relativo al análisis de los riesgos en los estudios financieros previos al establecimiento. En ese sentido, el riesgo de que algunos de los árboles procedentes de material clonal tengan poco vigor es nulo (ya que se trata de un sitio con buenas condiciones

y se ha gestionado bien), mientras que la variabilidad genética de los materiales producidos a partir de semillas aportan menores garantías. Como ejemplo, en algunas plantaciones gestionadas por la misma empresa con materiales de Ng209×Ra de semilla, en unas condiciones de estación relativamente homogéneas, se observan árboles de 19 años con un diámetro normal de 30 cm y, adyacentes, otros de 15 cm.

Por otro lado, la rectitud del fuste es una característica fundamental en este tipo de bosques plantados para la obtención de madera de calidad, siendo un requisito fundamental de la industria a la hora del aprovechamiento de la madera y su transformación. En ese sentido, de poco sirve tener árboles grandes con mucho vigor si tienen un fuste torcido que provoca que no pueda ser transformado por la industria.

La principal debilidad ha sido la imposibilidad de haber realizado las claras oportunas cuando la plantación tenía 13 años, como se ha comentado, por motivos administrativo-legales de la empresa propietaria de la plantación. Desde ese momento, la plantación ha parado su crecimiento y, en la actualidad, existe cierta incertidumbre en cuanto a la respuesta que va a tener la plantación, dado que se considera que el nogal tiende a no responder a las claras si ha llegado a parar su crecimiento por competencia, y si responde, tiende a tardar en hacerlo.

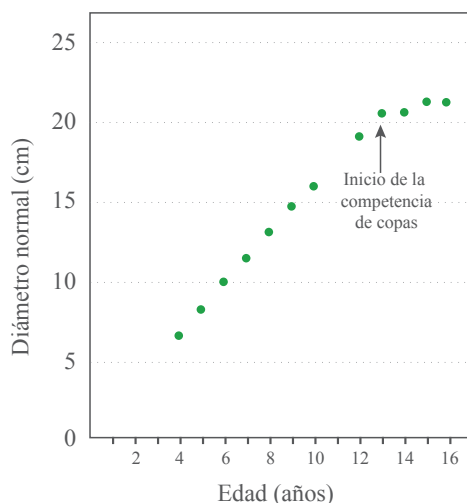


Figura VIII.12. Evolución de los crecimientos en diámetro del clon NAT 7 BN en la plantación de A Mota (A Coruña) (fuente: Bosques Naturales SA).

BIBLIOGRAFÍA

Aletà N, Ninot A, Voltas J (2003) Caracterización del comportamiento agroforestal de 12 genotipos de nogal (*Juglans* sp.) en dos localidades de Cataluña. *Invest Agrar: Sist Recur For* 12(1):39-50

Aletà N, Vilanova A (2012) *Juglans* spp. En: Pemán J, Navarro-Cerrillo RM, Nicolás JL, Prada A, Serrada R (eds.) *Producción y manejo de semillas y plantas forestales Tomo I*. Organismo Autónomo de Parques Naturales-MAPA, Madrid, pp, 606-631

- Aletà N, Vilanova A (2014) Les plantacions espanyoles de fusta d'alt valor. *Catalunya Forestal* 119:21-24
- Barreca L, Maziliano P.A, Menguzzato G, Scuderi A (2010) Interventi di arboricoltura da legno con latifoglie di pregio: risultati a 20 anni dalla piantagione. *Forest@*. 7:268-281
- Becquey J (1997) *Les noyers à bois*. Ed. Institut pour le Développement Forestier, Paris, pp 144
- Bequey J, Vidal C (2008) Le mélange peuplier-noyer est-il économiquement intéressant ? *Forêt entreprise* 178:37-38
- Buresti-Lattes E, Mori P (2016) Progettazione realizzazione e gestione delle piantagioni Policicliche di tipo naturalistico. Life+ InBioWood project (LIFE 12 ENV/IT/000153). Ed. Compagnia delle Foreste Arezzo
- Calvo E (2011) Stato attuale e problematiche degli impianti di latifoglie e legname pregiato: il punto di vista delle Regioni. *Forest@*. 8:121-125
- Cisneros O, Monterio G, Aletà, N (2008) Selvicoltura de Juglans regia L. En: Serrada R, Montero G, Reque JA (eds.) *Compendio de Selvicoltura aplicada en España*. INIA, Madrid, pp, 207-227
- Coello J, Urban-Martínez I, Mosquera-Losada MR (2018) Los sistemas silvoarables modernos en España. *Cuad Soc Esp Cienc For* 44 (2):19-38
- Dupraz C, Simorte V, Dauzat M, Bertoni G, Bernadac A, Masson P (1999) Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate. *Agrofor. Syst.* 43:71–80
- European Organisation of the Sawmill Industry (2019) Annual Report of the European Sawmill Industry, 2018-2019. Brussels. www.eos-oes.eu
- Fernández-Moya J, Licea-Moreno, R, Santacruz D, Urbán-Martínez I (2019a) NAT 7 BN: bosques plantados clonales de nogal híbrido (*Juglans xintermedia* MJ 209) para la producción sostenible de maderas nobles. *Cuad Soc Esp Cienc For* 45(2): 37-48
- Fernández-Moya J, Urbán-Martínez I, Pelleri F, Castro G, Bergante S, Giorelli A, Gennaro M, Licea-Moreno RJ, Santacruz Pérez D, Gutiérrez-Tejón E, Homar Sánchez C, Bidini C, Chiarabaglio PM, Manetti MC, Plutino M, Sansone D (2019b) *Silvicultural guide to managing walnut plantations for timber production*
- Fernández-Moya J, Urbán-Martínez I (2020) Estimation of crown competition factor for hybrid walnut (*Juglans x intermedia*) Mj209xRa planted forests in Spain. *Ann. Silv. Res.* 44 (1):24-29
- Guàrdia M, Savé R, Díaz R, Vilanova A, Aletà N (2013) Genotype and environment: two factors related to autumn cold hardiness on Persian walnut (*Juglans regia* L.). *Ann. Forest Sci.* 70:791–800
- Guàrdia M, Charrier G, Vilanova A, Savé R, Améglio T, Aletà N (2016) Genetics of frost hardiness in *Juglans regia* L. and relationship with growth and phenology. *Tree Genetics & Genomes* 12:83
- Lefièvre J, Carmeille J (2005) Técnicas de poda de madera de nogal de madera en Aquitania. En: *Jornadas hispano-francesas sobre nogal: producción de madera y de fruto. 22-25 noviembre 2005. La Pobl de Mafumet (Tarragona)*
- Lestrade M, Becquey J, Gonin P (2012) Autoécologie des noyers. *Forêt Entreprise* 207:5-12
- Liagre F (2019) El desenvolupament dels sistemes agroforestals a França en els últims 20 anys. En: *Dossier Tècnic del DARP 99. Els sistemes agroforestals*.pp:19-20
- Merlo E, Santaclara O, Urbán I (2009) Uso de técnicas de ensayo no destructivas para el conocimiento de la calidad de la madera de las plantaciones de nogal (*Juglans Mj209xRa*) y cerezo (*Prunus avium*) propiedad de Bosques Naturales S.A. En: *SECF (ed.) 5 Congreso Forestal Español, Ávila*
- Mohni C, Pelleri F, Hemery GE (2009) The modern silviculture of *Juglans regia* L.: A literature review. *Die Bodenkultur* 60 (3):21-34
- Nocetti M, Brunetti M, Giovannelli A (2011) Improvement of Pruning Technique to Minimize Wood Discoloration in English Walnut (*Juglans regia* L.) Proceedings from the International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP). Blacksburg, VA (USA)
- Nosenzo A, Boetto G, Meloni F (2011) La classificazione degli asortimenti ritraibili come strumento di analisi della produttività di impianti per l'arboricoltura da legno Ed. S.e.g.d.T. Dipartimento di Agronomia. Università di Torino, pp 882-886

- Pelleri F, Castro G, Marchi M, Fernandez-Moya J, Chiarabaglio PM, Giorcelli A, Gennaro M, Bergante S, Manetti MC, Plutino M, Bidini C, Sansone D, Urbán-Martínez I (2020) The walnut plantations (*Juglans* spp.) in Italy and Spain: main factors affecting growth. *Ann. Silv. Res.* 44 (1): 14-23
- Vidal C, Becquey J (2006) Boiser avec un accompagnement ligneux. Des billes de noyer plus longues avec l'accompagnement ligneux. *Forêt Entreprise* 170:45-50
- Vilanova A, García-Turu D, Aletà N (2011) Evaluación del crecimiento y de la producción de madera en plantaciones españolas de nogal realizadas con progenies híbridas. Resultados en fase semiadulta. *Navarra Forestal* 28:12-19
- Vilanova A, Garcia D, Abelló L, Rovira M, Aletà N (2018) Balance de una producción combinada: madera de nogal y avellana. *Cuad Soc Esp Cienc For* 44(2):107-120
- Wiedenbeck J, Wiemann M, Alderman D, Baumgras D, Luppold W (2003) Defining Hardwood Veneer Log Quality Attributes. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station
- Zobel B, Talbert J (1994) Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa, Balderas, México

Caso práctico IX

Plantación de *Castanea sativa* var. 'Verata' en el valle del Ibor (Cáceres)

Efrén MARTÍN MARTÍN, Javier DORADO REYES,
Beatriz CUENCA VALERA

1. Bases teóricas del tipo de repoblación

El castaño se desarrolla en la Península Ibérica bajo un rango amplio de condiciones climáticas, que va desde el Mediterráneo (Montseny, Sierra de Grazalema, Sierra de las Nieves) al Atlántico (costas de Galicia y Asturias), pasando por zonas muy continentales (Galicia interior, Castilla-León y Extremadura). El noroeste peninsular ha sido, además, refugio de la especie durante la última glaciación (Krebs *et al.* 2004), por lo que ha tenido un importantísimo papel en los bosques ibéricos durante miles de años. Su importancia está asociada a la amplia variedad de productos que ha proporcionado a la sociedad, de modo que las castañas han formado parte de la dieta de comunidades rurales durante siglos, y los árboles han proporcionado madera para la construcción y leña para combustible; su distribución, por tanto, ha sido fuertemente modificada por el uso tradicional humano (Roces-Díaz *et al.* 2018).

Los bosques tradicionales de castaño se han centrado en la producción de castañas, madera y leña en un sistema agroforestal con un papel multifuncional que puede analizarse desde la perspectiva de la provisión de servicios del ecosistema (ES), un concepto de importancia creciente que relaciona la biodiversidad, la función ecológica y el bienestar humano (EME 2011). Estos servicios son (Roces-Díaz *et al.* 2018): i) el suministro de alimento; quizás el servicio más importante, que determinó el cultivo en baja densidad para aumentar la insolación y el injertado, y es la causa de la expansión del cultivo del castaño por todo el país; ii) la producción de materiales, como vigas de grandes dimensiones para la construcción, o láminas para cestería; iii) el suministro de energía, de mayor importancia en los bosques de castaño de mayor densidad (tallares); iv) la regulación climática, por su papel como sumidero de carbono; v) el control de la erosión, por la protección que la

vegetación ofrece al suelo en las zonas de cultivo, frecuentemente laderas, donde juegan un papel fundamental (MAPAMA 2015); vi) la conservación de recursos genéticos en forma de variedades tradicionales, seleccionadas y mantenidas a lo largo de la historia por el castañicultor, y vii) la valorización del paisaje y uso recreativo, donde los sotos tienen una importancia indiscutible.

Este ecosistema, sin embargo, se ha visto seriamente amenazado en las últimas décadas por varios motivos:

- La entrada de enfermedades, como la tinta, provocada por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* (Bouhier 1979), el chancro producido por *Chryphonectria parasitica* (Elorrieta 1949) y, más recientemente, la plaga de la avispa o *Dryocosmus kuriphilus* (Pujade-Villar *et al.* 2013).
- Los cambios socioeconómicos en las comunidades rurales, que no hacen necesaria la producción de madera para las construcciones tradicionales o la leña como combustible.
- La introducción de nuevas especies forestales de crecimiento más rápido y de nuevos o más rentables cultivos agrícolas que podían ocupar las zonas de cultivo del castaño.

Todas estas razones han motivado el abandono progresivo del sistema tradicional del cultivo agroforestal de castaño, el soto o *souto* en Galicia (figura IX.1), caracterizado por marcos de plantación amplios, con pocos pies por hectárea, injertados con variedades tradicionales para la producción de fruto, pero que también aprovechaba madera y forraje, y que, a pesar de ser formaciones antropomórficas, se encuentran recogidas en la Directiva 92/43 CEE (Directiva Hábitats), en su anexo 1, como “Bosques de *Castanea sativa*”.

Los tallares, formaciones tradicionales formadas por la regeneración por rebrote tras la corta, con una elevada densidad de pies por hectárea y orientadas a la producción de madera, han sufrido, también, el mismo abandono.

Por los motivos anteriormente expuestos, ambas formaciones han quedado relegadas a áreas montañosas o de relieve más accidentado, que no representan el mejor nicho ecológico para esta especie y donde compiten con otras especies mejor adaptadas.



Figura IX.1. “*Souto*” tradicional en Rozavales (Ourense) (foto: B Cuenca).

Sin embargo, en la última década, las plantaciones de castaño han experimentado un importante incremento en la Península Ibérica, que hay que explicar desde aproximaciones diferentes:

- La caída de la producción de castaña en Italia y Francia, con potentes canales comerciales e industrias de transformación, debido al impacto de la avispa desde 2005, ha supuesto una mayor demanda en España, Portugal y Turquía, subiendo considerablemente los precios e incentivando a los productores al establecimiento de nuevas plantaciones y a la recuperación de plantaciones abandonadas.
- La caída del precio y la elevada estacionalidad de otras producciones como consecuencia del cambio climático, como la uva en Galicia o la cereza en Extremadura, han animado a los agricultores profesionales a buscar en el castaño una alternativa y rentas complementarias a sus cultivos principales.
- La búsqueda de la recuperación del valor paisajístico y de una reducción del riesgo de incendio han determinado que muchas comunidades rurales sustituyan las plantaciones de coníferas en sus montes vecinales por frondosas, entre las que el castaño ocupa una posición privilegiada por su multifuncionalidad. En algunas CCAA, este cambio se está viendo apoyado por una política de subvenciones importante. Ejemplos de la promoción de este planteamiento son las medidas 8.3 y 8.5 del Plan de Desarrollo Rural de Galicia del período 2014-2020 para la prevención de daños por incendios e incremento del valor medioambiental de ecosistemas forestales respectivamente o el Proyecto Mosaico en Extremadura (ver en www.mosaicoextremadura.es).
- El creciente interés por la conservación del entorno, la lucha contra el cambio climático, la recuperación de valores tradicionales y de una forma de vida más natural, animan a asociaciones y particulares a volver los ojos al mundo rural, a los pueblos y aldeas, recuperando y poniendo en valor terrenos abandonados mediante el establecimiento de nuevas plantaciones, o la recuperación de sotos familiares abandonados (figura IX.1)

En este contexto se ubica el caso práctico que se presenta, que corresponde a una plantación de castaño de 25 ha en el valle de las Villuercas-Ibores (Cáceres), sobre terrenos antes ocupados por un antiguo pinar, y a iniciativa de un propietario particular y con la ejecución de la empresa Arbolé (Navezuelas, Cáceres). El objetivo de esta plantación es la producción de fruto, asegurando el valor medioambiental de la zona, reduciendo el riesgo de incendio y prestando especial atención a la erosión del suelo y la captación de agua.

2. Caracterización ambiental de la zona de plantación

La plantación de castaño se realizó en la Finca del Penitencial, en el alto valle del Ibor, entre los términos municipales de Villar del Pedroso y Alía (Las Villuercas, Cáceres). Se trata de una finca de más de 500 ha de propiedad particular, con diversos aprovechamientos forestales entre los que se encuentra la madera de pino marítimo (*Pinus pinaster*), el tallar de castaño (*Castanea sativa*), las castañas (28 ha de castañar tradicional de fruto) y la caza, que representa una de las principales fuentes de ingresos de la finca.

La geología de la comarca de las Villuercas merece mención especial (Alonso *et al.* 2015). La comarca se localiza en el Macizo Ibérico, en el sector sudoriental. Presenta un relieve muy accidentado conocido como “apalachiano”, caracterizado por una sucesión alterna y casi paralela de crestas y valles en dirección NO-SE. Son sierras extraordinariamente escarpadas y fragosas, con un punto culminante en el pico de la Villuerca de 1601 m de altitud y varias alturas que superan los 1400 m (caso del monte Cervales y del cerro Fortificado en la sierra del Hospital del Obispo).

Los materiales que lo forman son pizarras, areniscas y grauwacas estratificadas y de color oscuro depositadas durante el Precámbrico, e intercaladas entre ellas, dolomías y magnesitas (afloramientos de calizas cámbricas), favorables a la formación de cuevas. Por encima de estas rocas calizas, se depositaron areniscas y lutitas que se transformaron en cuarcitas y pizarras de gran dureza (Ordovícico-Silúrico). Los resaltes de las sierras coinciden con estos afloramientos de las cuarcitas (cuarcita armoricana) formando crestas elevadas de gran resistencia a la erosión. Las sierras están formadas por los estratos plegados y fracturados donde los pliegues configuran los anticlinales (materiales más antiguos, pizarrosos-grauváquicos del Neoproterozoico-Cámbrico inferior) y los sinclinales (cuarcitas y pizarras del Ordovícico-Silúrico). El relieve apalachiano es resultado del plegamiento y levantamiento de estos materiales, seguido por la prolongada erosión y el encajamiento de la red fluvial en los materiales más blandos.

Además del relieve apalachiano, destacan en la comarca la presencia de “rañas” (depósitos de cantos gruesos con una matriz de arenas y lutitas que le dan color rojo) de morfología plana formando mesas horizontales bastante elevadas; y las “pedreras” (fragmentos angulosos de gran tamaño en las laderas de las zonas altas de las sierras), producidas por la fractura de las rocas por efecto del hielo. Como distinción al valioso patrimonio geológico, la UNESCO otorgó, en 2011, la categoría de Geoparque a la comarca Villuercas-Ibores-Jara.

Desde el punto de vista climático, las Villuercas tienen un microclima bastante lluvioso respecto de la media del resto de la Comunidad Autónoma extremeña, con precipitaciones medias de 750 mm anuales, en general concentradas en invierno. La temperatura media anual es de 16 °C con una oscilación térmica anual de 20 °C.

Biogeográficamente, la plantación se ubica en el distrito Villuerquino, cuyas comunidades vegetales más representativas son los robledales supramediterráneos de *Sorbo torminalis-Quercetum pyrenaicae* y los bosquetes lauroides de las gargantas serranas de *Viburno-Prunetum lusitanicae*, las típicas “loreras”. Las intercalaciones calizas, en general muy degradadas, albergan los coscojares de *Asparago-Rhamnetum cocciferetosum*, los jarales blancos de *Lavandulo sampaianae-Cistetum albidi* y las comunidades terofíticas de *Velezio rigidiae-Astericetum aquatica* (Ladero 1970).

La vegetación predominante, por tanto, refleja este medio geocológico. Las Villuercas son un área de transición entre comunidades mediterráneas y de tipo atlántico, una zona de montaña media entre el mundo xérico mediterráneo, matizada por la disposición transversal de las sierras que traen las influencias atlánticas del oeste peninsular. En las áreas elevadas se desarrolla una sucesión altitudinal en pisos de acuerdo con la vertiente (por ejemplo,

robledal, encinar montano, alcornocal y encinar adhesado). En otras laderas más cortas, la distribución espacial de las especies se relaciona con la exposición, apareciendo el alcornocal en la umbría y el encinar en las solanas. En sierras poco elevadas el encinar cubre las dos vertientes. No obstante, existe una gran influencia antrópica que en algunos casos determina la supresión o sustitución de las masas vegetales (Tejada 1988).

3. Actuaciones de plantación

3.1. Caracterización de las parcelas

Como se ha comentado, la principal fuente de ingresos de la propiedad es el aprovechamiento cinegético. Sin embargo, los nuevos propietarios que adquirieron la finca en 2012, conscientes de que la caza tiene un rendimiento limitado, decidieron ejecutar una nueva plantación de castaños como alternativa para incrementar el rendimiento económico de la finca y, de este modo, asegurar su sostenibilidad y mantenimiento desde el punto de vista económico.

La nueva plantación de castaños tiene una superficie de 25 ha, dividida en cuatro rodales de actuación (A, B, C y D) (figura IX.2) con diferentes superficie, composición y uso de suelo. El rodal A, de 12 ha, era una antigua plantación de cerezos de variedades tradicionales, poco cuidada por el anterior propietario, que se había planificado levantar y sustituir por una plantación de castaños con marco de plantación tradicional. Los rodales B, C y D correspondían a una masa de repoblación de pino (*Pinus pinaster*) (figura IX.3). Con el objetivo de romper la continuidad horizontal de combustible en el conjunto de la finca, se decidió generar cortafuegos productivos mediante el empleo de castaños con marcos de plantación amplios.

Todos los rodales se encuentran en zonas de ladera, con pendientes comprendidas entre 15 y 25%, de orientación norte, a excepción del rodal D que tiene orientación sur, con suelos pardos y profundos, aunque hay algunos puntos de introgresión de roca madre y vetas más arcillosas.

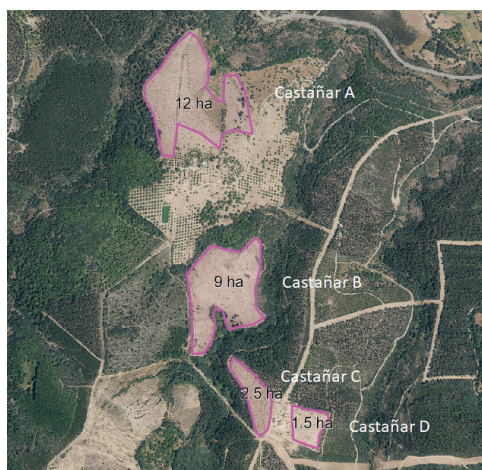


Figura IX.2. Ubicación de los nuevos castañares en la Finca de “El Penitencial” en el Valle del Ibor (fuente: Ortoimagen PNOA 2019, IGN).



Ortofoto de 1984 en la que se observa el pinar de repoblación de las parcelas B, C y D.

Ortofoto de 2002 en la que se aprecian las cortas efectuadas en el pinar.

Figura IX.3. Vistas del estado de las diferentes parcelas de pinar en el pasado y que actualmente albergan los castaños.

3.2. El diseño. Objetivo: acumular agua en el suelo. Distribución en “línea clave” o *keyline*

Las nuevas plantaciones en los cuatro rodales se diseñaron en “línea clave” o *keyline*, un diseño concebido para la regeneración del suelo que aumenta la capacidad de almacenamiento del agua, disminuye la erosión y favorece la microbiología. Este método de plantación se desarrolló en los años 50 del pasado siglo en Australia por Yeomans (1954) como respuesta a los graves problemas de erosión y desertificación en este país.

La idea de la línea clave, consiste en la distribución y acumulación del agua en el suelo de una parcela. Para ello, a través del empleo de aperos verticales tipo *ripper*, se hacen surcos desde las vaguadas o puntos de acumulación de agua hasta los cerros o parteaguas para que el agua de la lluvia se distribuya a lo largo del terreno. En este contexto, es importante realizar una lectura correcta de la topografía-paisaje de las parcelas en las que se quiere desarrollar estas técnicas (figura IX.4).

Esta correcta lectura nos permite llevar los excedentes de agua a través del patrón de líneas clave, a través de las canalizaciones hechas en el suelo, sin voltear los horizontes, sólo creando líneas subterráneas que el agua seguirá con facilidad. Al mejorar la infiltración, se reduce drásticamente la erosión y creamos un suelo más estructurado.

3.3. Labores de preparación del terreno y plantación

La plantación se ejecutó a lo largo de tres campañas, entre los años 2014 y 2016, en los meses de enero y febrero. La situación de partida en los distintos rodales era diferente. Por una parte, en el rodal A, la plantación de cerezos fue arrancada y destocada unos meses antes de iniciar la plantación (figura IX.5). Los rodales B y D se cortaron a matarrasa cuatro años antes de la plantación, pero en el momento de la ejecución de las labores de preparación del suelo se tuvo que volver a eliminar la vegetación, puesto que aún contenían muchos restos vegetales y los rodales ya presentaban una situación de regeneración natural. Por último, el rodal C, estaba destinado a la siembra de cereal para alimentación de fauna cinegética hasta el momento de la plantación, desde su corta años atrás.

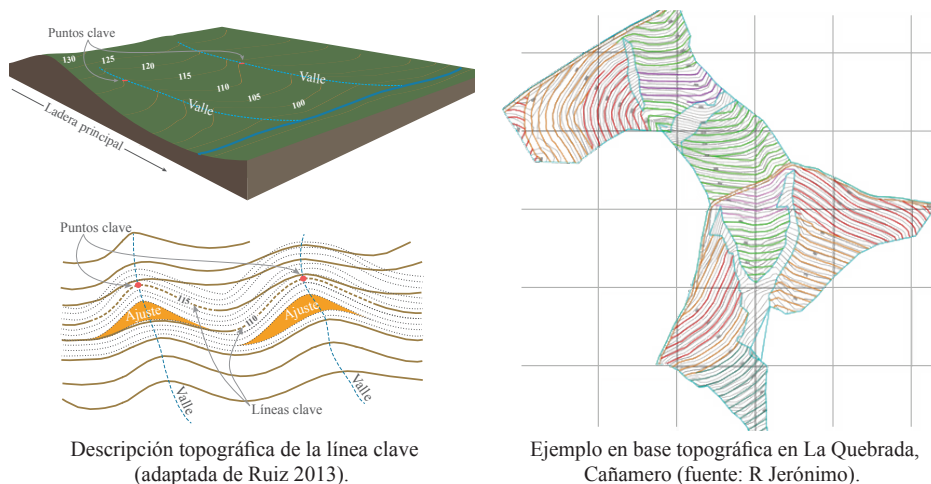


Figura IX.4. Diseño de rodales en línea clave o *keyline*.



Figura IX.5. Ortofoto 2019 donde se ven las líneas de cultivo en *keyline* en relación con las curvas de nivel en la parcela A.

Una vez eliminada la vegetación de las zonas de actuación, se realizaron pases con grada de desmonte (28") y tractor de cadenas de 120 CV, dando al menos dos pases. Posteriormente, se replanteó la plantación con medios topográficos señalando las líneas de cultivo en *keyline*. Tras el replanteo, se subsoló la línea clave con un *ripper* de tres brazos de más de 60 cm de profundidad.

El marco de plantación teórico fue de 9×10 m, con 9 m entre árboles y 10 m entre línea de plantación, si bien la distancia entre líneas variaba entre 9 y 11 m, dependiendo de la orografía. Este marco de plantación es idóneo para la producción de castañas con árboles formados en vaso y copas globosas bien soleadas.

Para la plantación se empleó una mini retroexcavadora que iba ahuecando el hoyo y posteriormente enterrando las raíces. Hay que tener en cuenta que los plantones de castaño presentan un sistema radical muy desarrollado (figura IX.6). Antes de ser plantados, los plantones se sumergieron en un caldo biofertilizante que contenía entre otros, tricodermas y *Bacillus subtilis*, para favorecer la instalación de la planta. Una vez plantada, se colocó un protector auto enrollable para la protección contra la radiación directa del sol, puesto que la corteza de los castaños jóvenes es muy propensa a quemaduras.

Una vez finalizada la plantación, se realizó otro pase de grada para igualar el terreno. En los rodales A (figura IX.7), C y D se dispuso un sistema de riego por goteo, con dos goteros por árbol de 4 l h⁻¹, concebido como riego de arranque de la plantación y de estabilización de producciones en el futuro. El enfoque del sistema de riego es el de riego deficitario, de 500 - 1000 m³ ha⁻¹. En el rodal B se realizaron riegos de apoyo con tractor y cuba, a razón de 40 l árbol⁻¹ cada 12 días desde mediados de junio hasta septiembre, durante los dos primeros años de la plantación. Tras este período de establecimiento, la plantación se ha mantenido en secano.



Figura IX.6. Tipo de planta empleada en la plantación (foto: E Martín).

3.4. Material genético empleado en la plantación

El material vegetal empleado en la plantación consistió en planta a raíz desnuda, injertada con variedades de interés, con una altura de 1,5-2 m y una edad de 3 savias (2 de portainjerto y 1 de planta injertada). La variedad injertada predominante fue 'Verata'. Esta variedad es autóctona de la comarca de las Villuercas, adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la zona, de tipo marrón, maduración muy tardía (noviembre) y buen calibre.

Con objeto de aumentar la duración de la temporada de recolección de castañas, se plantaron también unas 6 ha de variedades híbridas, fundamentalmente 'Bouche de Bétizac'. Esta variedad es un híbrido controlado entre *C. sativa* var. 'Bouche Rouge'

y *C. cenata* clon CA04, desarrollado por el INRA (Francia) en 1962. Tiene una maduración muy precoz (finales de agosto-principios de septiembre) y un calibre elevado, pero menor valor organoléptico que la variedad 'Verata'. Los portainjertos empleados fueron clones híbridos de *C. sativa* × *C. crenata*, con tolerancia contrastada a la enfermedad de la tinta. Se emplearon principalmente los clones 111.1 (F2, retrocruzado con *C. sativa*) y 7521 (F1), registrados en el Registro Nacional de Materiales de Base por el Centro Forestal de Lourizán (Miranda-Fontañña y Fernández-López 2008).

Las variedades empleadas presentan inflorescencia masculina de tipo astaminada (los estambres se encuentran insertos dentro de los glomérulos de la inflorescencia y no producen polen). Con el fin de evitar futuros problemas de fecundación de flores femeninas y la consecuente pérdida de producción, se decidió emplear variedades con amentos masculinos longiestaminados (que producen gran cantidad de polen) como polinizadoras. En concreto, un 10% de los plantones se injertaron con variedades polinizadoras, que se intercalaron cada 6-8 líneas de cultivo. La selección de las variedades polinizadoras se realizó sobre la base de la sincronización entre la emisión del polen y la receptividad de las inflorescencias femeninas. En el caso de la variedad 'Verata' se empleó la variedad 'Negral' como polinizadora, y para 'Bouche de Bétizac', se emplearon híbridos interespecíficos de *C. sativa* × *C. crenata* de producción directa (sin injertar), 'Marsol' y 90044. Tanto la variedad 'Marsol' como 90044 son, además de polinizadoras, productoras de castañas de gran calibre con aceptación en los mercados.



Figura IX.7. Aspecto de la parcela A el primer año de plantación (foto: E Martín).

3.5. Cuidados culturales de los primeros años

Tras el primer verano de la plantación, con las primeras lluvias, se realizó una siembra de praderas con una mezcla de gramíneas, leguminosas y crucíferas, para manejarlas como abono verde. Esta técnica consiste en dejar crecer la pradera hasta que las especies empiecen florecer. Tras la floración, con la semilla formada, se siega; al cabo de unos

10 días se realiza un pase de grada superficial, para que los nutrientes acumulados en la biomasa se mineralicen y estén disponibles para las plantas leñosas. Con esta técnica se consigue mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Las gramíneas, gracias a su sistema radical, mejoran la estructura edáfica; las leguminosas, por su capacidad de fijación de grandes cantidades de nitrógeno atmosférico, mejoran la fertilidad.

Las labores de gradeo durante los tres primeros años se han realizado en franjas, labrándose en las líneas de cultivo, mientras que el terreno entre líneas se ha sembrado para evitar la erosión. Desde que la plantación entró en producción, al quinto año, en cada campaña, comprendida entre los meses de mayo a junio, se realiza un gradeo entre líneas y luego se “taramea”, es decir, se pasan unos rastros (taramas o traviesas) para alisar el suelo y, así, facilitar la recolección de las castañas (figura IX.8).

Durante los primeros años de la plantación, también se ha realizado una poda de formación dejando fustes limpios de ramas hasta 1,5-1,80 m de altura para, a partir de ahí, formar una cruz con tres o cuatro ramas o brazos.



Figura IX.8. Labores en franjas de los primeros años, con laboreo en la línea y cultivo herbáceo entre líneas (foto: E Martín).

4. Estado final y datos de seguimiento de la plantación

La plantación entró en producción el quinto año, con una media de un kilo de castañas por árbol (112 kg ha^{-1}). En la siguiente campaña (2019), la producción se incrementó exponencialmente hasta alcanzar 600 kg ha^{-1} . La proyección es alcanzar producciones de más de 4000 kg ha^{-1} a los 12-14 años, rendimientos muy superiores al castañar tradicional.

Desde el punto de vista de la técnica de plantación, al cabo de 5-7 años (según el rodal) desde la plantación, el resultado más notable de las plantaciones en línea clave o *keyline* ha sido la prevención de la erosión. Apenas se ven cárcavas y el efecto es que la erosión dirigida determina la formación de pequeños bancales, permitiendo que la tierra fértil se acumule junto a los árboles (figura IX.9).

Los resultados de la plantación muestran cómo el castaño, cultivado como un sistema agroforestal tradicional, puede:

- Incrementar las rentas anuales de un monte con un período de retorno relativamente corto (6 años).



Figura IX.9. Vistas general y de detalle de la parcela C de la plantación en 2020 (fotos: E Martín).

- Diversificar los aprovechamientos forestales de una finca y compatibilizarlos con otros usos, como los ganaderos, cinegéticos y de producción de fruto.
- Prevenir la propagación de incendios forestales mediante la implantación de plantaciones de baja densidad que rompen la continuidad del combustible y que, emplazadas en lugares estratégicos, pueden ser de gran ayuda en la extinción.
- Ayudar a fijar población en zonas rurales, pues las plantaciones de frutos forestales demandan mano de obra tanto para su manejo como para la recolección del fruto, especialmente en zonas de laderas donde no puede ser mecanizada.

Además, con esta plantación se ha podido comprobar cómo una especie forestal puede ser compatible con un sistema de cultivo moderno y tecnificado, sin dejar de lado la conservación del paisaje y del suelo.

Las técnicas de plantación de agroforestería regenerativa, como la mostrada en este proyecto (*keyline*) deberán desempeñar un papel más importante en el futuro, orientadas a la creación de sistemas agroforestales sostenibles y resilientes en el contexto de cambio climático, donde la optimización del agua, la fijación del carbono y la regeneración de los suelos van a ser los factores más importantes a tener en cuenta en cualquier plantación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Zarza A, Muñoz Barco P, Martínez Flores E (2015) Monumento Natural Cueva del Castañar. Un laboratorio natural. Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura
- Bouhier A (1979) La Galice, essai géographique d'analyse et d'interprétation d'un vieux complexe agricole. Université de Poitiers, Vendée, France
- Elorrieta J (1949) El castaño en España. IFIE, Madrid
- EME (2011) Ecosistemas y diversidad para el bienestar humano. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. Síntesis de resultados. Fundación Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid
- Krebs P, Conedera M, Pradella M, Torriani D, Felber M, Tinner W (2004) Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach. *Veg Hist Archaeobot* 13: 145-160
- Ladero M (1970) Contribución al estudio de la flora y vegetación de las comarcas de la Jara, Serranía de Ibor y Guadalupe-Villuercas, en la Oretana Central. Tesis Doctoral. Madrid
- MAPAMA (2015) Inventario nacional de Erosión de Suelos (INES). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid

- Miranda-Fontaiña ME, Fernández-López J (2008) Clones híbridos para madera y portainjertos: criterios de selección y propagación. Contribución al Congreso Internacional do Castiñeiro, Ourense
- Pujade-Villar J, Torrell A, Rojo M (2013) Primeres troballes a la península Ibérica de *Dryocosmus kuriphilus* (Hym, Cynipidae), una especie de cinípid d'origen asiàtic altamente perillosa per al castanyer (Fagaceae). *Orsis* 27:295-301
- Roces-Díaz JV, Díaz-Varela ER, Barrio-Anta M, Álvarez-Álvarez P (2018) Sweet chestnut agroforestry systems in North.western Spain: classification, spatial distribution and an ecosystem services assessment. *Forest Systems* 27:e03S
- Ruiz J (2013) Diseñar y cultivar usando línea clave. *Agroecología* 12:50-51
- Tejada V D (1988) Análisis de la vegetación en el paisaje natural de Las Villuercas. *Ería* 16:97-108
- Yeomans P A (1954) The Keyline plan. (<http://www.permaculturaibera.org/wp-content/uploads/2018/09/Entendiendo-la-Aplicacio%CC%81n-de-la-Geometri%CC%81a-Keyline-SPANISH.pdf>)

Caso práctico X

Plantaciones bioenergéticas

María CASTAÑO DÍAZ, Asunción CÁMARA OBREGÓN

1. Bases teóricas del tipo de restauración

Asturias es una de las regiones españolas de más antigua tradición industrial, principalmente debido a la extracción de hulla en sus yacimientos de carbón que supusieron un importante avance siderúrgico durante el siglo XX. Las vecinas cuencas de los ríos Nalón y Caudal constituyeron uno de los principales y más activos núcleos de la explotación del mineral, con una elevada concentración de yacimientos abiertos. El fin del ciclo económico basado en esta labor y materializado en el cierre de la extracción de carbón, supuso una clara recesión en las comarcas mineras asturianas durante finales del siglo pasado hasta la actualidad (Antuña 2005). Así, Asturias hoy en día se caracteriza por una gran capacidad de generación de energía mediante importantes centrales térmicas de carbón, abastecidas originalmente con el carbón de las minas locales, poco a poco sustituido por mineral extranjero, lo que ha incrementado la dependencia energética exterior.

La empresa Hulleras del Norte S.A., más conocida popularmente por su acrónimo “HUNOSA”, ha sido la compañía minera por excelencia en el país, teniendo su mayor foco de actividad en la región asturiana. Actualmente denominada Grupo HUNOSA, es una organización empresarial de titularidad pública del sector energético-minero fundada en el año 1967. La compañía viene acometiendo desde la década de los noventa un duro esfuerzo de modernización y adaptación al marco energético, mantiene hoy en día la actividad minera -de extracción y comercialización de carbón- y la explotación de una central termoeléctrica, y ha abierto nuevos campos de negocio en energías renovables como la geotermia, la eólica y la biomasa, con el objetivo fundamental de buscar alternativas para asegurar el futuro de aquellas zonas donde la minería fue el pilar de la actividad económica y social.

El abandono gradual de las minas ha supuesto para la empresa la disposición de grandes extensiones de terrenos baldíos con suelos de muy mala calidad, y en ocasiones con topografías complejas, lo que ha dificultado enormemente la asignación de algún uso agroforestal sostenible. De las 4000 ha que el Grupo HUNOSA posee en propiedad, casi un 20% son terrenos ociosos de minería restaurados, sin aprovechamiento actual y

con pendientes fácilmente mecanizables (<30%), lo que convierte estas zonas en áreas potencialmente adecuadas para el establecimiento de plantaciones con fines bioenergéticos para su propio autoabastecimiento (cultivos energéticos forestales). La estructura y propiedades desfavorables de estos suelos pobres (falta de capacidad de retención de agua, pobreza de nutrientes y materia orgánica, etc.) dificultan a priori el establecimiento de cultivos, siendo un reto para la empresa la generación de conocimientos y tecnologías aplicables a los procesos productivos, tratando de conseguir un óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles empleando los medios naturales de los que disponen.

Las plantaciones forestales de turnos cortos con fines energéticos, son conocidas en el ámbito internacional como *Short Rotation Coppice* (SRC) o *Short Rotation Forestry* (SRF). Características esenciales de estos sistemas forestales son la elevada producción de biomasa en plazos muy cortos de tiempo, los elevados crecimientos en altura propiciados por las características de la estación y las especies empleadas, el crecimiento vegetativo prolongado, la buena capacidad de rebrote, la gran resistencia a plagas y enfermedades y la buena cicatrización de las superficies de corte después de la corta final (Keoleian y Volk 2005). Además, son especies con madera de alto poder calorífico y bajo contenido en ceniza y otros componentes volátiles que pueden actuar como contaminantes atmosféricos o causar problemas técnicos en las calderas (Melissari 2012). Una de sus principales ventajas que presentan es su frugalidad, lo que permite su establecimiento en terrenos de muy diversa naturaleza. Las tierras marginales, por ejemplo, entre las que pueden incluirse superficies restauradas de antiguas explotaciones mineras, se consagran poco a poco como escenarios muy adecuados para la producción de materia prima para la producción de energía (Hansen 1991; Bungart y Hüttl 2004; Broeckx 2012). Zurba *et al.* (2013) recomiendan instalar SRC en tierras marginales y zonas industriales abandonadas en paralelo con otras opciones de gestión sostenible de la tierra.

El uso de SRC también contribuye a largo plazo a la mejora de la calidad del suelo y la biodiversidad, la protección de las aguas subterráneas y la prevención de la erosión. A todo ello se suma su impacto positivo sobre la captura de nutrientes y la circulación del carbono en el sistema suelo-planta-atmósfera, especialmente en antiguas tierras marginales, protegiendo el suelo del agua y el viento, factores que generan erosión (Gordon 1975; Perttu 1995). Además, tras la comparación de las diversas opciones de producción de bioenergía, se concluye que la producción y al uso de biomasa leñosa para fines de transformación de energía conlleva numerosos efectos beneficiosos, tales como la creación de empleo y otras consecuencias positivas como valor añadido a escala regional (Hall y House 1994; Muschler y Bonnemann 1997; Huettl *et al.* 2000; Volk *et al.* 2004).

Son muchas las especies empleadas en cultivos energéticos. Por lo general, todas las especies que resultan rentables en una plantación de este tipo presentan unos rasgos comunes como ya se comentó anteriormente, entre las que se pueden destacar: el rápido crecimiento, la reproducción vegetativa sencilla, la gran capacidad de rebrote, la buena adaptación en variedad de suelos y la elevada producción neta total con requerimientos mínimos. En Europa, los cultivos energéticos forestales se basan principalmente en el empleo de especies de *Salix* spp., *Populus* spp., *Eucalyptus* spp., *Robinia pseudoacacia*, entre otras; teniendo todas ellas en común las altas densidades de cultivo y turnos de

aprovechamiento cortos; cuya finalidad al tratarse de material lignocelulósico, es la de ser destinado a la generación de energía térmica o eléctrica.

El uso de estas especies en terrenos baldíos representa una alternativa de potencial interés para dar cierta rentabilidad a estas superficies en desuso, siendo esencial una correcta selección del material genético, la utilización de planta de calidad y la aplicación de una selvicultura adecuada para conseguir producciones máximas de manera sostenible en el menor plazo de tiempo posible. De ahí que las especies del género *Salix* se hayan convertido en algunas de las más empleadas en cultivos energéticos, gracias a su frugalidad y a su gran capacidad de adaptación a condiciones ambientales y edáficas extremas, llegando a adaptarse a suelos muy pedregosos y con escaso volumen útil para el buen desarrollo radicular, es decir, suelos poco profundos, además de aclimatarsen a suelos contaminados (Kuzovkina y Quigley 2005; Jama y Nowak 2012). El uso y la recuperación de antiguas zonas mineras con estas especies es una posibilidad realista para el establecimiento de cultivos energéticos (Gruenewald *et al.* 2007). De hecho, los cultivos energéticos con sauces, *Short Rotation Willow Coppice* (SRWC), con regeneración de monte bajo son uno de los sistemas de cultivo bioenergético más prometedores para su uso en las regiones templadas de Europa (Venturi *et al.* 1999), Canadá y EE.UU (Labrecque y Teodorescu 2003).

Estudios anteriores han demostrado cuestiones que pueden parecer obvias. Así, la producción de biomasa (SRC) está condicionada por factores múltiples: el clima (Willebrand *et al.* 1993), el material vegetal (Stolarski *et al.* 2008), la resistencia a plagas y el control de malas hierbas (Sage 1999), la densidad de plantación (Larsson *et al.* 2001), la duración del turno (Lindegaard *et al.* 2011) o las propiedades edáficas tales como nutrientes y disponibilidad de agua en el suelo (Lindroth y Båth 1999).

En ese sentido, es interesante considerar algunos de estos factores en los trabajos de implantación de cultivos de sauce con fines bioenergéticos. En primer lugar, las densidades de cultivo recomendadas son muy elevadas, y rondan los 10000 pies ha⁻¹ en Europa (Mitchell *et al.* 1999), mientras que en Estados Unidos y Canadá son del orden de 15000 pies ha⁻¹ (Abrahamson *et al.* 2002). Por otro lado, el sauce tiene una baja capacidad competitiva, por lo tanto, es esencial mantener la plantación libre de hierba, especialmente durante la fase de implantación (Mitchel *et al.* 1999) y más teniendo en cuenta que la fertilización aplicada va a potenciar la proliferación de la cubierta herbácea. De ahí el interés de ensayar diferentes procedimientos de control de malas hierbas en este tipo de cultivos.

Por último, la aplicación de fertilizantes ha mostrado un significativo aumento en la producción de biomasa (Mead 2005), lo que hace interesante su experimentación especialmente debido a los problemas de fertilidad que suelen presentar la mayor parte de los terrenos asturianos que podrían ser potencialmente viables para este aprovechamiento. La utilización de pequeñas dosis de fertilizantes aplicados en la fase de establecimiento puede aportar a corto plazo una favorable corrección de las condiciones iniciales de fertilidad (Mortensen *et al.* 1998; Aronsson y Bergstrom 2001), ya que al tratarse, en muchos casos, de zonas pobres y marginales, el aporte de nutrientes puede favorecer el desarrollo de las plantaciones que se quieran instalar, además de verse favorecida la estructura del suelo.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, la empresa HUNOSA en 2008 hizo una apuesta por estudiar la potencialidad de sus tierras para la producción de biomasa forestal con destino energético, tanto para su empleo en co-combustión en la central térmica de La Pereda (Mieres), como para otros posibles usos térmicos y eléctricos. Entre el año 2008 y 2012, el Grupo de Investigación en Sistemas Forestales Atlánticos (Gis-Forest) de la Universidad de Oviedo lideró el subproyecto “Técnicas de cultivo forestal aplicadas a la biorremediación y uso de suelos marginales para garantizar el suministro de biomasa”, dentro del proyecto singular estratégico ECO-COMBOS, “Desarrollo tecnológico en toda la cadena de valor de equipamientos para co-combustión de materias procedentes de operaciones en bosques”. Se establecieron varios ensayos con cultivos leñosos en zonas ociosas de minería de la empresa HUNOSA. En el primero de ellos, situado en la mina Mozquita (Langreo), se utilizaron tres cultivares de sauce (*Salix viminalis*) empleando fertilizantes químicos convencionales (NPK) y diferentes niveles de densidad de plantación.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración (Mina Mozquita)

2.1. Localización y medio natural del área de restauración

El cultivo forestal experimental descrito en este trabajo se instaló en Mozquita-Matona, una antigua explotación minera a cielo abierto restaurada antes de 2005, propiedad del Grupo HUNOSA, que cuenta con una extensión de 328 ha repartidas entre los municipios de Langreo y Mieres (Asturias). La zona de estudio se encuentra ubicada en el Concejo de Langreo (Asturias), en el norte de España (Datum ETRS89, Huso 30 N, UTMx: 4794443, UTM y: 280981). La cota de los ensayos se encuentra entre 500-600 m de altitud, con una pendiente media de un 19%, siendo la orientación de la ladera noreste.

El clima de la zona se caracteriza como oceánico, en la región biogeográfica atlántica, con precipitaciones elevadas con medias anuales de 1115 mm y 344,7 mm de precipitación estival (mayo-septiembre) y temperaturas suaves con medias anuales de 13°C (EEA 2011) (tabla X.1). El terreno escarpado minimiza cualquier efecto de aguas subterráneas.

Tabla X.1. Datos de caracterización climática de la zona de restauración en la Mina Mozquita (Concejo de Langreo, Asturias).

Parámetro climático	Valor
Temperatura media anual (°C)	13
Temperatura máxima anual (°C)	18
Temperatura mínima anual (°C)	7
Precipitación anual (mm)	1115

Geológicamente se localiza en la cuenca carbonífera Central Asturiana, dentro de la unidad hidrológica Aller-Nalón. La zona de estudio corresponde a una restauración realizada en una mina a cielo abierto una vez concluidos los trabajos extractivos siguiendo la normativa legal vigente en materia de explotaciones mineras. El terreno fue rellenado con los estériles procedentes de la misma área de estudio.

En relación a la morfología final del terreno, durante la fase final de la restauración, se evitó en todo momento la presencia de aristas, vértices y formas angulosas, tendiendo a formas suaves, onduladas y redondeadas. Se construyó un sistema de drenaje y de tratamiento de las aguas de escorrentía, consistente en cunetas de recogida de agua en montera y a pie de los taludes, con la finalidad de evitar la erosión y la degradación de los mismos, reconduciendo el fluido a zonas seguras. Se procedió a extender una capa de tierra vegetal de unos 25-30 cm de espesor por toda la superficie. Hoy en día, la formación del suelo está en una etapa temprana y la estructura del suelo sigue siendo inestable.

Los resultados del estudio edáfico en el año de establecimiento del cultivo (2008) indicaron que se disponía de un suelo ligeramente ácido a neutro (pH ~ 6,7), con baja conductividad eléctrica, escasa profundidad, y bajo contenido de cationes básicos intercambiables y de Mehlich 3P disponible; además el contenido de materia orgánica del horizonte superficial y la relación C/N resultaron también bajos (tabla X.2). El sustrato se caracterizó como franco arcilloso (con una alta presencia de elementos gruesos, aproximadamente el 30%).

Tabla X.2. Propiedades edáficas del ensayo en 2008, al inicio de la plantación.

Parámetros edáficos	Valor
pH	6,70
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,21
Materia orgánica (%)	1,60
Carbono [C] (%)	0,93
Nitrógeno [N] (%)	0,11
Relación C/N	8,93
Fósforo [P] (cmol (+) kg ⁻¹)	5,72
Potasio [K] (cmol (+) kg ⁻¹)	0,37
Calcio [Ca] (cmol (+) kg ⁻¹)	5,39
Sodio [Na] (cmol (+) kg ⁻¹)	1,40
Aluminio [Al] (cmol (+) kg ⁻¹)	2,04
Magnesio [Mg] (cmol (+) kg ⁻¹)	3,52
Capacidad de intercambio catiónico [CIC] (cmol (+) kg ⁻¹)	12,91
Profundidad media del perfil (m)	0,36
Pedregosidad (%)	30
Arena (%)	35,27
Limo (%)	37,30
Arcilla (%)	27,33

La vegetación preexistente antes del establecimiento del cultivo se correspondía con un tapiz de herbáceas ligero procedente de la siembra realizada tras la restauración, no superando los 20 cm de altura. Se utilizaron técnicas de siembra e hidrosiembra empleando una mezcla de 85% gramíneas y 15% leguminosas (*Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Festuca elatior*, *Festuca rubra*, *Festuca ovina*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens*) que permitiesen crear con rapidez un tapiz vegetal con la finalidad de fijar la capa superficial y de esta manera asegurar la posterior implantación de especies arbóreas y arbustivas.

3. Actuaciones de restauración

3.1. Diseño de la plantación energética

Los factores considerados en el estudio fueron tres: clon (tres niveles), densidad de plantación (dos niveles) y tratamiento combinado de fertilización con control de malezas (tres niveles) (tabla X.3). Se utilizó material de diferentes híbridos de *Salix* spp. originarios de Suecia. Se seleccionó un área de 2,5 ha para el establecimiento del ensayo.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones, cada uno de ellos compuesto por 18 parcelas de 400 m² (20 × 20 m), dispuestas aleatoriamente, en cada una de las cuales se analizó una de las 18 posibles combinaciones de los tres factores a estudiar (54 parcelas en total). La superficie total ocupada por éste fue de 2,3 ha.



Vista aérea de la zona del ensayo en la que se señalan las 54 parcelas de experimentación.



Vista del ensayo en el segundo año (2009) (foto: M Castaño y A Cámara).

Figura X.1. Vista general del ensayo de cultivos de sauce con fines bioenergéticos.

3.2. Acondicionamiento del terreno

El procedimiento llevado a cabo durante la fase de implantación del cultivo (marzo 2008) fue el siguiente:

- **Tratamiento previo de la vegetación.** No fue necesaria una actuación específica sobre la vegetación preexistente, realizando el procedimiento de control de la competencia de manera combinada con las labores de preparación del terreno, ya que la cobertura vegetal estaba compuesta fundamentalmente por herbáceas de escasa talla con recubrimientos por debajo del 80% del terreno.

Tabla X.3. Descripción del ensayo con clones de *Salix* spp. con fines energéticos.

Diseño experimental	Bloques completos al azar
Número de repeticiones	3
Nº de unidades experimentales por repetición	18
Nº total de unidades experimentales	54
Clones (especies parentales)	Bjorn (<i>Salix schwerinii</i> × <i>Salix viminalis</i>) Inger (<i>Salix trianta</i> × <i>Salix viminalis</i>) Olof (<i>Salix viminalis</i> × (<i>Salix schwerinii</i> × <i>Salix viminalis</i>))
Densidad de plantación (plantas ha ⁻¹) → espaciamiento entre estaquillas (m)	N1=10.000 → 0,9 N2=15.000 → 0,6
Tratamiento combinado de fertilización + herbicida	F0 (control): sin fertilización ni aplicación de herbicida F1: 300 kg ha ⁻¹ de NPK 6:20:12 + glifosato 4 L ha ⁻¹ F2: 600 kg ha ⁻¹ de NPK 6:20:12 + glifosato 4 L ha ⁻¹

- **Procedimiento de preparación del terreno.** El terreno se preparó mediante un subsolado siguiendo la línea de máxima pendiente (figura X.2), a una profundidad media-alta (0,60 a 1,00 m), para airear bien el terreno y mejorar el establecimiento de los sistemas radicales. Para ello se utilizó un tractor agrícola de 132 CV de potencia (marca Claas, modelo Ates 656) con un rejón y pase de subsolado cada 2,25 m. La separación entre líneas de subsolado atiende a facilitar la fase de plantación manual. Tras el subsolado se realizó un alzado completo del terreno con una grada de discos agrícola (marca Marni, modelo Grh 16/30) y posteriormente un pase de rotovator de 1,90 m de ancho (marca Agrator, tipo AM 1900), para disponer un suelo bien mullido y meteorizado en el momento de la plantación.
- **Cuidados culturales previos a la plantación.** Una vez finalizada la preparación del terreno, se procedió a aplicar una fertilización de fondo en cada una de las parcelas de abonado (NPK 8:24:16) en dosis de 500 kg ha⁻¹. El fertilizante se incorporó al suelo con el gradeo ya descrito. Posteriormente se procedió al replanteo en el terreno de las 54 parcelas, marcando los cuatro vértices con estacas y etiquetas según el código de la parcela (figura X.2).

3.3. Plantación

La plantación se realizó manualmente (figura X.3) con estaquillas de tallo lignificadas, de brotes de un año, sanas, rectas y sin lesiones en la corteza, de unos 20 cm de longitud y entre 1,5 y 2 cm de diámetro, procedente de la empresa sueca “*Salix Energy*”, especialista en la producción de este tipo de material vegetal. Las estaquillas fueron clavadas en el suelo dejando unos 3-4 cm por encima del nivel de éste.



Preparación del terreno mediante subsolado lineal en máxima pendiente con tractor agrícola.



Detalle de una de las estacas que delimita uno de los cuatro vértices de cada parcela, debidamente etiquetada con el código de la parcela.

Figura X.2. Preparación del sitio de plantación y referencias para establecimiento del ensayo (fotos: M Castaño y A Cámara).

Se ha seguido el esquema de plantación sueco de doble fila por ser el método más frecuente y con mejores resultados en cultivos de sauce, con la única modificación de trabajar en máxima pendiente al tratarse de una zona inestable, en lugar de trabajar en curva de nivel como proponen la mayoría de los estudios. En consecuencia, la plantación se hizo en máxima pendiente. Las dimensiones dependen exclusivamente de la densidad seleccionada. Para densidades de 10000 pies ha^{-1} se utiliza una separación entre plantas dentro de la misma línea de 0,9 m, y de 0,6 m para densidades de 15000 pies ha^{-1} . La separación entre líneas adyacente es siempre de 0,75 m, siendo la separación entre dobles líneas de 1,5 m (figura X.4).

3.4. Cuidados posteriores a la plantación

Se llevaron a cabo los siguientes cuidados tras la plantación:

- **Cierre perimetral del ensayo.** Los sauces son especies muy palatables para la fauna doméstica y salvaje. La presencia de abundante ganado, especialmente vacuno y caballar en la zona requirió protección física de la plantación, con lo que se instaló una malla ganadera de 1,6 m de alto, a lo largo del perímetro del ensayo.
- **Control de malas hierbas.** En relación a la cobertura herbácea previa, las labores de preparación del terreno (grada de discos y fresado) provocaron la fragmentación de las raíces de las herbáceas y una gran infestación posterior de las mismas en toda la superficie del cultivo, por lo que fue necesario la aplicación de un tratamiento de herbicida de preemergencia sobre las estaquillas sin brotar con la materia activa Oxifluorfen a razón de 5 l ha^{-1} con mochila convencional (2 bares de presión) (figura X.5).

Las intensas lluvias sufridas durante la primavera del 2008 dificultaron no sólo el comienzo de las labores de preparación del terreno, sino la aplicación del herbicida de preemergencia, ya que había elevados riesgos de que quedara lavado y su eficacia fuera nula. La ausencia de herbicida en un terreno laboreado y fertilizado provocó una explosión de herbáceas sobre la plantación de sauce que hubo que contener nuevamente



Plantación manual de las estaquillas siguiendo las líneas de plantación previamente señalizadas.



Se plantaron estaquillas de tallo lignificadas, dejándolas el operario unos 3 o 4 cm. por encima de superficie del suelo.

Figura X.3. Detalle de la plantación (fotos: M Castaño y A Cámara).

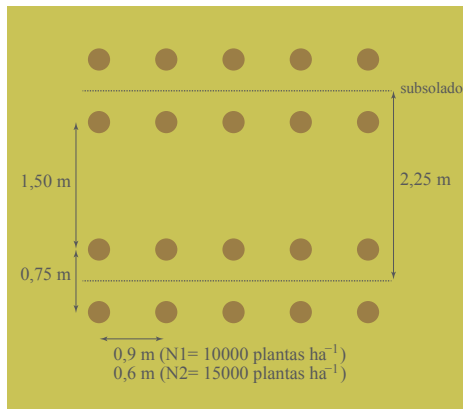


Figura X.4. Esquema explicativo de las densidades de plantación ensayadas en Mozquita siguiendo el diseño del método de plantación sueco de doble línea y separación entre líneas subsoladas.

con la aplicación del herbicida preemergente, ya que había sectores que la hierba aún no había colonizado, y postemergente (Glifosato) en aquellas zonas donde la profusión de herbáceas podía poner en peligro el cultivo (figura X.5).

3.5. Corrección de las condiciones del suelo

Caracterización de los suelos de la zona

Para la caracterización edáfica de la zona de estudio se tomaron muestras de suelo en cada una de las parcelas, siendo un total de 54 puntos de muestreo. Para ello se realizó con un recorrido en zigzag, evitando los bordes, a una profundidad de 0-20 cm. con la ayuda de una sonda holandesa. Se obtuvieron muestras compuestas por la homogeneización de 5 submuestras en cada parcela, con el fin de abarcar la variabilidad de la misma.



Detalle de una estaquilla brotada.



Aplicación de herbicida postemergencia.

Figura X.5. Brotación de las plantas en 2008, tras su plantación. Ese año fue imprescindible efectuar control de la competencia (fotos: M Castaño y A Cámara).

Las muestras se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron, se trituraron suavemente y se hicieron pasar a través de un tamiz de 2 mm de malla circular, para descartar las partículas gruesas, finalmente fueron etiquetadas y guardadas en bolsas de plástico para su posterior análisis en el laboratorio.

La textura ha analizado por el método de la pipeta Robinson, con hexametáfosfato sódico y Na_2CO_3 como dispersante; para el pH se usó un potenciómetro y el suelo en una suspensión de agua 1:2.5; las sales solubles en el extracto 1:5; las bases extraíbles con NH_4IN (Peech *et al.* 1947) y Al intercambiable con KCl 1M, ambos por absorción atómica en un equipo modelo Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200). Se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva mediante la suma de los cationes básicos más el aluminio de cambio (Kamprath 1970); nitrógeno total por el método Kjeldahl (Klute 1996); el carbono orgánico por ignición, para el fósforo disponible se utilizó la técnica de Mehlich 3 (Mehlich 1985), por ser la más adecuada para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos (Fernández 1997; Monterroso *et al.* 1999; Afif y Oliveira 2006).

Se dispone de un estudio edáfico anual (desde 2008 a 2012) para analizar el impacto de la fertilización y otros aportes de materia orgánica en estos suelos durante la primera rotación. La tabla X.2 muestra la caracterización de partida, imprescindible para tomar las medidas oportunas a tener en cuenta para poder enmendar las deficiencias edáficas detectadas. La tabla X.4 presenta la evolución de los parámetros edáficos a lo largo del turno.

Corrección de las características del suelo: enmiendas y dosificación / herbicida

Tras hacer una revisión bibliográfica exhaustiva de ensayos con cultivos energéticos empleando sauce, además de tener en cuenta que en este caso se trataba de terrenos pobres y poco fértiles, se optó por ensayar con dos dosis de fertilizante químico convencional NPK (tabla X.3) que reportaban investigaciones internacionales. De ahí que se decidiera por:

- Tratamiento F0, también denominado testigo o control, no tuvo aporte de fertilizante adicional ni tratamiento herbicida.

Tabla X.4. Evolución de los parámetros edáficos desde el comienzo del ensayo en el año 2008, hasta finalizar el primer turno en el año 2012.

Parámetros edáficos	Plantación (año 2008)	Corta final (año 2012)
pH	6,70	6,39
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,21	0,24
Materia orgánica (%)	1,60	3,31
Carbono [C] (%)	0,93	1,92
Nitrógeno [N] (%)	0,11	0,16
Relación C/N	8,93	12,13
Fósforo [P] (cmol (+) kg ⁻¹)	5,72	7,56
Potasio [K] (cmol (+) kg ⁻¹)	0,37	0,36
Calcio [Ca] (cmol (+) kg ⁻¹)	5,39	5,21
Sodio [Na] (cmol (+) kg ⁻¹)	1,40	0,77
Aluminio [Al] (cmol (+) kg ⁻¹)	2,04	1,81
Magnesio [Mg] (cmol (+) kg ⁻¹)	3,52	2,49
Capacidad de intercambio catiónico [CIC] (cmol (+) kg ⁻¹)	12,91	10,65

- Tratamiento F1, fue fertilizado el primer año con 80 kg ha⁻¹ de nitrato amónico (20-25% N) y se le aplicó herbicida de translocación y contacto a ultra bajo volumen. A partir del 2º año, el aporte fue anual a razón de 300 kg ha⁻¹ de NPK de liberación gradual + 2MgO y herbicida en la misma dosis que el primer año.
- Tratamiento F2, recibió los mismos tratamientos que el nivel 1 pero en cantidades mayores: 160 kg ha⁻¹ de NH₄NO₃ el primer año y 600 kg ha⁻¹ de NPK de liberación gradual + 2MgO los años posteriores, manteniendo el herbicida en el mismo volumen.

4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

Durante los años transcurridos desde la instalación del cultivo energético en terrenos degradados de minería (año 2008), hasta finalizar el primer turno (año 2012), anualmente se llevó a cabo un seguimiento para conocer la evolución tanto de las propiedades físico-químicas del suelo (parámetros edáficos), como del crecimiento y la producción de biomasa [parámetros de producción] (figura X.6) en función de los factores considerados en el ensayo (clon, cuidados culturales, y densidad), así como de la vegetación herbácea y/o de matorral competidora.



Vista de una parcela del clon Olof durante el inventario de crecimiento.



Procesado de las cepas para estimar la biomasa en peso verde durante el inventario de campo.

Figura X.6. Detalle de material objeto de evaluación de crecimiento en el otoño de 2012 y procesado para estimación de rendimientos (fotos: M Castaño y A Cámara).

Parámetros edáficos

En relación al seguimiento de los parámetros edáficos tras el aporte anual de fertilizante químico convencional NPK, en líneas generales, cabe destacar el aumento del contenido de materia orgánica, la cantidad de C, N total y de P disponible entre 2008 y 2012. El pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico se mantuvieron relativamente constantes.

Crecimiento y producción de biomasa

En cuanto a los resultados obtenidos en los inventarios realizados en campo, tanto del crecimiento de los clones, como de la producción de biomasa de cada uno de ellos, sin lugar a duda, ha sido el clon Olof el que mejor adaptabilidad ha mostrado al medio, tanto el crecimiento en altura como en diámetro, así como en la estimación de la producción de biomasa (figura X.7 y tabla X.5); seguido del clon Inger que a pesar de que ha sido el que mayor número de brotes ha generado, se encuentra por debajo tanto en crecimiento como en producción de biomasa respecto al clon Olof. El clon Bjor ha sido el que peores rendimientos ha revelado.

Efecto de los factores densidad y tratamientos de fertilización + herbicida

El factor densidad ha manifestado, a la vista de los resultados, que los clones Olof e Inger en combinación con la densidad N2, resultan ser más productivos que con la densidad N1, mientras que en el caso del clon Bjor este suceso es al contrario, las producciones son mayores en N1 que en N2.

En relación a las diferencias de crecimiento y de producción de biomasa en función de los tratamientos combinados de fertilizante mas herbicida, hay que destacar que se observaron grandes diferencias entre las parcelas control (F0), en las que no se hizo ningún aporte de fertilizante ni herbicida, respecto a las denominadas F1 y F2. Por otra parte, es importante señalar las desigualdades encontradas en la comparación de las parcelas en las que sí se realizó aporte de abono químico y herbicida, ya que no sigue un patrón que permita indicar

Plantaciones energéticas

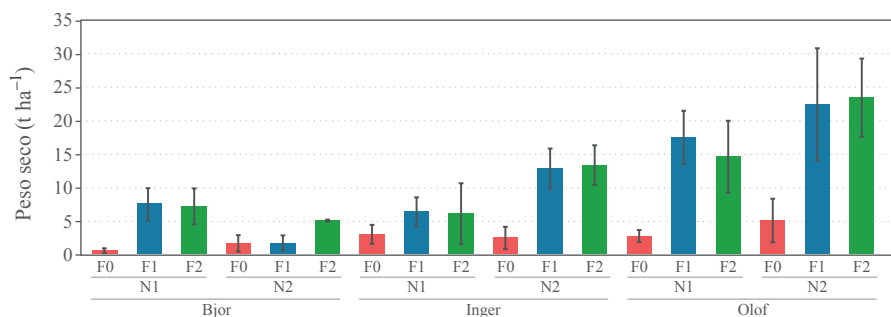


Figura X.7. Estimación de la producción de biomasa en peso seco al final del turno (año 2012) de los 3 clones ensayados, según las 2 densidades de plantación propuestas y los 3 tratamientos (media \pm desviación estándar).

Tabla X.5. Valores de producción de biomasa (peso seco y volumen) y energía en función de los diferentes factores considerados en el ensayo (el significado de las siglas para los tratamientos puede consultarse en la tabla X.3).

Clon	Densidad	Tratamiento fertilizante + herbicida	Biomasa seca (t ha ⁻¹ turno ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹ turno ⁻¹)	Energía (MJ kg ha ⁻¹ turno ⁻¹)
Bojen	N1	F0	0,49	0,61	532,39
		F1	7,45	7,89	8079,55
		F2	6,91	7,33	7493,97
	N2	F0	1,02	1,28	1110,84
		F1	1,45	1,12	1574,64
		F2	4,85	5,29	5264,59
Inger	N1	F0	2,76	2,39	2996,07
		F1	6,03	3,00	6541,76
		F2	5,99	3,62	6495,38
	N2	F0	2,33	2,02	2526,41
		F1	12,61	4,44	13682,52
		F2	10,48	4,95	11370,02
Olof	N1	F0	2,42	2,60	2622,88
		F1	17,25	18,78	18722,59
		F2	14,56	16,52	15800,17
	N2	F0	4,78	4,13	5183,53
		F1	22,16	20,58	24052,33
		F2	23,20	19,79	25179,80

cuál de los dos tratamientos sería el más adecuado para conseguir la mayor producción; aunque en este estudio al final del turno fue la dosis F2, en combinación con el clon Olof, el que obtuvo una mayor producción de biomasa.

En cuanto al seguimiento de la vegetación competidora llevado a cabo durante el primer turno de la plantación energética, es relevante señalar que, durante los primeros años del ensayo, cuando la competencia de las herbáceas con el cultivo tuvo un mayor riesgo, se realizaron inventarios a pie de campo para evaluar tanto la cobertura, como su clasificación. La cobertura de las herbáceas fue de aproximadamente un 70%, no existiendo grandes diferencias entre las diferentes fertilizaciones. En cuanto a la clasificación de las especies, se podría hablar en términos generales de un mayor porcentaje de gramíneas, alrededor del 50% de la cobertura (*Holcus* sp., *Agrostis* sp., *Poa pratensis*, *Dactylis* sp., *Festuca* sp., etc.), algo más del 30% de leguminosas (*Medicago sativa*, *Trifolium repens*, *Vicia sativa*, etc.), y el resto correspondiente a otras especies herbáceas (*Bellis* sp., *Sonchus oleraceus*, *Plantago* sp., *Rumex acetosella*, etc.).

Agradecimientos

Los terrenos en los que se han establecido los cultivos han sido cedidos por la empresa HUNOSA, que además cofinanció junto con la Cátedra HUNOSA de la Universidad de Oviedo, el proyecto “Técnicas de cultivo forestal aplicadas a la biorremediación y uso de suelos marginales para garantizar el suministro de biomasa”, en el cual se engloba este estudio, dentro del proyecto singular estratégico “Eco-Combos”.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamson LP, Volk TA, Kopp RF, White EH, Ballard JL (2002) Willow Biomass Producer's Handbook. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, NY
- Afif KE, Oliveira JA (2006) Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. Pastos 35:29–74
- Antuña FS (2005) La organización de los espacios mineros de la hulla en Asturias. Scripta Nova 9:203
- Aronsson PG, Bergstrom LF (2001) Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. Biomass Bioenergy 21(3):155–164
- Broeckx LS, Verlinden MS, Ceulemans R (2012) Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium): Effects of genotype and former land use. Biomass Bioenergy 42:151–163
- Bungart R, Hüttl R (2004) Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. Eur. J. For. Res. 123:105–115
- EEA (2011) Biogeographical regions. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. [online] URL: <http://www.eea.europa.eu/dataand-maps/data/biogeographical-regions-europe-1>]
- Fernández ML (1997) Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. Edafología 3:189–203
- Gordon JC (1975) The productive potential of woody plants. Iowa S. J. Res. 49:267–274
- Gruenewald H, Brandt BKV, Schneider BU, Bens O, Kendzia G, Hüttl RF (2007) Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. Ecol. Eng. 29:319–328

- Hall DO, House JI (1994) Trees and biomass energy: carbon storage and/or fossil fuel substitution?. *Biomass Bioenergy* 6:11–30
- Hansen EA (1991) Poplar woody biomass yields: a look to the future. *Biomass Bioenergy*. 1:1–7
- Huettl RF, Bens O, Schneider U (2000) Forests and Energy: 1st Hannover EXPO 2000 World Forest Forum. *Ecol. Eng.* 16:1-135
- Jama A, Nowak W (2012) Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils. *Polish J. Agro.* 9:3-6
- Kamprath EJ (1970) Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:252-54
- Keoleian GA, Volk T (2005) Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 24:385–406
- Klute A (1996) *Methods of Soil Analyses*. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA
- Kuzovkina YA, Quigley MF (2005) Willows beyond wetlands: uses of *Salix* L. Species for environmental projects. *Water, Air, Soil Poll.* 1-4:183–204
- Labrecque M, Teodorescu TI (2003) High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass Bioenergy* 25:135–146
- Larsson S, Bullard MJ, Christian DG, Knight JD, Lainsbury MA, Parker SR (2001) Commercial varieties from the Swedish willow breeding programme. *Aspects App. Biol.* 65:193-198
- Lindegaard KN, Cater MM, McCracken A, Shield IF, Macalpine W, Hinton Jones M, Valentine J, Larsson S (2011) Comparative trials of elite Swedish and UK biomass willow varieties 2001 – 2010. *Aspects App. Biol.* 112:57–66
- Lindroth A, Båth A (1999) Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. *Forest Ecol. Manag.* 121:57–65
- Mead DJ (2005) Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic?. *Biomass Bioenergy* 28(2):249–266
- Melissari B (2012) Comportamiento de Cenizas y su Impacto en Sistemas de Combustión de Biomasa. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica. 10:69–82
- Mehlich A (1985) Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Sci. and Plant Anal.* 15:1409–1416
- Mitchell CP, Stevens EA, Watters MP (1999) Short-rotation forestry operations, productivity and cost based on experience gained in the UK. *Forest Ecol. Manag.* 121:123–136
- Monterroso CF, Álvarez E, Fernández ML (1999) Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degrad. Devel.* 10:35-47
- Mortensen J, Nielsen KH, Jorgensen U (1998) Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass Bioenergy* 15(6): 457–466
- Muschler RG, Bonnemann A (1997) Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecol. Manage.* 91:61–73
- Peech M, Alexander LT, Dean LA, Reed JF (1947) *Methods of soil analysis for soil fertility investigations*. U.S.D.A. Cir. 757. U.S. Gov. Print. Washington, DC
- Perttu KL (1995) Ecological, biological balances and conservation. *Biomass Bioenergy* 9: 107–116
- Sage RB (1999) Weed competition in willow coppice crops: The cause and extent of yield losses. *Weed Research* 39:399–411
- Stolarski M, Szczukowski S, Tworkowski J, Klasa A (2008) Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles. *Biomass Bioenergy* 32:1227–1234
- Venturi P, Gigler JK, Huisman W (1999) Economical and technical comparison between herbaceous (*Miscanthus x giganteus*) and woody energy crops (*Salix viminalis*). *Renewable Energy* 16:1023–1026
- Volk TA, Verwijst T, Tharakan PJ, Abrahamson LP, White EH (2004) Are short-rotation woody crops sustainable? En: *Proceedings of the Second World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Rome, Italy, pp. 34–39

Willebrand E, Ledin S, Verwijst T (1993) Willow coppice systems in short-rotation forestry effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass Bioenergy* 4:323-31

Zurba K, Oertel C, Matschullat J (2013) CO₂ emissions from willow and poplar short rotation forestry (SRF) on a derelict mining soil, Conference: International Scientific Conference - Environmental changes and Adaptation Strategies. At Skalica, Slovakia

Caso práctico XI

Forestación de terrenos agrícolas: plantación de pino carrasco en Huéscar (Granada) y plantación mixta de algarrobo y encina en Puerto Real (Cádiz)

Rafael M^a NAVARRO CERRILLO, Carlos J. CEACERO RUIZ,
Miguel LARA, Francisco J. RUIZ-GÓMEZ, Andrés CORTÉS,
Guillermo PALACIOS RODRIGUEZ

1. Bases teóricas del tipo de restauración

1.1. Contexto general

La repoblación forestal cumple gran parte de los objetivos que se fijan en la aplicación de políticas para las zonas rurales marginales o susceptibles de abandono, ya que contribuye a la integración de la agricultura y la silvicultura y se ofrece como una alternativa que permite la diversificación de actividades en el mundo rural, junto con otro tipo de alternativas posibles tales como la extensificación y el barbecho, los cultivos especiales o las actividades de recreo y turismo.

La reforma de la PAC, aprobada en mayo de 1992, desarrolló un conjunto de medidas estructurales de apoyo de esa reforma, una de las cuales contempló el Reglamento (CEE) n^o 2080/92, por el que se estableció un régimen comunitario de ayudas a las medidas forestales en la agricultura. Sobre la base del Reglamento 2080/92, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en colaboración con las Comunidades Autónomas y las Organizaciones de Productores Agrarias, desarrolló el Real Decreto 378/93, de 12 de marzo (y su correspondiente desarrollos normativos posteriores) y el Programa de Ayudas para fomentar inversiones forestales en explotaciones agrarias, coincidiendo ambos en los aspectos fundamentales. A partir de la promulgación de los citados Reales Decretos, han sido las Comunidades Autónomas las responsables de su desarrollo y puesta en marcha confiriéndoles este hecho la máxima responsabilidad y protagonismo (Vadell Guiral *et al.* 2019).

En estos veinticinco años de aplicación del régimen de ayudas para fomentar inversiones forestales en tierras agrarias en España se han aprobado actuaciones sobre una superficie de 732926 ha. La máxima extensión aprobada se concentró en cuatro CCAA (Andalucía,

Castilla y León, Castilla y la Mancha y Extremadura (93%) (Gómez y Jiménez 1997; MAPA 2006; MAPAMA 2015) (figura XI.1 y XI.2).

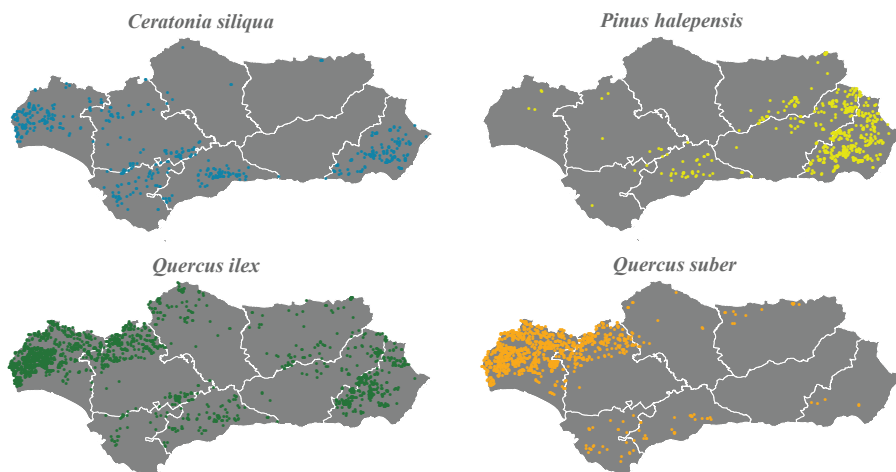


Figura XI.1. Distribución y superficie de expedientes de forestación de tierras agrarias con diferentes especies en Andalucía (fuente: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía; Navarro-Cerrillo 2018).

1.2. Problemática específica de los terrenos agrícolas de reciente abandono

La forestación de terrenos agrícolas presenta una serie de dificultades para el arraigo de las plantas forestales debido, fundamentalmente, a la alteración de los factores físicos, químicos y biológicos que la actividad agrícola genera en el suelo, a lo que se añade normalmente la presencia de una importante y dinámica competencia herbácea. Lograr una supervivencia y un crecimiento adecuados durante las repoblaciones realizadas en terrenos agrícolas ha mostrado tener numerosas dificultades, y ha sido la principal preocupación de los profesionales ocupados de la reforestación de este tipo de terrenos. Entre las causas de las marras se pueden citar las siguientes (figura XI.3):

- **Limitaciones edáficas y climáticas.** La frecuencia de años especialmente adversos desde el punto de vista climático, en particular durante el período de plantación y durante los primeros años de establecimiento de la forestación, es una de las principales causas de marras en forestaciones (Gómez y Elena-Roselló 1996 a y Zb). El clima es, por tanto, uno de los factores que más condiciona el éxito de la forestación, y su efecto puede ser atenuado con las prácticas de repoblación.
- **Mala elección de especie.** La incorrecta elección de especies, propiciada en ocasiones por forzar el uso de las más productivas y/o socialmente más aceptadas, ha dado lugar a numerosos problemas de marras o crecimientos insuficientes de trabajos de forestación (figura XI.4).
- **Calidad y procedencia de la planta de vivero.** La selección adecuada del material forestal de reproducción y de la calidad funcional de la planta



Forestación de encina en
Puebla de Guzmán (Huelva).



Forestación de nogal en
Puebla de Don Fabrique (Granada).



Forestación mixta de pino carrasco y sabina
en Huéscar (Granada).

Figura XI.2. Ejemplos de trabajos de forestación de tierras agrarias en Andalucía
(fotos: RM^a Navarro Cerrillo).

de vivero puede ayudar a minimizar los efectos de los factores limitantes durante la fase de arraigo. La escasa información sobre la procedencia de la semilla o del material vegetal utilizado, y el control de la planta de vivero ha comprometido (y puede seguir haciéndolo en el futuro) el éxito de muchas forestaciones (del Campo *et al.* 2010).

- **Operaciones de preparación y plantación.** La elección del método principal de repoblación (en particular las siembras) sin considerar las condiciones de la estación, el temperamento y la capacidad de crecimiento inicial de la especie seleccionada, junto a las condiciones del clima, el suelo y la predación, ha dado lugar a pérdidas importantes (Navarro-Cerrillo y Martínez 1996 a; Navarro-Cerrillo *et al.* 2009). Por otro lado, la elección de los procedimientos de preparación del suelo, a veces sobre la base de la reducción de costos o criterios técnicos discutibles, ha resultado determinante en el fracaso de muchas forestaciones (Bocio *et al.* 2004; Palacios *et al.* 2009). En lo relativo a los trabajos previos, y en concreto el tratamiento de la vegetación preexistente, hay que considerar la agresividad de la vegetación herbácea con las plantas recién establecidas, lo que ha provocado, en algunos casos, un importante porcentaje de marras, o bien ha retrasado su crecimiento (Pardos *et al.* 2003; Navarro-Cerrillo *et al.* 2005; Rey-Benayas, *et al.* 2005). Por



Muerte por herbivoría
(foto: RM^a Navarro Cerrillo).



Inadecuado mantenimiento de la plantación
(foto: RM^a Navarro Cerrillo).



Marras por patologías del suelo
(foto: R Sánchez de la Cuesta).

Figura XI.3. Marras producidas en trabajos de forestación de tierras agrarias.

último, un factor poco controlado en muchas de las forestaciones ha sido la fecha de plantación, que ha mostrado tener un efecto muy importante en el éxito de las plantaciones (Palacios *et al.* 2009; Navarro-Cerrillo *et al.* 2014).

- **Inadecuado mantenimiento de las forestaciones.** La ausencia o precariedad de los cuidados culturales (tipo, calidad y frecuencia) han dado lugar a porcentajes muy elevados de marras durante los años posteriores a los trabajos de forestación de tierras agrarias (Navarro-Cerrillo y Martínez 1996 b). En particular, los aspectos más influyentes han sido las técnicas de mantenimiento del suelo (Navarro-Cerrillo *et al.* 2005; Jiménez *et al.* 2007; Ceacero *et al.* 2012), la protección de las plantaciones contra daños producidos por animales y/o agentes meteorológicos (Oliet *et al.* 2003), y la inadecuada gestión silvopastoral de las plantaciones (Gaspar *et al.* 2008).

1.3. Elección del modelo restaurador

Los terrenos agrícolas, por sus características ecológicas y productivas, tienen un potencial repoblador muy alto. Tal y como se mencionó, en Andalucía el destino final de la mayor parte de estas plantaciones debe ser sistemas silvopastorales, en sistemas extensivos o en

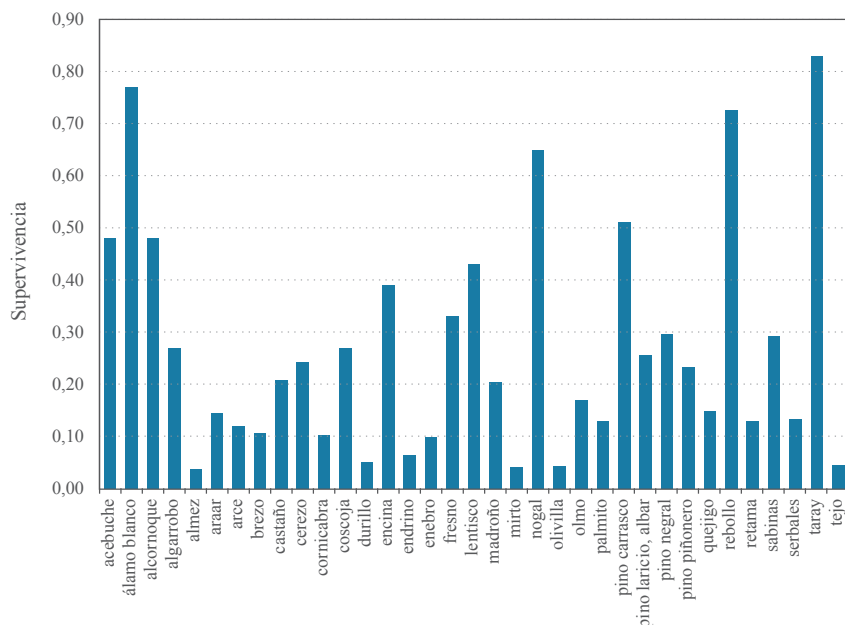


Figura XI.4. Supervivencia según especies en expedientes de forestación de tierras agrarias en Andalucía (fuente: Navarro Cerrillo 2018).

formaciones adhesadas, promoviendo lo antes posible su uso silvopastoral, mediante el aprovechamiento ordenado de la vegetación herbácea. El abandono, o el inadecuado mantenimiento de los trabajos de forestación, bien por problemas económicos o administrativos, pueden comprometer la viabilidad a largo plazo de muchos de los trabajos realizados. Partiendo de esta premisa, y de las principales especies utilizadas en forestación, se considera que los modelos restauradores serían los siguientes:

- Recuperación de áreas degradadas, en plantaciones puras o mixtas, con funciones protectoras. En conjunto estas formaciones mixtas contribuyen al control de los procesos erosivos y al aumento de nichos ecológicos (mayor diversidad de flora y fauna) (Rey-Benayas y Camacho 2004; Santos *et al.* 2006).
- Diversificación de paisajes agrícolas, favoreciendo los procesos de restauración de la vegetación y la densificación de cubiertas. Lo anterior es particularmente importante en las repoblaciones en zonas de menor diversidad, donde la forestación puede contribuir a formar mosaicos de vegetación que tienen una función crucial en la recuperación de la flora y fauna (Sánchez-Oliver *et al.* 2014).
- Plantaciones extensivas (sistemas silvopastorales), con potencial de aprovechamiento ganadero, cinegético o de productos forestales no maderables (Blázquez y Fernández 2008).
- Plantaciones en sistemas de “recolección de agua” (oasificación) en trabajos de restauración en zonas áridas y semiáridas (Navarro Hevia *et al.* 2009).

- Plantaciones de especies forestales con potencial productor, tanto de madera (por ejemplo, nogal; Cisneros *et al.* 2002), como de productos forestales no maderables (por ejemplo, pino piñonero).

1.4. Planificación de la restauración

En la tabla XI.1 se resumen las principales actuaciones para el establecimiento y la gestión de plantaciones forestales en terrenos agrícolas.

Tabla XI.1. Resumen de actuaciones para el establecimiento y la gestión de plantaciones en forestación de tierras agrarias.

Características y actuaciones	
Estación	Terrenos agrícolas marginales
Objetivos	Restauración, diversificación, producción, etc.
Materiales forestales de reproducción	
Procedencia	De acuerdo con las regiones de procedencia oficiales
Planta tipo	1 savia en envases forestales (200-300 cm ³) (8-10 cm de altura) o 2-3 savias en envase de gran volumen (>1000 cm ³) (20-30 cm de altura)
Preparación del suelo y plantación	
Fecha de plantación	Noviembre-marzo
Tratamiento previo de la vegetación	Laboreos o gradeos
Preparación del suelo	Subsolado (sencillo o doble) o laboreo profundo (producción) o acaballonado
Cuidados culturales tras la plantación	
Tubos	Tubos invernaderos perforados Mallas de sombra
Riegos	Establecimiento y durante el primer verano (recomendables)
Reposición de marras	Primer año
Escardas y binas	Laboreo (producción) o gradeos (restauración)
Gestión de la plantación	
Control de la competencia herbácea	Gradeo (producción). Pastoreo ligero con ganado ovino.
Podas	Formación durante los 4-6 primeros años
Fertilización	Recomendable (producción)

2. Forestación de *Pinus halepensis* en Huéscar (Granada).

2.1. Caracterización ambiental de la zona de restauración

La zona de restauración se encuentra en el Término Municipal de Huéscar (Granada, coordenadas 37° 49' 16" N, 2° 36' 43" O) (figura XI.5). Se trata de una plantación de pino carrasco (*Pinus halepensis*) realizada en el año 1993, sobre una superficie de 50 ha

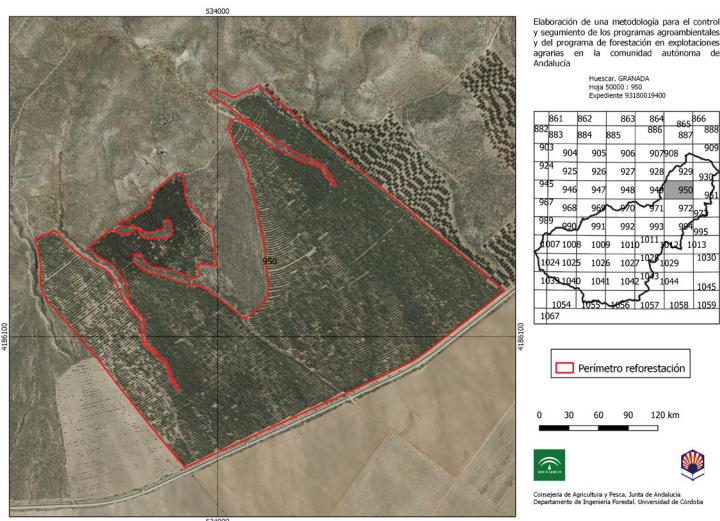


Figura XI.5. Localización y perímetro del expediente de reforestación 93180019400 de *Pinus halepensis* (TM de Huéscar, Granada).

y con una densidad inicial de 780-800 pies ha⁻¹, en un terreno con una topografía suave y ondulada, con pendientes inferiores al 10%, por lo que no existen problemas graves de erosión ni escorrentía en la zona.

El clima es Mediterráneo genuino (tabla XI.2), caracterizado por un fitoclima IV₁ y IV₃ (Allué 1990), con precipitaciones entre 400 y 500 mm. La vegetación potencial se corresponde con el área de distribución de los encinares meso mediterráneos béticos, secos-subhúmedos basófila de la encina, sobre regosoles calcáreos y rendzinas, con inclusión de xerosoles petrocálcicos, que se han cultivado de forma histórica. En condiciones adecuadas la vegetación dominante son encinares de densidad variable, subhúmedos, bajo los que se desarrolla un arbustido diverso (*Quercus coccifera*, *Retama sphaerocarpa*). En la actualidad el paisaje está dominado por cultivos agrícolas herbáceos y leñosos, con encinares de porte arbustivo en contacto con pinares de pino carrasco y pino salgareño (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*).

Tabla XI.2. Condiciones climáticas medias en Huéscar (estación meteorológica de Huéscar situada a 785 m s. n. m.; período 2007-2010) (Consejería de Agricultura y Pesca 2011).

Parámetro bioclimático	Valor medio
Precipitación media anual (mm)	457
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	7,9
Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	19,5
Temperatura media anual (°C)	13,7
Evapotranspiración anual (°C)	808,3

2.2. Actuaciones de restauración

2.2.1. Planificación

En el caso de esta forestación, el terreno carecía de cualquier tipo de cubierta arbórea, ya que se había dedicado al cultivo agrícola de forma regular, por lo que el modelo de restauración seleccionado fue una plantación pura de pino carrasco (*Pinus halepensis*), por ser la especie adecuada desde el punto de vista biogeográfico y edafo-climático. No se optó por la mezcla con otras especies, como la encina (presente en zonas limítrofes), por elegirse un tipo de plantación simplificado de acuerdo a las preferencias del propietario, y de acuerdo a los resultados positivos de otras plantaciones forestales antiguas realizadas en zonas próximas.

2.2.2. Ejecución

Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

La preparación del suelo se realizó mediante un subsolador agrícola hasta una profundidad de 60 cm, seguido del pase de una grada ligera. El desbroce de la vegetación herbácea se realizó de forma simultánea a la preparación del suelo. En el momento del establecimiento, se dio una preparación adicional del punto de plantación mediante un ahoyado manual sobre el terreno preparado (20 × 20 × 20 cm).

Plantación

La plantación se hizo en otoño de 1993, a un marco regular de, aproximadamente, 3,5 × 3,5 m con planta de vivero. Las semillas se colectaron de árboles próximos a la plantación, y la planta se cultivó en el vivero Ponce-La Jara (Galera, Granada) en alveolo forestal, aunque no se dispone de las características funcionales de la planta de vivero. La plantación se realizó de forma manual sobre el hoyo de plantación, a unos 20 cm de profundidad efectiva. La fecha de plantación fue el otoño, con el suelo en tempero.

Cuidados culturales

Debido a las condiciones de establecimiento (insolación, sequía estival, etc.) y al temperamento de la especie seleccionada (*P. halepensis*) (especie de temperamento robusto), se optó por limitar los cuidados culturales a los mínimos requeridos para garantizar el arraigo de las plantas y un crecimiento razonable de acuerdo con los objetivos de la restauración (figura XI.6):

- Tubos. No se utilizaron protectores verticales en la plantación
- Riegos. La plantación no recibió riegos de establecimiento.
- Laboreos. Periódicamente se realizó un gradeo para eliminar la vegetación adventicia (1 vez al año, a comienzo de la primavera).
- Podas de formación. No se han realizado podas de formación de los pies.
- No se utilizó en ningún caso ni hidrogeles ni acolchados (*mulch*), así como tampoco enmiendas o fertilizaciones.



Figura XI.6. Vistas de 2018 de la forestación con *Pinus halepensis* en tierras agrarias en el término municipal de Huéscar (Granada) (fotos: RM^a Navarro Cerrillo).

2.3. Mantenimiento

El mantenimiento de la forestación también ha quedado limitado al mínimo, en particular a aquellos trabajos dirigidos a proteger la plantación. Los cuidados culturales realizados en la plantación han estado orientados a:

- Protección contra incendios. Una vez se ha logrado el control de la competencia de la vegetación durante los años posteriores a la plantación, y mediante el uso de medios mecánicos, se ha realizado un mantenimiento general del perímetro de la plantación. En el resto de la superficie se ha producido una progresiva colonización por vegetación de matorral (*Retama sphaerocarpa*). No se ha realizado ninguna mejora del estrato herbáceo, en parte por su pobreza, y en parte por la ausencia de un aprovechamiento ganadero que oriente el uso silvopastoral de la plantación.
- Eliminación de pies muertos y podas. Se han realizado la eliminación de pies muertos, pero no se han hecho podas de formación.

2.4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

2.4.1. Características de la masa creada

La plantación en su estado actual está formada por individuos de pino carrasco de 25 años de edad, que forman una masa de densidad óptima y con árboles con una altura de 6,28 m y un diámetro normal de 18,18 cm (tabla XI.3).

Tabla XI.3. Características dasométricas de una plantación de pino carrasco de 15 y 25 años en Huéscar (Granada).

Edad	Densidad (pies ha ⁻¹)	Altura (m)	Diámetro normal (cm)	Área basimétrica (m ² ha ⁻¹)
15 (año 2006)	500	3,96	6,55	1,68
25 (año 2016)	464	6,28	18,18	6,86

2.4.2. Capacidad de secuestro de carbono en la forestación

En la plantación se han realizado estudios para estimar la capacidad de secuestro de carbono en forestaciones de pino carrasco en Andalucía, a partir de las medidas directas en campo de árboles individuales. Se establecieron un conjunto de ecuaciones alométricas a partir de árboles completos extraídos (tabla XI.4).

Tabla XI.4. Ecuación alométrica para la estimación de biomasa total (tronco + ramas y hojas + raíz) de una plantación de *Pinus halepensis* de 15 años (año 2008) en Huéscar (Granada) a partir del diámetro normal (d, cm) y la altura (h, m) (n = 10 árboles) (Gracia 2008).

Modelo	RMSE	R ² ajustado	F	P-value	Bias
$W_t = 3,41578 + 0,05127 (d^2 \cdot h) + 0,52213 (d \cdot h)$	3,99	0,918	197,7	<0,001	<0,001

A partir de las ecuaciones alométricas, y usando las medidas de altura y de diámetro normal obtenidos en campo, se calculó la biomasa por fracciones presente en la plantación durante los primeros 15 años de establecimiento (2008) (tabla XI.5). Bajo las condiciones particulares de esa plantación, la biomasa total media de un árbol de pino carrasco fue de 24,95 kg de materia seca. Como puede observarse, bajo las condiciones del estudio, los individuos de pino carrasco tienden a concentrar la mayor parte de la biomasa en el tronco y en la copa, que representan casi el 72% de la biomasa total del árbol.

Tabla XI.5. Biomasa por fracciones de una plantación de *Pinus halepensis* de 15 años en Huéscar (Granada) a partir de variables dasométricas (Gracia 2008) (media ± error estándar).

Peso seco (kg)				
Tronco	Raíz	Ramas	Hojas	Biomasa total
6,99 ± 1,45	6,95 ± 0,73	5,78 ± 1,16	5,28 ± 0,93	24,95 ± 3,26

Una vez obtenidos los valores de biomasa por árbol, se calculó la biomasa total por unidad de superficie de la forestación, y el total del carbono secuestrado en forma de biomasa (tabla XI.6). La biomasa total a los 15 años de la plantación era de 17,46 Mg ha⁻¹ (8,03 Mg C ha⁻¹). Por otro lado, se hizo una estimación del stock de carbono orgánico en el suelo (horizonte 0-20), lo que dio un valor medio de 7,28 Mg ha⁻¹, lo que suponía un total de carbono secuestrado para el conjunto del expediente de 765,50 Mg de carbono (tabla XI.6).

Tabla XI.6. Stocks de carbono en una plantación de *Pinus halepensis* de 15 años de 50 ha en Huéscar (Granada).

Densidad (pies ha ⁻¹)	Biomasa total por árbol (kg)	Biomasa total (Mg ha ⁻¹)	Carbono en biomasa (Mg ha ⁻¹)	Carbono en suelo (Mg ha ⁻¹)	Carbono total (Mg)
700	24,95	17,46	8,03	7,28	765,50

3. Forestación de *Ceratonia siliqua* y *Quercus ilex* en Puerto Real (Cádiz)

3.1. Caracterización ambiental de la zona de restauración

La zona de restauración se encuentra en el término municipal de Puerto Real (Cádiz, coordenadas 36° 30' 53" N, 6° 4' 41" O; expediente 93110001800) (figura XI.7). Se trata de una plantación mixta de algarrobo (*Ceratonia siliqua*) y de encina (*Quercus ilex*) realizada en el año 1993, sobre una superficie de 98 ha y con una densidad total de 500 plantas ha⁻¹, y una densidad de algarrobo de 238 pies ha⁻¹, en un terreno con una topografía suave y ondulada, con pendientes inferiores al 5%, por lo que no existen problemas graves de erosión ni escorrentía en la zona. La zona se caracteriza por un fitoclima IV₂ Mediterráneo genuino subtropical (Allué 1990) (tabla XI.7), con precipitaciones escasas.

Tabla XI.7. Condiciones climáticas medias en La Janda-Puerto Real (estación meteorológica de Puerto Real situada a 11 m s. n. m.; periodo 2007-2010) (Consejería de Agricultura y Pesca 2011).

Parámetro bioclimático	Valor medio
Precipitación media anual (mm)	507
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	14,3
Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	21,4
Temperatura media anual (°C)	17,8
Evapotranspiración anual (mm)	848,7

La vegetación potencial se corresponde con el área de distribución de los alcornoques en clima seco-subhúmedo-húmedo termo-meso mediterráneos sobre cambisoles cálcicos, con inclusión de regosoles calcáreos con arenas y margas, que se han cultivado de forma histórica. Serie de vegetación 26b: Termo-meso mediterránea, gaditano-onubo-algarviense y tingitana seco-subhúmedo-húmeda del alcornoque: *Oleo-Querceto suberis*. En condiciones adecuadas la vegetación dominante son alcornoques de densidad variable, sub-húmedos, bajo los que se desarrolla un arbustado diverso (*Quercus coccifera*, *Pistacia terebinthus*, *Phillyrea latifolia*).

En cuanto a los suelos, predominan los cambisoles cálcicos y los regosoles calcáreos, con presencia de arenas y margas. En la actualidad el paisaje está dominado por cultivos agrícolas, herbáceos y leñosos, con restos de manchas de porte arbustivo en contacto con encinares y alcornoques degradados.

3.2. Actuaciones de restauración

3.2.1. Planificación

En el caso de esta forestación, el terreno carecía de cualquier tipo de cubierta arbórea, ya que se había dedicado al cultivo agrícola de forma regular, por lo que el modelo de restauración seleccionado fue una plantación mixta de algarrobo y encina, por ser las especies más adecuadas desde el punto de vista biogeográfico y edafo-climático.

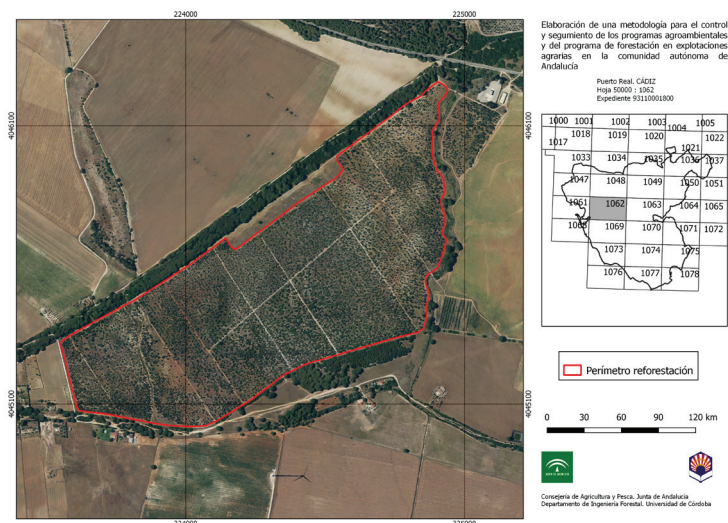


Figura XI.7. Localización y perímetro del expediente de reforestación 93110001800 de *Ceratonia siliqua* (TM Puerto Real, Cádiz).

3.2.2 Ejecución

Preparación del terreno y tratamiento previo de la vegetación

La preparación del suelo se realizó mediante un arado agrícola hasta una profundidad de 50 cm, seguido del pase de una grada ligera. El desbroce de la vegetación herbácea se realizó de forma simultánea a la preparación del suelo. En el momento del establecimiento, se dio una preparación adicional del punto de plantación mediante un ahoyado manual sobre el terreno preparado (20 × 20 × 20 cm).

Plantación

La plantación se hizo en otoño de 1993, a un marco regular de 5 x 4 m con planta de vivero. La planta se cultivó en alveolo forestal, aunque no se dispone de información sobre la calidad funcional de la planta de vivero. La plantación se realizó de forma manual sobre el hoyo de plantación, a unos 20 cm de profundidad efectiva. La fecha de plantación fue el otoño, con el suelo en tempero.

Cuidados culturales

Debido a las condiciones de establecimiento (insolación, sequía estival, etc.) y al temperamento de las especies seleccionadas (algarrobo y encina) (especies de temperamento algo delicado durante el establecimiento), se optó por limitar los cuidados culturales a los mínimos requeridos para garantizar el arraigo de las plantas, y un crecimiento razonable de acuerdo con los objetivos de la restauración (figura XI.8):

- Tubos. Se utilizaron protectores verticales de plástico semirrígido perforado para el control de los daños por herbivoría (conejos).
- Riegos. La plantación no recibió riegos de establecimiento.



Figura XI.8. Aspecto en 2018 de la plantación de *Ceratonia siliqua* en tierras agrarias en el Término Municipal de Puerto Real (Cádiz) (fotos: A Cortés).

- Laboreos. Periódicamente se realizó un gradeo para eliminar la vegetación adventicia (1 vez al año, a comienzo de la primavera).
- Podas de formación. Se han realizado podas de formación de los pies a partir del 5º año.
- No se utilizó en ningún caso ni hidrogeles ni acolchados (*mulch*), así como tampoco enmiendas o fertilizaciones.

3.3. Mantenimiento

El mantenimiento de la forestación también ha quedado limitado al mínimo, en particular a aquellos trabajos dirigidos a proteger la plantación. Los cuidados culturales han estado orientados a:

- Protección contra incendios. Una vez se ha logrado el control de la competencia de la vegetación durante los años posteriores a la plantación, y mediante el uso de medios mecánicos, se ha realizado un mantenimiento general del perímetro de la plantación. El suelo se mantiene libre de competencia herbácea, y no se ha realizado ninguna mejora del estrato herbáceo por la ausencia de un aprovechamiento ganadero que oriente el uso silvopastoral de la plantación.
- Eliminación de pies muertos y podas. Se han realizado la eliminación de pies muertos y podas de formación a partir de que el árbol tenía talla suficiente con el fin de asegurar un porte adecuado de los árboles. Las labores se hacían siguiendo los criterios establecidos por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Decreto 8/1986 de 23 de enero). Se han eliminado preferentemente ramas muertas, enfermas o dañadas, para asegurar el correcto porte del árbol, dejando un fuste de al menos 2,5 metros libre de ramas, cuando esto ha sido compatible con el crecimiento del arbolado.

3.4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la repoblación

3.4.1. Características de la masa creada

La plantación en el último año de medición (2019) está formada por individuos de algarrobo y de encina de 26 años de edad, donde dominan los árboles de algarrobo de talla media (4 m de altura y 11,07 cm de diámetro) (tabla XI.8).

Tabla XI.8. Características dasométricas de una plantación de algarrobo de 26 años en La Janda (Puerto Real, Cádiz) (media \pm error estándar).

Edad	Densidad (pies ha ⁻¹)	Altura (m)	Diámetro normal (cm)	Área basimétrica (m ² ha ⁻¹)
26 años (2019)	238	4,07 \pm 0,18	11,07 \pm 0,58	2,48

3.4.2. Capacidad de secuestro de carbono en la forestación

En la plantación se han realizado estudios para estimar la capacidad de secuestro de carbono en forestaciones de algarrobo y de encina en Andalucía, a partir de las medidas directas en campo de árboles individuales. Se establecieron un conjunto de ecuaciones alométricas a partir de árboles completos extraídos (tabla XI.9).

Tabla XI.9. Ecuación alométrica para la estimación de biomasa total seca (tronco + ramas + hojas + raíz) de una plantación mixta de *Ceratonia siliqua* y *Quercus ilex* de 15 años de edad en La Janda (Puerto Real, Cádiz) a partir del diámetro normal (d, cm) o de la altura (h, m) (n = 10 árboles) (Gracia 2008).

Especie	Modelo	RMSE	R ² ajustado	F	P-value	Bias
<i>C. siliqua</i>	$W_t = 2341,32 \cdot 1,324^d$	4,71	0,716	99,535	<0,001	0,0000
<i>Q. ilex</i>	$W_t = -13,986 + 50,621 \cdot \ln(h)$	3,00	0,620	109,10	<0,001	0,0000

A partir de las ecuaciones alométricas desarrolladas para las especies, y usando medidas de diámetro obtenidas en campo, se calculó la biomasa total presente en la plantación durante los primeros 26 años (2019) de establecimiento (tabla XI.10). Bajo las condiciones particulares de esa plantación, la biomasa total media (materia seca) de un árbol de algarrobo y de encina fue de 52,32 kg y de 17,70 kg respectivamente. El valor del carbono secuestrado en biomasa varió significativamente entre la parte correspondiente a la plantación de algarrobo (5,72 Mg C ha⁻¹) y de encina (2,12 Mg C ha⁻¹). Considerando el stock de carbono orgánico en el suelo secuestrado en la superficie forestada (49,84 Mg ha⁻¹), el carbono total secuestrado en el expediente ascendía en 2019 a 5418,18 Mg (tabla XI.10).

Tabla XI.10. Stocks de carbono en una plantación mixta de *Ceratonia siliqua* y *Quercus ilex* de 26 años (2019) en La Janda (Puerto Real, Cádiz).

Especie	Densidad (pies ha ⁻¹)	Biomasa total por árbol (kg)	Biomasa total (Mg ha ⁻¹)	Carbono en biomasa (Mg ha ⁻¹)	Carbono en suelo (Mg ha ⁻¹)	Carbono total (Mg)
<i>C. siliqua</i>	238	52,32	12,45	5,72	49,84	2885,49
<i>Q. ilex</i>	262	17,70	4,63	2,12	49,84	2532,69

Agradecimientos

En memoria de Francisco Pousa Salvador, verdadero "apóstol" de la forestación de tierras agrarias en Andalucía, junto a nuestro agradecimiento a Fernando Piñón, y al resto de técnicos, agentes de extensión y propietarios que, con su ilusión, esfuerzo y dedicación, crearon miles de hectáreas de nuevos bosques.

BIBLIOGRAFÍA

- Allué JL (1990) Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA, INIA, Madrid, 223 pp
- Blázquez A, Fernández P (2008) Comportamiento del ganado ovino en la dehesa. Una estrategia de mantenimiento de las repoblaciones de la dehesa. En Fernández P, Carbonero MA y Blázquez A. La dehesa en el norte de Córdoba. Perspectivas futuras para su conservación. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, pp, 65-93
- Bocio I, Navarro FB, Ripoll MA, Jiménez MN, De Simón E (2004) Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) response to different soil preparation techniques applied to forestation in abandoned farmland. *Ann Forest Sci* 61(2): 171-178
- Ceacero CJ, Díaz-Hernández JL, del Campo AD, Navarro-Cerrillo RM (2012) Interactions between soil gravel content and neighboring vegetation control management in oak seedling establishment success in Mediterranean environments. *Forest Ecol Manag* 271:10-18
- Cisneros O, Cañellas I, Montero G, Hernández A, Frias M, Vallejo R (2002). Manual de silvicultura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad. INIA, Madrid
- del Campo AD, Navarro-Cerrillo RM, Ceacero CJ (2010) Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. *New For* 39(1):19-37
- García-Trujillo G (2008) Biomasa de las especies forestales *Pinus halepensis* Mill, *Ceratonia siliqua* L., *Quercus ilex* L y *Quercus suber* L. en forestación de tierras agrarias. Aplicación al secuestro de carbono. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM Universidad de Córdoba
- Gaspar P, Escribano M, Mesías FJ, de Ledesma AR, Pulido F (2008) Sheep farms in the Spanish rangelands (dehesas): Typologies according to livestock management and economic indicators. *Small Ruminant Res* 74(1-3):52-63
- Gómez V, Elena-Roselló R (1996a) Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. *Cuad Soc Esp Cienc For* 4:13-25
- Gómez V, Elena-Roselló R (1996b) Las marras causadas por defectos en las operaciones de reforestación. *Cuad Soc Esp Cienc For* 4:35-42
- Gómez-Jover F, Jiménez F (1997) Forestación de tierras agrícolas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid
- Jiménez M., Fernández-Ondoño E., Ripoll M. Navarro F. Gallego E., De Simón E., Lallena A. (2007). Influence of different post-planting treatments on the development in Holm oak afforestation. *Trees-Struct Funct*: 21:443-455
- MAPA (2006) Forestación de tierras agrícolas. Análisis de su evolución y contribución a la fijación del carbono y al uso racional de la tierra. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid
- MAPAMA (2015) Controles de Desarrollo Rural. Informe de estadísticas-2015. Subdirección General de Sectores Especiales, Madrid. Navarro-Cerrillo RM^a, Pemán García J, del Campo A, Moreno J, Lara Gómez MA, Díaz Hernández JL, Pousa Salvador F, Piñón Castillo F (2009) Manual de especies para la forestación de tierras agrarias de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla
- Navarro Cerrillo RM^a, Fragueiro B, Ceaceros C, del Campo A, de Prado R (2005) Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. using different weed control strategies in southern Spain. *Ecol Eng* 25(4):332-342

- Navarro-Cerrillo RM^a, Martínez A (1996 a) Forestación en explotaciones agrarias. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla
- Navarro-Cerrillo RM^a, Martínez A (1996 b) Las marras producidas por ausencia de cuidados culturales. Cuad Soc Esp Cienc For 4 43-57
- Navarro-Cerrillo RM, del Campo AD, Ceacero CJ, Quero JL, de Mena JH (2014) On the importance of topography, site quality, stock quality and planting date in a semiarid plantation: Feasibility of using low-density LiDAR. Ecol Eng 67:25-38
- Navarro-Cerrillo RM^a (2018) Forestación en explotaciones agrarias. Conferencia invitada a la Reunión del Grupo de Repoblaciones y Restauración Forestal. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Alcázar de San Juan
- Navarro Hevia J, de Azagra AM, Manso JM (2009) Hidrología de Conservación de Aguas. Captación de precipitaciones horizontales y escorrentías en zonas secas. Editorial Universidad de Valladolid, Secretaría de Publicaciones, Valladolid
- Oliet J, Navarro-Cerrillo RM, Contreras O (2003) Utilización de tubos protectores y mejoradores en repoblaciones forestales en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla
- Palacios G, Navarro-Cerrillo RM, del Campo A, Toral M (2009) Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. Ecol Engin 35(1):38-46
- Pardos M, Royo A, Gil L, Pardos JA (2003) Effect of nursery location and outplanting date on field performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. Forestry 76(1):67-81
- Rey Benayas JM, Camacho-Cruz A (2004) Performance of *Quercus ilex* saplings planted in abandoned Mediterranean cropland after long-term interruption of their management. Forest Ecol Manag 194(1-3):223-233
- Rey Benayas JM, Navarro J, Espigares T, Nicolau JM, Zavala MA (2005) Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting *Quercus* species. Forest Ecol Manag 212(1-3):302-314
- Sánchez-Oliver JS, Rey-Benayas JR, Carrascal LM (2014) Differential effects of local habitat and landscape characteristics on bird communities in Mediterranean afforestations motivated by the EU Common Agrarian Policy. Eur J Wildlife Res 60(1):135-143
- Santos T, Tellería JL, Díaz M, Carbonell R (2006) Evaluating the benefits of CAP reforms: Can afforestations restore bird diversity in Mediterranean Spain?. Basic Appl Ecol 7(6): 483-495.
- Vadell Guiral E, Magaña M, Pemán García J (2019) La repoblación forestal en España: las especies utilizadas desde 1877 a partir de las cartografías forestales. Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural 77:107-136

Caso práctico XII

Repoblación con tres especies del género *Pinus* (*P. sylvestris*, *P. pinaster* subsp. *atlantica* y *P. nigra* var. *corsicana*) en una zona montañosa con riesgo de erosión en la Región Atlántica española (Tineo, Asturias)

José V. ROCES DÍAZ, Juan GARROTE HAIGERMOSER,
Pedro ÁLVAREZ ÁLVAREZ, María MENÉNDEZ MIGUÉLEZ,
Marcos BARRIO ANTA

1. Bases teóricas de la repoblación

La erosión del suelo es probablemente el principal factor de riesgo que afecta a este elemento de los ecosistemas y está estrechamente vinculado a otros procesos de degradación como la desertificación, etc. Según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE) la erosión pueden definirse como el “desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento”.

En general, de cara a cuantificar la pérdida de suelo que se produce en una zona, la metodología más extendida es la *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE; Renard *et al.* 1991). Dicha ecuación estima la pérdida de suelo en relación a varios factores, entre los que se incluyen aspectos como el impacto de la lluvia, la pendiente existente en la zona, etc. Uno de los seis factores que aparecen en esta ecuación, y uno de los pocos que puede variar en un intervalo breve de tiempo (y, por tanto, está vinculado con la acción humana y la gestión de los ecosistemas) es el denominado “factor de cubierta y manejo”. Este factor está relacionado a su vez con el tipo de cubierta vegetal existente en el suelo analizado. Por tanto, la existencia de una cubierta vegetal continua y estable es una forma clave de minimizar los fenómenos erosivos en un territorio, especialmente en zonas con pendientes elevadas. Por otro lado, cabe indicar que los incendios forestales provocan sobre los suelos cambios texturales y estructurales que afectan al comportamiento hídrico o a la pérdida de componentes como la materia orgánica. Dichos cambios son los responsables de que en muchos casos, tras la presencia de un incendio forestal que elimina la protección física que supone la cubierta vegetal, aparezcan fenómenos erosivos sobre el suelo.

De hecho, la comunidad científica incluye de forma generalizada a la protección frente a la erosión como uno de los principales servicios ecosistémicos (p.ej. Egoh *et al.* 2008; de Groot *et al.* 2010). Este concepto (servicios ecosistémicos), que apareció en las últimas décadas del pasado siglo XX, surgió para considerar y poner en valor todos los beneficios que la sociedad obtiene de la naturaleza, directa o indirectamente, y que son fundamentales para su bienestar. Trabajos como los de Costanza *et al.* (1997) o Daily (1997) contribuyeron a la difusión de dicho concepto a escala global, así como iniciativas como *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA 2005) o la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME 2011).

En España existen iniciativas a escala nacional para la cuantificación y seguimiento de los procesos erosivos. Un ejemplo es el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES; MAGRAMA 2014), desarrollado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. El INES tiene como objetivos detectar, cuantificar y reflejar cartográficamente los principales procesos de erosión en el territorio nacional y determinar su evolución en el tiempo mediante su inventariación de forma continua. En España hay una amplia tradición de repoblaciones forestales cuyo objetivo fundamental es la instalación de una cubierta vegetal arbolada estable, continua y permanente en zonas con elevados riesgos de erosión. Así, cabe indicar que desde 1895, la Junta Consultiva de Montes presentó un dictamen que reconocía el papel del monte en la regulación de aguas de escorrentía y en la protección frente a la erosión. Por dicha razón, hace más de un siglo (desde 1901) se creó el Servicio Hidrológico Forestal.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

El presente caso de estudio se centra en una repoblación forestal de carácter protector, y cuyo objetivo principal fue reducir el riesgo de erosión en un área montañosa de la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias, en el noroeste de la Península Ibérica (figura XII.1). El territorio asturiano se caracteriza fundamentalmente por presentar un relieve accidentado en la mayor parte de su superficie, que varía entre altitudes al nivel del mar (en el extremo norte) hasta valores que superan los 2600 m en la Cordillera Cantábrica, en el límite de dicha Comunidad con la provincia de León. Esta característica da lugar a la existencia de pendientes elevadas en la mayor parte de su territorio (figura XII.1), que condicionan aspectos como la distribución de la población o la ubicación de las zonas de aprovechamiento agrícola.

La repoblación ocupa una superficie de unas 30 ha, con altitudes comprendidas entre los 650 y los 850 m, dentro del Monte de Utilidad Pública 326 Fonfaraón y Mulleiroso. Se encuentra localizada en el Piso Montano inferior de la Región Eurosiberiana. La zona repoblada está orientada hacia el este (la mayor parte de la misma se encuentra entre el noreste y sureste). En lo relativo a la pendiente, aproximadamente 2/3 de su área presentan pendientes entre el 10 y el 30%, mientras que el tercio restante tiene valores entre el 40 y el 70%.

El tipo de clima predominante en esta zona es templado de tipo oceánico, estando encuadrada la mayor parte de su superficie dentro de la Región Biogeográfica Atlántica Europea. Los rasgos más significativos de dicha región son la ausencia de un periodo de sequía prolongado durante el verano y la presencia de precipitaciones abundantes y bien

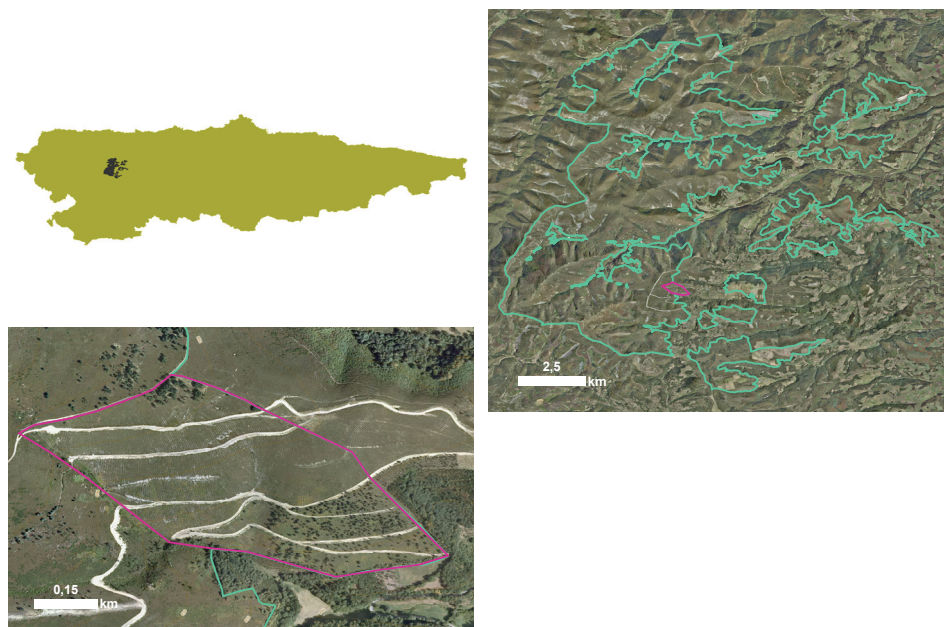


Figura XII.1. Localización del monte en el Principado de Asturias y detalle de la zona de actuación (fuentes: Ortoimagen PNOA 2006, IGN).

repartidas a lo largo de todo el año. De igual forma, ni los inviernos son particularmente fríos (excepto en zonas de alta montaña) ni los veranos excepcionalmente cálidos.

Así, la vegetación dominante en esta zona son masas de especies plano-caducifolias como *Quercus* spp., *Fagus sylvatica*, *Betula* spp. o *Castanea sativa*. Si bien, desde mediados del Siglo XX han proliferado repoblaciones de masas con diferentes objetivos, desde productivos hasta protectores, compuestas fundamentalmente por especies de los géneros *Pinus* o *Eucalyptus*. A nivel de paisaje, también cabe destacar en estas zonas de montaña la presencia de extensas áreas de matorral, producto del uso ganadero del territorio, especialmente en laderas orientadas al sur, fundamentalmente compuestas por especies de los géneros *Erica* y *Ulex*. Este tipo de comunidades han sido favorecidas por el uso del fuego, que ocasiona en este territorio diferentes efectos en los suelos (Santín *et al.* 2008) y fenómenos erosivos asociados a los mismos (Fernández *et al.* 2005). Atendiendo a diferentes aspectos de la zona, la vegetación potencial es un robledal de roble melojo (*Quercus pyrenaica*). La vegetación presente en el momento de la repoblación es un brezal-tojal compuesto fundamentalmente por *Erica cinerea*, *Erica australis* subsp. *aragonensis* y *Ulex europaeus* (figura XII.2).

La presencia de incendios forestales en este territorio es ampliamente conocida, y ha sido estudiada en numerosos trabajos (por ejemplo, Álvarez-García y Marquínez 2007) a pesar de presentar un clima húmedo, que a priori no debería conllevar un régimen de incendios muy frecuente. Así, el fuego ha sido un elemento clave en el

modelado del paisaje de esta zona y aparece ligado a las comunidades de matorral mencionadas y a los procesos de fragmentación existentes en los bosques de este territorio (García *et al.* 2005). Lo anterior, unido a la existencia de pendientes elevadas en la zona de repoblación (en algunos casos superiores al 40%), la escasa cobertura de la vegetación preexistente, el tipo de sustrato y la presencia de incendios recientes nos indican un elevado potencial de erosión del suelo en las condiciones previas a la repoblación. En ese sentido, el objetivo fundamental de esta repoblación fue protector, mediante el establecimiento de una cubierta arbórea continua y estable en una zona con un elevado riesgo potencial de erosión y que en el momento de la actuación estaba cubierto por un estrato de matorral. Como objetivo secundario se ha tratado de evaluar la utilidad de una de las especies empleadas (*Pinus nigra* var. *corsicana*) para este tipo actuaciones en localizaciones de montaña en la vertiente septentrional de la Cordillera Cantábrica. Actualmente, el pino laricio de Córcega es una especie que se planta en otras zonas del norte de España en cotas intermedias entre el *Pinus pinaster* subsp. *atlantica*, el *Pinus radiata* (600-800 m) y el *Pinus sylvestris* (1500-2000 m).



Figura XII.2. Brezal-tojal en el monte Sierra de Fonfaraón y Mulleiroso (Asturias), como el que fue objeto de repoblación. El arbolado disperso que se puede observar al fondo corresponde a repoblaciones anteriores que fueron objeto de numerosos incendios en el pasado (foto: J Garrote).

3. Actuaciones de restauración

3.1. Caracterización de los suelos de la zona

La zona objeto de repoblación se asienta sobre roca cuarcita. Se trata de un sustrato en el que se observan signos de incendios previos a la repoblación. A continuación (tabla XII.1) se muestran parámetros edáficos pertenecientes a muestras de suelo cercanas, en laderas sobre un material similar, a orientaciones y altitudes parecidas.

El tipo de material sobre el que se asienta el suelo, así como características tales como la escasa profundidad, la textura, el pH, etc., indican que el suelo es un dystrudept húmico lítico siguiendo la clasificación de la *Soil Taxonomy*. Este tipo de suelo aparece con frecuencia en Asturias, especialmente en su mitad oriental y asociado a materiales silíceos. Suele presentar un horizonte oscurecido por materia orgánica humificada y estar bien drenado, con roca próxima a la superficie.

Tabla XII.1. Datos de análisis de suelos de dos muestras próximas, sobre un sustrato similar en estaciones análogas al caso de estudio (fuente: Gobierno del Principado de Asturias (2015)).

Propiedad	Muestra 1	Muestra 2
Profundidad (cm)	0-30	0-40
pH	4,65	3,89
Arcilla (%)	11,9	33,2
Arena fina (%)	43,8	40,4
Arena gruesa (%)	34,2	16,2
Limo (%)	10,2	10,1
Relación C/N	16,27	12,76
Horizontes	AO	A

3.2. Acondicionamiento del terreno

Se realizó un subsolado lineal en línea de máxima pendiente, preparando las casillas (dimensiones 40 × 40 cm) de forma manual con azada sobre el surco, con una densidad de 1600 pies ha⁻¹ (marco de 3m (distancia entre líneas) por 2m). El rejón empleado fue sin aletas y la profundidad de subsolado fue de 50 cm. Un año después de la repoblación fue realizado un control de la vegetación competidora, fundamentalmente helecho (*Pteridium aquilinum*), en las zonas en las que apareció, aunque no fue un problema de gran relevancia.

3.3. Plantación

En esta repoblación se han empleado tres especies del género *Pinus*. La primera especie, *P. sylvestris*, forma varios núcleos poblacionales importantes en la vertiente sur de la Cordillera Cantábrica. Ha sido una de las especies más empleadas de forma histórica en repoblaciones forestales en áreas de montaña, al ser tolerante frente a las bajas temperaturas invernales. Diferentes trabajos han señalado los beneficios de repoblaciones de esta especie para reducir la erosión y mejorar las propiedades edáficas (Modrego y Elena-Roselló 2004). Por otro lado, cabe indicar que las masas de *P. sylvestris*, una vez que alcanzan el estadio de fustal, suelen constituir excelentes hábitats para el desarrollo de especies micológicas, cuyo aprovechamiento puede convertirse en un recurso con un valor monetario superior al de la propia madera. En segundo lugar, en esta repoblación se empleó *P. pinaster*. Se trata de un árbol distribuido por el Arco Atlántico Europeo, desde Portugal hasta Francia. Es la especie del género *Pinus* empleada más frecuentemente en repoblaciones forestales en Asturias (por encima de *P. radiata* y de *P. sylvestris*; figura XII.3), especialmente en actuaciones con objetivo productor a bajas altitudes. En Asturias, esta especie de pino presenta mayores niveles de crecimiento a menores altitudes, especialmente si se compara entre localizaciones por debajo y por encima de los 500 m (Álvarez-Álvarez *et al.* 2011). En estaciones de montaña puede presentar algunos problemas, como la presencia de daños por nieve (especialmente en ejemplares de poca

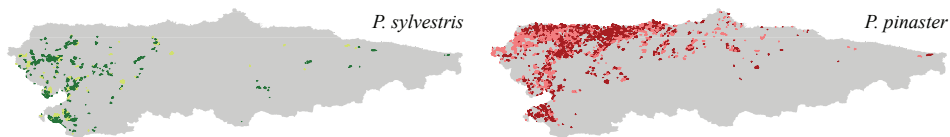


Figura XII.3. Presencia de *P. sylvestris* y *P. pinaster* como especies principales (marcada en la figura en tonos oscuros) o secundarias (en tonos claros)
(fuente: elaboración propia a partir MFE (2015)).

edad, ya que suelen presentar un porte de “candelabro” que favorece la acumulación de precipitación nival). La última especie empleada fue *Pinus nigra* var. *corsicana*, de la que no se tiene constancia que haya sido usada en repoblación en la vertiente norte de la Cordillera Cantábrica. Como es una especie que ha demostrado su resistencia a estaciones de montaña, se consideró interesante evaluar su uso en repoblaciones de la zona de estudio, lo que constituye el objetivo secundario de la repoblación descrita.

La repoblación se efectuó en el año 2004, actuando sobre una superficie de unas 30 ha, y las especies se mezclaron (50% de cada especie) de acuerdo a un diseño altitudinal (figura XII.4). Teniendo en cuenta la presencia de incendios recurrentes en la zona, en la parte más elevada de la ladera se mantuvo el uso ganadero y no se realizó ninguna plantación (ya que en ciertas ocasiones los incendios de estas zonas son provocados con un objetivo de regeneración de las especies que consume el ganado).

Se emplearon plantas en envase, de una savia, producidas en un vivero cercano (situado a unos 30 km) en el que se cultivan la mayor parte de la planta forestal empleada en esta zona. Su procedencia y categorías son las siguientes:

- *Pinus nigra* var. *corsicana*: PLO-901 *N Ouest* (Francia); categoría seleccionada.
- *Pinus sylvestris*: Sierra Guadarrama; categoría seleccionada
- *Pinus pinaster* subsp. *atlantica*: Galicia; categoría identificada.

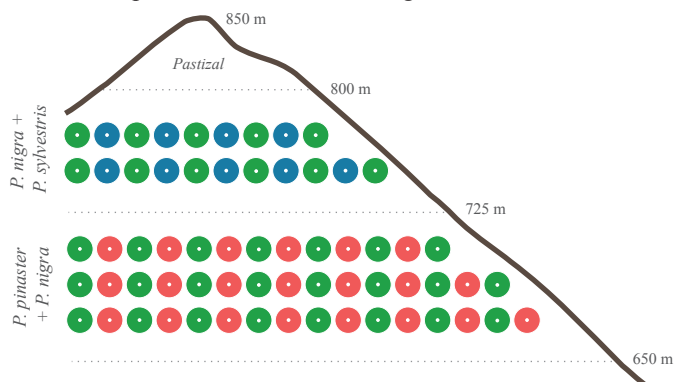


Figura XII.4. Esquema que muestra la mezcla de especies de pinos empleadas en relación con el incremento de altitud en la zona de repoblación.

4. Estado final de la restauración

Pasados 11 años desde la actuación, los pies forman un estrato continuo, con alturas entre 2 y 3 m, y se ha iniciado recientemente la tangencia de copas (figura XII.5). No se observan diferencias marcadas entre las especies usadas. *P. pinaster* es la especie que muestra unos mayores crecimientos hasta la fecha, pero la presencia en los últimos años de nevadas tardías en la zona han provocado la existencia de daños y roturas de ramas en los ejemplares de esta especie. Son especialmente dañinas las nevadas producidas en la primavera, ya que el tipo de precipitación (nieve muy húmeda, y por tanto densa) genera importantes daños. Por su parte, *P. nigra* y *P. sylvestris* muestran crecimientos parecidos, sin grandes diferencias entre una y otra. A su vez cabe destacar que no se observó apenas mortalidad en ninguna de las tres especies. Por otro lado, cabe indicar que *P. nigra* var. *corsicana*, que fue la especie ensayada en esta repoblación, ha demostrado unas aptitudes muy adecuadas para su establecimiento, a pesar de las malas condiciones edáficas del terreno. Por dicha razón, esta especie puede representar una alternativa viable para trabajos de restauración en zonas análogas, en las que sea deseable generar una cubierta arbórea, y en la que no sea adecuado emplear *P. pinaster* (por razones como las expuestas).



Panorámica de la repoblación en el año 2020.



En primer término un ejemplar de *P. pinaster*, a la derecha, al otro lado de la pista, un ejemplar de *P. nigra* var. *corsicana*. *P. sylvestris* destaca por su copa más densa al fondo de la imagen.

Figura XII.5. Vistas de la repoblación mixta de *P. sylvestris*, *P. pinaster* y *P. nigra* var. *corsicana* en el monte Sierra de Fonfaraón y Mulleiroso (Asturias) (fotos: J Garrote).

Teniendo en cuenta el objetivo principal de esta actuación, la instalación de la masa forestal, aunque sea en sus primeras fases de desarrollo, puede considerarse un éxito. Si bien las características de la estación (fundamentalmente las condiciones edáficas) provocan que los crecimientos no sean demasiado elevados, no se prevé un aprovechamiento comercial del monte, por lo que no es un problema. No obstante deberá realizarse un seguimiento durante los próximos años para comprobar la consolidación definitiva de la masa. Por último la ausencia de incendios forestales en la zona puede considerarse una señal positiva, y cabe considerar la posibilidad de que el haber mantenido la parte superior de la ladera para uso ganadero puede haber contribuido en esta dirección.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez MA, Marquínez J (2007) Impacto de los incendios forestales en Asturias. Análisis de los últimos 30 años. Principado de Asturias. INDUROT, Universidad de Oviedo, KRK Ediciones, Oviedo, Spain, pp. 208.
- Álvarez-Álvarez P, Khouri EA, Cámara-Obregón A, Castedo-Dorado F, Barrio-Anta M (2011) Effects of foliar nutrients and environmental factors on site productivity in *Pinus pinaster* Ait. stands in Asturias (NW Spain). *Ann. For. Sci.* 68(3): 497–509.
- Costanza R, Arge R, Groot R, Farberk S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, Neill R, Paruelo J, Raskin RG, Suttonk P (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Daily G (1997) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC (1997).
- de Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L (2010) Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complex.* 7(3): 260–272.
- EEA (2011) *Agencia Europea de Medio Ambiente. Regiones Biogeográficas de Europa*.
- Egoh B, Reyers B, Rouget M, Richardson D, Lemaitre D, Vanjaarsveld A (2008) Mapping ecosystem services for planning and management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127(1-2): 135–140.
- EME (2011) *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España, Ecosistemas y Biodiversidad para el Bienestar Humano, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España, Síntesis de resultados*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Fernández S, Marquínez J, Menéndez-Duarte R (2005) A susceptibility model for post wildfire soil erosion in a temperate oceanic mountain area of Spain. *Catena* 61: 256-272.
- García D, Quevedo M, Obeso J, Abajo A (2005) Fragmentation patterns and protection of montane forest in the Cantabrian range (NW Spain). *Forest Ecol. Manag.* 208(1-3): 29–43.
- Gobierno del Principado de Asturias (2015) *Mapa de Recursos Agroecológicos*. Consejería de Medio Rural y Pesca. <http://194.224.34.54/MapaEvaluacionRecursosAgroecologicos/Home.html>
- MAGRAMA (2014) *Inventario Nacional de Erosión de Suelos*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MEA (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Press, Washington, DC
- MFE (2015) *Mapa Forestal Español escala 1:25.000*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Modrego MP, Elena-Roselló R (2004) Efectos de las repoblaciones por terrazas con *Pinus sylvestris* L. en las propiedades físicas del suelo en el Sistema Ibérico soriano. *Invest Agrar: Sist. Recur. For.* 13 (2): 417-428
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP (1991) Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil Water Conserv.* 46: 30-33.
- Santín C, Knicker H, Fernández S, Menéndez-Duarte R, Álvarez-García MA (2008) Wildfires influence on soil organic matter in an Atlantic mountainous region (NW of Spain). *Catena* 74 (3): 286-295.

Caso práctico XIII

Restauración de bosques de ribera: el caso de los ríos Arga y Aragón (Navarra)

Fernando MAGDALENO MAS, Mikel GOIKOETXEA BARRIOS

1. Bases teóricas del tipo de restauración

Los bosques de ribera son formaciones vegetales asociadas a cauces fluviales y humedales, compuestas por especies que cuentan con una mayor o menor dependencia de la humedad suministrada por dichos sistemas acuáticos. La influencia freática modifica la estructura y composición de las formaciones de ribera en relación con las de otras formaciones vegetales aledañas, generando corredores ribereños de gran importancia ecológica. Aunque la mayor parte de las especies presentes en los bosques de ribera requieren una cierta proximidad al agua, al menos durante parte de su periodo vegetativo, frecuentemente incorporan taxones no tan directamente dependientes de la humedad edáfica.

El régimen de caudales o de niveles de agua es el que de manera más determinante condiciona las características de los bosques de ribera. Sin embargo, existen otros factores que también intervienen en sus atributos ecológicos. Entre ellos cabe destacar la permeabilidad del terreno, la pedregosidad del sustrato, la topografía, el tamaño del cauce, las condiciones térmicas de la zona, la naturaleza química del sustrato y del agua o la competencia por luz y nutrientes (Magdaleno 2011).

Las variadas interacciones que resulta posible encontrar en España entre el régimen hidrológico, los factores anteriormente descritos y la vegetación de ribera fundamenta la existencia de una gran diversidad y variabilidad de bosques de ribera en las diferentes cuencas del país (Lara *et al.* 2004; Garilleti *et al.* 2012). Este rico patrimonio natural ribereño exige un esfuerzo de caracterización y gestión de los principales valores y servicios proporcionados por los bosques de ribera. Al tiempo, requiere que cualquier actuación de restauración vegetal en zonas de ribera adopte un planteamiento de base ecosistémica, que asegure la viabilidad y funcionalidad de la formación vegetal restaurada (MARM 2010; Magdaleno y Martínez 2011).

La restauración de la vegetación ribereña debería ser un proceso natural, sin más intervención humana que la de minimizar o eliminar las presiones que motivaron en su momento la degradación de la zona de ribera. Sin embargo, en numerosas ocasiones, es preciso llevar a cabo una revegetación activa, capaz de acelerar el proceso de recuperación. En este caso, es recomendable utilizar mezclas de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas de carácter ribereño de fácil enraizamiento y seleccionar, en cada área, las especies autóctonas de carácter local más apropiadas para los objetivos de la intervención.

Al utilizar elementos autóctonos se minimiza el efecto de la intervención humana, evitando la contaminación biológica que supone la introducción de especies alóctonas en estos ambientes. Además, las especies autóctonas son las mejor adaptadas al medio, lo cual no sólo quiere decir que se desarrollan bien bajo esas condiciones ecológicas, sino que además se encuentran en equilibrio con los demás organismos que conforman los ecosistemas naturales de la zona (Magdaleno 2008; Prada y Arizpe 2008).

La plantación debe realizarse cuando la savia esté parada, entre mediados de otoño y comienzos de primavera, en función de las características concretas de cada zona, e incluso de las condiciones atmosféricas de cada año. Debe plantarse cuando el suelo tenga tempero, es decir, tras comenzar el periodo de lluvias, con suelo fresco y húmedo. No resulta recomendable realizar la plantación en periodos de heladas o con nieve, o cuando haya vientos fuertes. Es conveniente, además, que el terreno esté asentado, sin bolsas de aire.

Cuando se llevan a cabo plantaciones de especies vegetales de ribera a raíz profunda, no suele ser necesario el riego de las plantas. En el resto de casos, y en función de las características hidrológicas, físicas y ambientales del tramo en el que se lleva a cabo la plantación, puede ser aconsejable la consideración de riegos tras la plantación, en especial en los dos primeros periodos de estío posteriores a la actuación.

En las plantaciones asociadas a proyectos de revegetación suele utilizarse planta pequeña, de una o dos savias, a raíz desnuda o en envase, o en algunos casos plantones. A veces se utilizan plantas algo mayores, cuando se desea una rápida cobertura del suelo. Asimismo, resulta frecuente la utilización de estaquillas, e incluso de varas largas de especies de géneros como *Populus* o *Fraxinus*.

En determinados casos puede ser recomendable la utilización de tubos invernadero, cerramientos, tutores, protectores de malla o protectores de base, aunque su uso debe ser limitado, y solo asociado al análisis de los problemas locales que pueda generar la presencia de ganado, fauna salvaje, o las propias características de las plantas utilizadas.

Por lo que respecta a la superficie que requiere un bosque ribereño para cumplir sus funciones ambientales, son dependientes del tamaño del río, de la pendiente existente en las márgenes, de las características de los suelos de la ribera, de las presiones exteriores que la ribera recibe y de las propias características de la vegetación implantada. Sin embargo, existe acuerdo general en que una franja de vegetación ribereña empieza a cumplir eficazmente su amplio rango de funciones a partir de 30 metros de anchura en cada margen del río (Fischer y Fischenich 2000; Magdaleno 2008).

El diseño de las plantaciones puede realizarse de acuerdo con diversas estrategias. Tradicionalmente las revegetaciones de las riberas han adoptado esquemas lineales o por bandas, de acuerdo a la habitual concepción de los bosques de ribera como agregación de bandas vegetales concéntricas al cauce o humedal, caracterizadas cada una de ellas por una determinada disponibilidad de agua y por incorporar un conjunto de especies anatómica y fisiológicamente vinculadas a esas condiciones. Dentro de esta aproximación por franjas o bandas ha sido frecuente establecer módulos de plantación basados en la utilización de determinadas especies, con un espaciamiento regular de los ejemplares. En la actualidad, y de acuerdo con el conocimiento existente entre las interacciones hidrológicas, morfológicas y ecológicas en las riberas, el planteamiento anteriormente descrito convive con algunas nuevas alternativas de diseño (Gurnell 2014). Por ejemplo, una de las más utilizadas hoy en día, y que ha sido paradigmática en el caso que se presenta en este documento, busca una mayor adaptación de las plantaciones a los retos derivados del patrón hidromorfológico de la masa de agua y a los objetivos perseguidos con las actuaciones de revegetación, a través de plantaciones “en mosaico” que replican, al menos parcialmente, la estructura natural de los sotos ribereños (figura XIII.1).



Figura XIII.1. Imagen aérea de 1956 de un tramo fluvial del río Aragón en las inmediaciones del municipio de Marcilla. En esta imagen, correspondiente a un estado de presión aun moderada sobre el medio fluvial, se puede apreciar cómo la distribución natural de la vegetación atiende a un esquema de baja regularidad, modulado por el nivel de inundabilidad y por el dinamismo de cada zona. En las áreas de mayor hidromorfismo o mayor recurrencia de paso de agua y sedimentos, la vegetación es escasa (en ocasiones inexistente) y de pequeño porte, mientras que en las zonas más estabilizadas los sotos vegetales son densos y presentan un elevado nivel de consolidación (fuente: PNOA-H AMS 1956-57).

En este tipo de diseño, el espaciamiento entre zonas de plantación y entre ejemplares vegetales no guarda regularidad, sino que se adapta a la topografía de cada emplazamiento y al régimen de inundación que es esperable en cada zona (Magdaleno *et al.* 2014; Fernández-Santamarina *et al.* 2016). Por ello, considera viable la utilización de diferentes densidades según zonas, así como de diferentes composiciones específicas, y diferentes tamaños de planta. Algunas de las zonas de proyecto pueden incluso quedar sin plantación, permitiendo que se restauren vegetalmente a partir de las zonas plantadas en las inmediaciones, o de la propia dinámica ecohidrológica del río. El principal inconveniente de esta alternativa de diseño es que suele requerir un mayor conocimiento de las características hidromorfológicas del lugar de plantación, y un mayor esfuerzo para la definición y ejecución de la revegetación. Por el contrario, suele asegurar una mayor viabilidad de los ejemplares plantados y una mayor renaturalización de los hábitats ribereños.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

2.1. Caracterización climática

La caracterización climática se ha establecido a partir de las estaciones de Pamplona/Aeropuerto (serie termo-pluviométrica 1975-2000) y Puente La Reina (serie termo-pluviométrica 1972-2007) (CEDEX 2010a). La temperatura media anual de la zona oscila entre 12,5 y 13,5 °C, en función de la estación considerada. Estos valores son muy similares, aunque existe una diferencia de cota de 104 metros entre estaciones, con un gradiente de 1,3 °C/100 m. El coeficiente de variación intranual, es decir, dentro del mismo año, calculado como la desviación estándar entre la media anual, es medio-alto (46%), dato que apunta a climas continentales con oscilaciones térmicas acusadas entre el verano y el invierno. La temperatura media de las máximas del mes más cálido es de 27,8 °C, registrados en la estación de Pamplona. La temperatura media de las mínimas del mes más frío alcanza 1,2 °C, en esta misma estación.

La precipitación anual de la zona oscila entre 721 y 560 mm. La distribución de precipitaciones dentro del año refleja un máximo invernal, con casi más de una tercera parte de la precipitación anual, seguido por el otoño y la primavera con valores algo inferiores al del invierno, y con un claro mínimo estival, como corresponde a climas mediterráneos o de transición a mediterráneos.

2.2. Caracterización hidrológica

En lo que respecta a la hidrología de los dos tramos de estudio, cabe destacar que la progresiva regulación de los dos ríos (especialmente del Aragón, a partir de la entrada en servicio del embalse de Yesa en 1960, pero también del Arga mediante la construcción del embalse de Eugui en 1972), y el aprovechamiento agrícola, urbano e industrial de buena parte de las márgenes, ha motivado que el cauce se encuentre en muchos tramos desconectado de su llanura de inundación. Además de las actividades señaladas, el cauce acumula un importante número de alteraciones. Destacan, entre ellas, la construcción de obras longitudinales en el río (escolleras, motas, etc.), que modifican de manera intensa la dinámica fluvial longitudinal y transversal del río a lo largo de su curso (CEDEX 2010a).

En el río Arga, la caracterización hidrológica se basa en los datos existentes en la estación de aforos de Funes (9004, serie temporal desde 1912 hasta la actualidad). El resultado del análisis comparado entre las series hidrológicas previas y posteriores a la construcción de la presa de Eugui muestra que existen cambios importantes en algunas de las componentes del régimen de valores habituales, tales como la magnitud de las aportaciones mensuales y la estacionalidad de los máximos y mínimos, evidenciando cambios en el funcionamiento hidrológico del río Arga con respecto a los registros históricos. Por lo que respecta a los aspectos relacionados con los valores extremos (avenidas y sequías) en el río, se observan también modificaciones de elevada magnitud en algunas componentes clave del régimen (como la frecuencia de algunas crecidas o la variabilidad de las sequías extremas), aunque se observan cambios más leves que en el caso de los valores habituales. El análisis efectuado parece indicar la escasa capacidad de las infraestructuras de regulación del río Arga para regular los valores extremos en el río. La alteración se centra, por el contrario, en algunos de los patrones de funcionamiento de los valores habituales.

En el río Aragón, la caracterización se fundamenta en los datos correspondientes a la estación de aforos de Caparrosa (9005, serie temporal desde 1912 hasta la actualidad). El resultado del análisis de alteración hidrológica posterior a la construcción de la presa de Yesa muestra que existen cambios importantes de los valores hidrológicos habituales relacionados con la magnitud de las aportaciones anuales y mensuales, evidenciando el aprovechamiento que se realiza de los caudales invernales del río Aragón. Por lo que respecta a los aspectos relacionados con los valores extremos (avenidas y sequías) en el río, se observan también modificaciones de elevada magnitud en algunas componentes clave del régimen. En particular, en lo que respecta a la magnitud de las avenidas habituales, y a la variabilidad y duración de las avenidas. En el caso de las sequías, la alteración es aún mayor, registrándose valores globales de elevada alteración tanto en la magnitud de los caudales más bajos, como en su variabilidad y duración. Esto muestra, claramente, que el principal deterioro del régimen fluvial y de los aspectos ecológicos asociados a él ha sido la detracción de importantes volúmenes de agua, así como la pérdida de los patrones naturales de magnitud, variabilidad y duración de los valores de caudales máximos y mínimos en el río.

2.3. Caracterización de los suelos

Los ríos Arga y Aragón se caracterizan por presentar lechos de tipo granular donde predominan los materiales de tamaño de canto y gravas, salvo en lugares muy concretos donde aflora el sustrato y el río aparenta un curso fluvial en roca o donde las abundantes afecciones antrópicas han reducido su existencia (Ibáñez 2010). Por ello proliferan las sedimentaciones de barras, que son de distinta tipología debido a su singular morfología en planta, meandriforme libre que facilita la migración del curso fluvial y, con ello, la aparición de una rica diversidad de deposiciones en meandro, laterales, etc. Esta es una característica importante de estos ríos en sus tramos bajos, e incluso medios, con una importante alimentación de sedimentos en cabecera. En el caso del Arga la canalización efectuada en la década de los 70, con la consiguiente modificación de trazado de meandriforme a sinuoso, ha llevado a la deposición de barras laterales o alternas.

Los principales tipos de suelos que pueden citarse en el entorno de la zona de estudio son, clasificados por Ordenes de la *Soil Taxonomy*, los siguientes (CEDEX 2010a):

- Entisoles (51): son suelos jóvenes, de carácter aluvial, sin desarrollo de horizontes edáficos. Están constituidos por sedimentos no consolidados sin estructura y con texturas variables, que oscilan entre las franco-arenosas y franco-arcillosas. En el área de estudio este grupo es el más representado, perteneciendo estos entisoles al grupo Xerorthent / Xerumbrept, y dentro de él, a la asociación Xerorthent / Xerofluvent / Xerochrept. Sus propiedades vienen ampliamente determinadas por el material original.
- Inceptisoles (92): se trata también de suelos poco evolucionados, aunque más que los anteriores. Son suelos fundamentalmente eluviales, con horizontes de alteración y con pérdidas de bases, hierro y aluminio. Su perfil típico es A/Bw/C. Estos suelos son de textura franca, y se incluyen en el grupo Xerochrept – asociación Xerochrept / Xerorthent.

La práctica totalidad de los suelos del ámbito estudiado presenta una notable alteración, especialmente los terrenos adyacentes al río, que se han visto modificados por diferentes aprovechamientos y ocupaciones.

2.4. Caracterización de las formaciones vegetales existentes antes de la intervención

La información relativa a la flora y vegetación existentes en el ámbito de estudio se presenta a partir de los datos existentes en la base de datos del CEDEX sobre vegetación de ribera (Lara *et al.* 2004; CEDEX 2010b; Prada *et al.* 2012). En concreto, en el caso del Arga, se transcribe la información existente para la tesela “Arga-2” entre los municipios de Falces y Peralta. La vegetación de ribera en este tramo se calificaba como una formación claramente alterada, representativa de las etapas de degradación de mayor intensidad (arbolado muy disperso, arbustadas o matorrales muy alterados, situaciones antrópicas, que mantienen parte del cortejo florístico de las formaciones más desarrolladas). La vegetación de ribera de la primera banda estaba compuesta por una alameda hidrófila con álamo blanco (*Populus alba*) y fresno común (*Fraxinus angustifolia*) como especies abundantes, y olmo negrillo (*Ulmus minor*) como especie frecuente. La ocupación del tramo por esta formación era únicamente del 15%, siendo la cobertura dentro del estrato arbóreo del 75%. En cuanto al estrato arborescente, éste representaba una cobertura del 5% de la vegetación, y se encontraba dominado por el saúco (*Sambucus nigra*). Las especies lianoides también eran abundantes, encontrándose *Rubus caesius* como la especie más abundante y *Clematis vitalba*, *Galium aparine* y *Bryonia dioica* como especies frecuentes. En el estrato herbáceo las especies más abundantes eran *Alliaria petiolata* y *Brachypodium sylvaticum*, y entre las más escasas u ocasionales se encontraban *Arctium minus*, *Urtica dioica*, *Pitatherum miliaceum* y *Parietaria judaica*.

Por lo que respecta al río Aragón, en la tesela “Aragón-5”, ubicada en las inmediaciones de la localidad de Caparros, se encontró un tramo complejo con alameda, saucedas blancas y choperas. El estrato arbóreo ocupaba un 75% de la superficie del área de estudio, y en él dominaban el álamo blanco (*Populus alba*), el chopo (*Populus nigra*), el sauce blanco (*Salix alba*), el fresno común (*Fraxinus angustifolia*) y el olmo negrillo (*Ulmus minor*). El estrato arborescente estaba principalmente compuesto por el espino albar

(*Crataegus monogyna*) y el cornejo (*Cornus sanguinea*), aunque también aparecían especies como el aligustre (*Ligustrum vulgare*) y el endrino (*Prunus spinosa*). En la formación también se registró la presencia como arbusto de la retama loca (*Osyris alba*). En cuanto al estrato lianoide, estaba dominado por *Hedera helix*, *Vitis vinifera* subsp. *silvestris*, *Bryonia cretica* subsp. *dioica*, *Cynanchum acutum*, *Rosa sempervirens*, *Rubus ulmifolius*, *Rubus caesius* y *Rubia peregrina*. Finalmente, por lo que respecta al estrato herbáceo, destacaba la presencia de especies como *Brachypodium sylvaticum*, *Equisetum ramosissimum*, *Elymus pungens*, *Brachypodium phoenicoides*, *Phragmites australis*, *Veronica anagallis-aquatica*, *Lythrum salicaria*, *Carex cuprina*, *Potentilla reptans*, *Scirpus holoschoenus*, *Polygonum persicaria*, *Typha domingensis*, *Spartanium erectum*, *Alisma lanceolatum* o *Echinochloa crus-galli*.

3. Actuaciones de restauración

3.1. Planificación

La restauración de los bosques de ribera en el sistema Arga-Aragón se realizó en el contexto de diversos proyectos de mejora del sistema fluvial, en especial del Proyecto LIFE+ Territorio Visón (2010-2016). El objeto principal de dicho proyecto fue la mejora significativa de la biodiversidad de los tramos bajos de la ZEC Tramos bajos de los ríos Aragón y Arga, donde se localiza el núcleo de mayor densidad de visón europeo de Europa occidental. El visón europeo (*Mustela lutreola*) es una de las especies animales en mayor riesgo de desaparición de todo el planeta. La degradación del ecosistema fluvial le afecta especialmente, por ser una especie que necesita los bosques naturales de los ríos y los humedales en diferentes etapas de su vida.

Por sus objetivos y el método previsto para lograrlos, el proyecto LIFE+TV ha sido un proyecto novedoso, ambicioso y complejo a nivel administrativo, técnico y social, ya que ha perseguido la mejora del estado de conservación de la especie a través de la mejora de los hábitats específicos que utiliza el visón, y a través de una mejora integral de los ecosistemas fluviales, todo ello de manera compatible con los intereses de las poblaciones locales, lo que supone la aplicación de un modelo de gestión integral e integrado.

Como en la mayoría de los ríos europeos, los problemas de conservación se derivan de la falta de espacio para el río. La mayoría de las llanuras de inundación han sido ocupadas por terrenos de cultivo. Las escolleras y motas que se construyeron en el pasado para defender la agricultura y las plantaciones forestales dificultan actualmente la dinámica natural de los ríos, provocando fenómenos de incisión y diversos desequilibrios hidrosedimentarios, y se muestran ineficaces para la protección frente a las inundaciones. Para reducir estos problemas de conservación, en el proyecto se han realizado 5 tipos de actuaciones:

- Retranqueo o eliminación de motas y aumento del territorio fluvial.
- Reconexión hidráulica y mejora ecológica de meandros abandonados.
- Recuperación y mejora de hábitats específicos de visón europeo.
- Restauración de otros hábitats fluviales de interés para la conservación.
- Eliminación de especies alóctonas e invasoras.

La restauración de hábitats fluviales fue una de las acciones principales del proyecto, cuyo objetivo es la recuperación y mejora de hábitats fluviales presentes en la Directiva Hábitats y, por tanto, hábitats de interés para la conservación (HIC) que se encontraban ocupados por otros usos, como las choperas, principalmente el 92A0 (bosques en galería de *Populus nigra* y *Populus alba*) o 92D0 (bosques de *Tamarix gallica*) 3270 (vegetación nitrófila colonizadora de graveras) o 3280 (formaciones herbáceas nitrófilas anuales y perennes). En total se realizó esta acción sobre 115,74 ha, en 22 parajes diferentes, de las que 106,27 ha eran choperas, principalmente de propiedad comunal (figura XIII.2).

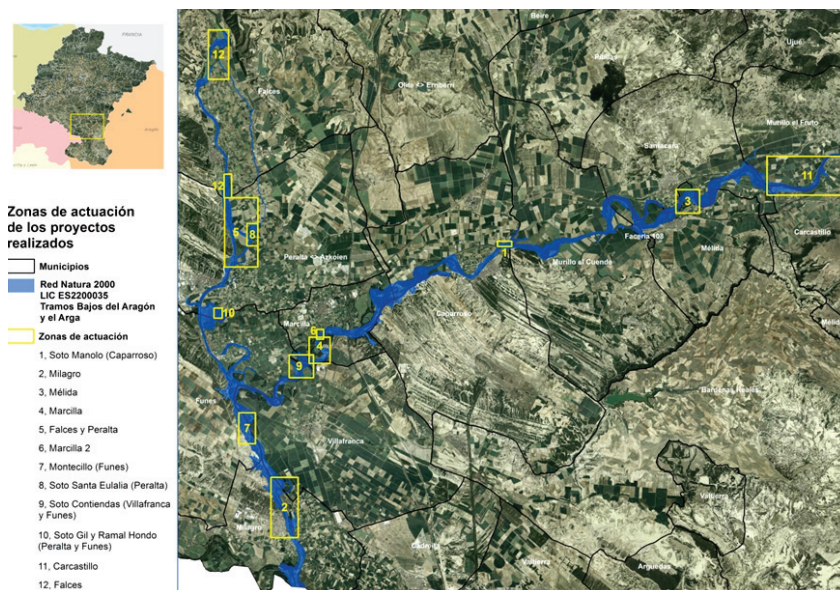


Figura XIII.2. Localización de los proyectos realizados en los ríos Arga y Aragón, dentro del Proyecto Life+ Territorio Visión (fuente: Gestión Ambiental de Navarra).

La disponibilidad de los terrenos es un factor limitante para el desarrollo de los proyectos, y es en la negociación de los acuerdos para su adquisición donde las entidades locales ejercen su presión para hacer valer sus exigencias y requerimientos, especialmente en lo relativo a las actuaciones que afectan a las infraestructuras fluviales de protección frente a inundaciones, porque son actuaciones muy sensibles para la población local. El proyecto LIFE+ TV incluyó, entre sus acciones, la posibilidad de realizar compras de terrenos particulares y la realización de pagos compensatorios en terrenos comunales por el cese de cultivos forestales o agrícolas, lo que, unido a un importante programa de participación social, ha permitido la incorporación de esta importante superficie en el proyecto.

De acuerdo con las disposiciones del programa LIFE+ TV, para los terrenos comunales el pago se realizó mediante el arrendamiento en un único pago de los derechos de uso por un periodo de 20 años. La cantidad ofrecida fue la misma para todos los ayuntamientos: 5400 € ha⁻¹ para los 20 años por el arrendamiento del suelo. El precio se estableció calculando

lo que una empresa maderera pagaría por el arrendamiento de un terreno con una buena calidad de estación (450 € ha^{-1} y año) durante un turno de 12 años. El resto (8 años), se consideró como la aportación que realiza el ayuntamiento para la mejora o conservación ambiental de su territorio. Además, en aquellos casos donde se corta una chopera antes del turno final, es necesario valorar también el vuelo para compensar la pérdida de las inversiones realizadas y los ingresos que no van a obtenerse por la corta de la chopera antes de su óptimo.

La restauración vegetal se basó en un detallado análisis del funcionamiento hidrológico, geomorfológico y ecológico del sistema fluvial, que permitió evaluar las causas de degradación de las formaciones vegetales, y clasificar detalladamente las condiciones del espacio de actuación, de manera que la selección posterior de las especies se asociara a las características del hábitat físico. Una vez reconocidas y eliminadas las principales causas de alteración, se procedió al diseño de las plantaciones vegetales, de acuerdo con la imagen objetivo del proyecto, con el fin de acelerar la recuperación ecológica del tramo fluvial, en la que existen además especies animales de interés para la conservación, entre las que destaca el visón europeo (*Mustela lutreola*). La estrategia de diseño atendió a un criterio de multifuncionalidad de las acciones de restauración, basado en la atención a un amplio rango de funciones y servicios ambientales de la zona ribereña. Entre ellos, cabe citar los siguientes:

- Mejora o generación de nuevos hábitats acuáticos y ribereños para un elevado número de especies de interés para la conservación.
- Incremento de la conectividad ecológica a lo largo del corredor ribereño.
- Reducción de los riesgos de inundación en áreas críticas.
- Mejora del estado hidromorfológico y de la integridad ecológica de los cauces del ámbito de estudio.
- Mejora de la capacidad natural de retención de agua y sedimentos.
- Incremento de la potencialidad recreativa de determinadas zonas en entornos periurbanos.
- Mejora del ciclo hidrológico general como base para la continuación de ciertos aprovechamientos y usos humanos.

La plantación de las especies se realizó de acuerdo con la topografía del cauce, situando agrupaciones de especies con diferentes preferencias en cuanto a humedad, en diferentes puntos de la zona de estudio, generando una distribución en mosaico de la vegetación, que se entiende del máximo interés para reproducir las pautas naturales del río, tanto desde un punto de vista ecológico como desde una perspectiva paisajística. Se utilizó una densidad de plantación baja, para favorecer la regeneración natural posterior y la existencia de condiciones heterogéneas en el interior del meandro del río, promoviendo la presencia de especies con diferentes apetencias ecológicas.

El seguimiento que se viene realizando sobre las acciones desarrolladas muestra que, hasta la fecha, la plantación realizada se ha adaptado de manera exitosa a las condiciones del medio, permitiendo compatibilizar la conservación ambiental con el mantenimiento de actividades humanas de interés para los habitantes de los pueblos cercanos. Apenas se

ha registrado la existencia de plantas muertas (marras), y la revegetación efectuada está contribuyendo a la recuperación de otros componentes y procesos naturales en el medio en el que se ha realizado la intervención.

3.2. Elección de especies

Las especies finalmente seleccionadas para la revegetación fueron especies locales, cuya adecuada distribución en las riberas de los ríos Arga y Aragón contribuye a la optimización de la biodiversidad fluvial y al buen estado ecológico de ambos ríos, así como al desarrollo de actividades de interés para las poblaciones cercanas. Entre las especies elegidas destacan el fresno común (*Fraxinus angustifolia*), el álamo blanco (*Populus alba*), el álamo negro o chopo (*Populus nigra*), los sauces (*Salix alba*, *Salix purpurea*, *Salix triandra*), el negrillo (*Ulmus minor*), el aliso (*Alnus glutinosa*) y los tarays (*Tamarix gallica*, *Tamarix africana*). También se utilizó un amplio número de especies arbustivas capaces de aportar frutos a la fauna local (especialmente a la avifauna): endrinos (*Prunus spinosa*), saúcos (*Sambucus nigra*), majuelos (*Crataegus monogyna*), cornejos (*Cornus sanguinea*), rosas (*Rosa* spp), zarzas (*Rubus* spp). Se usaron plantas de distintos tamaños y varias técnicas de plantación basadas en diferentes mecanismos de propagación (plantas procedentes de viveros cercanos, estaquillas recogidas en las inmediaciones de la zona de actuación, etc.).

3.3. Actuaciones y acondicionamiento del medio

A lo largo del proceso de restauración surgió el debate sobre la intensidad óptima de actuación en la restauración, planteándose la posibilidad de adoptar una restauración pasiva o una restauración activa. La mayor parte de las actuaciones se realizaron entre 2015 y 2016.

3.3.1. Restauración pasiva

La restauración pasiva o indirecta se realiza a través de la eliminación del factor limitante que impide la regeneración de los bosques de ribera (como puede ser el pastoreo, la eliminación de cultivos o de especies invasoras competidoras), y la mejora o reconexión del territorio fluvial, de forma que se mejoran las condiciones para su regeneración natural.

En el caso del sistema Arga-Aragón, la restauración pasiva estuvo asociada a medidas complementarias de eliminación de estructuras de defensas (motas de escollera) y de aumento de las llanuras de inundación, lo que permitió una reconexión hidrológica y topográfica de las riberas, un aumento en la periodicidad e intensidad de las avenidas, favoreciendo las condiciones para la regeneración natural de los bosques de ribera por una mayor humedad temporal en el suelo y mayor presencia de semillas y propágulos de especies que transporta el río. Con esta finalidad, en el proyecto LIFE+ Territorio Visón se ha realizado la eliminación de más de 7 km de motas y la recuperación de 108 ha de “territorio fluvial” (figura XIII.3).

Otra actividad de la restauración pasiva fue la eliminación de la vegetación competitiva, en este caso de choperas establecidas con clones de interés productivo (figura XIII.4). Para estos taxones, es especialmente recomendable controlar su rebrote, que es abundante y vigoroso, y que puede ser de cepa, de raíz e incluso por reproducción asexual de las ramas y ramillas procedentes del desramado, que rebrotan a modo de estaquillas.



Trabajos de eliminación de la mota y efectos de la avenida del río Aragón.



Situación en 2020 después de la evolución natural de la vegetación.

Figura XIII.3. Eliminación de motas en Caparroso y revegetación natural posterior (fotos: M Goikoetxea).



Corta de choperas productivas.



Eliminación de restos mediante quemas controladas previo apilado de los mismos.

Figura XIII.4. Ejemplo de eliminación de chopera de producción como factor limitante para la regeneración natural en el área de trabajo (fotos: E Berián).

Para evitar la regeneración asexual de restos de corta, se considera importante que se realice un aprovechamiento del árbol entero o, en su caso, la posteriormente recogida y eliminación de los restos. Para el control del rebrote se realizaron acciones de destocoñado mecánico y biológico, descartándose los métodos químicos por su potencial incidencia en los procesos biológicos del sistema acuático. Los métodos para el destocoñado mecánico consistieron en (figura XIII.5):

- Extracción del tocón y enterrado *in situ*, sobre zanjas repartidas a lo largo del terreno.
- Extracción del tocón y transporte a vertedero.
- Astillado del tocón con barrena helicoidal.

En todos los casos se produjeron rebrotes, y en algunas zonas fue necesario realizar acciones de mantenimiento y eliminación (figura XIII.6).



Extracción del tocón mediante cuchara de dos valvas.



Destoconado mediante excavación con cazo.



Destoconado y trituración *in situ* con una destoconadora helicoidal de cuchillas.

Figura XIII.5. Destoconado mecánico de chopos (fotos: M Goikoetxea).



Figura XIII.6. Eliminación de rebrotes de chopos mediante extracción con el cazo de la retroexcavadora (foto: M Goikoetxea).

Por lo que respecta al destoconado biológico, éste consistió en la inoculación de los tocones con hongos saprófitos (*Pleurotus ostreatus* -90%, y *Agrocybe aegerita* -10%). Esta técnica consiste en el corte del tocón, inoculación del hongo, tapado con bolsas de materiales biodegradables, y enterrado (figura XIII.7). Se trata de un método experimental, que supone una mejora ambiental respecto a otros métodos mecánicos o químicos, ya que se produce un menor impacto sobre el terreno, además de producir en los años siguientes setas comestibles, por lo que es socialmente muy aceptado.



Figura XIII.7. Proceso de destoconado biológico, en el que se aprecian diversas etapas de la inoculación de los tocones con micelios de hongos saprófitos y la posterior respuesta de los tocones (en términos de rebrotes y de aparición de setas sobre dichos tocones) (fotos: M Goikoetxea).

El destocoñado biológico ha funcionado bien, evitando los rebrotes de chopo sobre los tocones en la mayoría de los casos. El porcentaje de éxito de inoculación del tocón se sitúa entre el 80% y el 100% según zonas, funcionando mejor *Pleurotus ostreatus*. Se ha podido comprobar de forma estadística que el método más eficaz y más válido es el destocoñado por rodaja (en el que se corta una rodaja superior del tocón, bajo la cual se realiza la inoculación), con unos porcentajes de colonización del micelio muy elevados. El porcentaje de rebrote se encuentra alrededor del 20%, si bien, a diferencia de otros métodos, puede descender progresivamente por la colonización del hongo sobre el individuo.

Como desventajas del método se puede destacar su coste, la necesidad de ejecutarlo en parada vegetativa y que requiere un tocón “alto” y limpio, sin chupones. Otra consideración importante tiene que ver con el riesgo de avenidas, ya que la actuación puede verse afectada si se produce una riada en sus estados iniciales, previo a la colonización del micelio (como ocurrió en uno de los casos).

Tanto la restauración activa como la restauración pasiva presentan problemas en la sustitución de choperas de clones productivos mediante el método de apeo y posterior destocoñado, ya que se produce un rebrote vigoroso.

Además, a lo largo de toda la ZEC Tramos Bajos Aragón y Arga, se ha observado que la regeneración natural con especies propias de los hábitats de interés, tanto arbóreas (*Populus alba*, *Populus nigra*, *Salix* sp. *Fraxinus angustifolia*), como de matorral (*Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Rosa* sp., *Rubus* sp. y otras), se produce de forma más abundante en condiciones de cubierta, cuando existe una estructura vegetal de masas arbóreas (como son las choperas abandonadas) donde las condiciones de sombra, especialmente en verano, favorecen unas mejores condiciones de temperatura y humedad.

Por todas estas cuestiones, en el proyecto se ensayó un tercer método consistente en realizar tratamientos selvícolas para la sustitución de choperas favoreciendo la regeneración natural de los hábitats de bosques ribereños del HIC 920A. Estas actuaciones se realizaron en los proyectos de Falces (5,90 ha), Milagro (3,98 ha) y Carcastillo (1,06 ha) en choperas adultas, abandonadas, que presentan buenas características desde el punto de vista estructural y funcional, pero cuya composición específica estaba dominada por chopos híbridos, y que en la mayoría de los casos presentan un regenerado de fresnos, álamos, chopos y olmos, además de un sotobosque formado por especies propias de la orla espinosa.

La corta de las choperas puede dañar este regenerado por lo que resulta conveniente realizar un tratamiento selvícola para favorecer a las especies del sotobosque. En algunas parcelas se realizaron claras y tronzado de los pies, de forma continua o por bosquetes (figura XIII.8); en otras masas se procedió al anillado de los pies para favorecer el decaimiento progresivo, sin alterar en exceso la masa desde el punto de vista estructural pero promoviendo las condiciones para el estrato en regeneración, además de favorecer la presencia de madera muerta para especies de fauna silvestre de interés (pícidis y quirópteros) (figura XIII.9).



Figura XIII.8. Apeo y tronzado de los pies de chopos sin extracción para favorecer la regeneración natural del sotobosque y evolución posterior (aspecto en el año 2020) (fotos: M Goikoetxea).



Figura XIII.9. Anillado de pies para favorecer su decaimiento progresivo y promover la regeneración natural del sotobosque y la creación de condiciones favorables para el hábitat de ciertas comunidades de fauna silvestre, como puede observarse posteriormente, en el año 2020 (fotos: M Goikoetxea).

3.3.2. Restauración activa (plantaciones)

El éxito de la restauración pasiva presenta ventajas ambientales y económicas, pero está condicionada por el régimen de caudales, la desconexión hidráulica (por procesos geomorfológicos como la incisión), o la colonización de otras especies (incluso especies alóctonas e invasoras). Por tanto, en ocasiones es necesario intervenir y acelerar los

procesos de restauración mediante plantaciones. En el presente proyecto, la restauración activa ha estado condicionada por el objetivo de lograr la mayor naturalidad de las zonas restauradas, tanto desde el punto de vista estructural como de la composición específica e incluso en el origen de las plantas, mediante la selección de material vegetal de procedencias exclusivamente locales (ámbito menor que la región de procedencia).

Diseño de las plantaciones

Como ya se ha señalado con anterioridad, el primer condicionante para el diseño de las plantaciones es la búsqueda de una mayor naturalidad. Junto a él destacan los condicionantes ambientales propias de cada parcela, que determinan la posibilidad o no de realizar las plantaciones o que condicionan la elección del método y el tipo de plantas a emplear.

En especial, se han considerado las condiciones de capacidad de retención de agua de cada rodal y de conexión fluvial de las riberas; por tanto, se han diseñado las plantaciones en función del tipo de mantenimiento que puede o no realizarse según las infraestructuras existentes o la accesibilidad de la parcela (riego a manta, riego por cisterna, mantenimiento de la planta por conexión al freático, etc.), ya que éste condicionará el tipo de planta que conviene emplear (figura XIII.10).



Figura XIII.10. La mayor o menos accesibilidad al agua condiciona el tipo de plantas a emplear en cada rodal, el método de plantación y los trabajos de mantenimiento (fotos: M Goikoetxea).

Distribución y densidad de la plantación

Hay que recordar que el objeto de la plantación no es obtener una cobertura total del terreno, sino acelerar los procesos de sucesión y naturalización (figura XIII.11). Para ello se diseñaron plantaciones por bosquetes, de entre 25 a 50 plantas cada uno, con un marco de referencia de 4×4 m en el interior del bosquete y una distribución irregular, con una media de 5 bosquetes por hectárea, que proporcionan una ocupación del terreno abierta pero más o menos continua, con densidades en torno a las 125 plantas ha^{-1} .

Composición de los bosquetes

Los bosquetes son mixtos, formados principalmente por especies arbóreas propias de los sotos fluviales (en este caso mayoritariamente *Populus nigra*, *Populus alba* y *Fraxinus angustifolia*, y como especies acompañantes *Salix alba* y *Salix fragilis*) y alternando en ocasiones con especies arbustivas propias de la orla espinosa (*Crataegus monogyna*,



Figura XIII.11. Diferentes aspectos de la plantación por bosquetes en ejecución y su distribución espacial en las parcelas. En las fotos inferiores se puede observar su estado en 2020 (fotos: E Berián y M Goikoetxea).

Rubus ulmifolius, *Cornus sanguinea*, *Rosa canina*, *Rosa sempervirens*), *Ligustrum vulgare*; tarayales (*Tamarix gallica*) y otras especies de *Salix* en las zonas más próximas a orillas de brazos secundarios y humedales.

Como se ha comentado, en la elección de especie se ha priorizado que las procedencias de las plantas fueran exclusivamente locales, por lo que se desecharon especies propias de los hábitats a restaurar, pero de las que sólo se disponía de plantas de otras regiones de procedencia o de ámbitos externos a la cuenca de los ríos a restaurar. Este planteamiento, que se desprende de los objetivos del proyecto LIFE+, ha sido valorado de manera muy positiva por la Comisión Europea durante sus tareas de evaluación de las actuaciones realizadas, ya que entendía imprescindible que la restauración de los hábitats de interés se realizara con plantas de procedencias locales, para evitar intromisión de variedades diferentes que pueden deteriorar el pool genético de las especies autóctonas.

Métodos de plantación

Los métodos de plantación utilizados variaron en función del tipo de plantas utilizado y de las posibilidades de mantenimiento existentes. Los métodos de plantación empleados fueron:

- **Plantación a raíz profunda con varetas del género *Populus*.** Se optó por este método en zonas donde el freático se encuentra en niveles más o menos accesibles,

a una profundidad de entre 3 y 4 m, de forma que no se requieren mantenimientos posteriores. Este método fue el método preferente siempre que las condiciones lo permitieron, ya que funciona bien, no requiere efectuar mantenimiento y los porcentajes de marras, que en algunas zonas han superado el 20%, son admisibles porque se adaptan bien al tipo plantación abierta diseñada. En ocasiones, los ejemplares quedan puntisecos por el estrés de la plantación, pero se producen rebrotes. Esta circunstancia, que no es admisible para plantaciones de tipo productor, no resulta determinante para los objetivos de restauración (figura XIII.12).



Aviverado de las plantas para la plantación a raíz profunda (fotos: M Goikoetxea).



Plantación a raíz profunda para especies del género *Populus* (fotos: E Berián).

Figura XIII.12. Mantenimiento previo y plantación de las plantas del género *Populus*.

- **Plantación de especies arbóreas a raíz desnuda o planta en cepellón.** Se utilizó este método para las especies arbóreas en lugares con acceso o infraestructuras para el riego. La planta utilizada puede ser de diferentes tamaños a raíz desnuda o en cepellón (este último tipo se ha utilizado para *Fraxinus angustifolia*, que presenta mayores problemas para su implantación). La plantación se realizó sobre hoyo semiabierto, generalmente de 60 × 60 × 60 cm, con alcorque (figura XIII.13).
- **Plantación de plantas de especies arbustivas en contenedor forestal.** Se utilizó este método para plantación de especies, generalmente arbustivas, presentadas en contenedor o alveolo forestal, que suelen alternarse en bosquetes con las especies arbóreas. Se realizó sobre el mismo tipo de hoyos semiabiertos con alcorque que en el caso anterior (figura XIII.14).



Planta en cepellón de *Fraxinus angustifolia*
(foto: E Beirán).



Ahoyado por bosquetes con hoyas semiabiertas de 60 × 60 × 60 cm y con alcorque (foto: M Goikoetxea).



Plantación a raíz desnuda con voluntariado
(foto: E. Berrián).



Plantación a raíz desnuda de especies del género *Salix*
(foto: M Goikoetxea).



Estado de los sauces en 2020 (foto: M Goikoetxea).



Aspecto de los fresnos en 2020
(foto: M Goikoetxea).

Figura XIII.13. Plantación a raíz desnuda de árboles y arbustos y evolución de las plantas.



Figura XIII.14. Plantación de plantas en contenedor forestal sobre hoyo semiabierto con alcorque. A la derecha puede observarse el aspecto que presentan en el año 2020 (fotos: M Goikoetxea).

- **Estaquillados y otras técnicas de bioingeniería.** La recuperación del hábitat específico de visón fue una de las acciones prioritarias del PROYECTO LIFE+TV. La homogenización a la que se han visto sometidos los ecosistemas fluviales en las últimas décadas, ha conllevado la desaparición de una serie de hábitats que son de vital importancia para la supervivencia del visón europeo (*Mustela lutreola*), como son los brazos secundarios y los humedales anejos al cauce principal que son habitualmente utilizados por el visón europeo para la reproducción, ya que en ellos encuentra zonas tranquilas donde poder cazar y criar a la prole (figura XIII.15).



Figura XIII.15. Vista aérea del humedal construido para mejora del hábitat del visón europeo en Soto Manolo (Caparroso, Navarra) y situación en 2020 (fotos: M Goikoetxea).

Para la recuperación de estos hábitats de vital importancia en el ciclo reproductivo del visón europeo se realizó la construcción de humedales a partir de la excavación irregular del terreno, buscando crear ambientes diversos y lo más naturales posible, generando zonas poco profundas en las que fuera sencilla la colonización por parte de la vegetación acuática y otras más profundas, de hasta 2 m, para garantizar que parte de los humedales quedaran como una lámina de agua libre, y favoreciendo además la presencia de otras especies como el galápago europeo (*Emys orbicularis*) o la nutria (*Lutra lutra*). Los márgenes son lobulados e irregulares, buscando crear un máximo de orilla, con pendientes muy suaves, lo

que permitió la revegetación de las orillas utilizando técnicas bioingeniería. En la zona central se dejó sin excavar una isla para refugio de la fauna de interés. Para disminuir la permeabilidad de las gravas de los terrenos aluviales, donde se excavaron las balsas, se aportaron limos y arcillas al fondo, y, así, reducir la infiltración del agua.

En las orillas de estos humedales se realizaron estaquillados y actuaciones de bioingeniería. Se llevaron a cabo estaquillados con estacas de 20-30 cm de diferentes especies de *Salix* a densidades de 4 a 6 uds m² y distribución irregular (figura XIII.16 y XIII.17).



Figura XIII.16. Estaquillado con sauce en las orillas y estado de la restauración en 2020 (fotos: E Berián).



Figura XIII.17. Cobertura de ramas con varetas de sauce en taludes (foto: E. Berián) y aspecto de su desarrollo en el año 2020 (foto: M Goikoetxea).

- **Plantación de especies helófitas.** Por último, se procedió a la revegetación en orillas con especies de helófitas como la espadaña (*Typha angustigolia*), el junco churrero (*Scirpoides holoschoenus*), el lirio amarillo (*Iris pseudacorus*), el carrizo (*Phragmites australis*), la salicaria (*Lythrum salicaria*), y la platanaria (*Sparganium erectum*).

El material de reproducción se recolectó en poblaciones próximas a la zona de actuación y su producción se efectuó en viveros locales. Para su instalación se utilizaron biorrollos y mantas (figura XIII.18).



Figura XIII.18. Colocación de mantas y biorrollos con especies de helófitas (fotos: E Berian). En las dos fotos inferiores puede verse el buen estado de estas plantaciones en el año 2020 (fotos: M Goikoetxea).

Mantenimiento

El mantenimiento es fundamental para el éxito de las plantaciones realizadas, y dependiendo de las zonas debe realizarse como mínimo entre 2 y 4 años después de la plantación. El mantenimiento necesario se puede resumir en las siguientes acciones:

- Escarda manual y repaso de alcorque
- Riego de 70 l para especies arbóreas, plantadas a raíz desnuda y con cepellón.
- Riego de 40 l para plantas arbustivas, plantadas en alveolo.
- La planta a raíz profunda no requiere de mantenimiento.
- Tampoco requieren de mantenimiento los estaquillados, obras de bioingeniería, biorrollos y mantas con helófitos.

El número de riegos varía dependiendo la meteorología del año, pero se considera que como mínimo deben realizarse entre 3 y 5 riegos. La planta a raíz profunda no requiere mantenimiento. En cuanto a la escarda del alcorque, se considera suficiente realizarlo una sola vez, previo al primer riego y consiste en la eliminación manual, con azada o similar, de la vegetación competidora en una superficie de 1 m² alrededor de cada planta y repaso de alcorque (Figura XIII.19).



Figura XIII.19. Realización de escardas para el mantenimiento de las plantaciones (fotos: M Goikoetxea).

Agradecimientos

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX (Ministerio de Fomento – Ministerio para la Transición Ecológica) y la Sociedad Pública Gestión Ambiental de Navarra S.A. facilitaron diversa información necesaria para la redacción de este documento.

BIBLIOGRAFÍA

CEDEX (2010a) Estudio de alternativas de actuación de restauración de ríos y defensa frente a inundaciones en la confluencia del Arga-Aragón: Plan de restauración ecológica. Informe inédito para Gestión Ambiental, Viveros y Repoblaciones de Navarra y Gobierno de Navarra.

CEDEX (2010b) Guía visual interactiva de la vegetación de ribera española. <http://vegetacionderibera.cedex.es/>

- Fernández-Santamarina A, Magdaleno F, Udias A (2016) Spatial variation of woody riparian vegetation across the riverbank topographic gradient in mediterranean rivers: species and growth categories. *River Res Appl* 32(6):1289–1301
- Fischer RA, Fischenich JC (2000) Design recommendations for riparian corridors and vegetated buffer strips. EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TN-EMRRP-SR-24), U. S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS
- Garilleti R, Calleja JA, Lara F (2012) Vegetación ribereña de los ríos y ramblas de la España meridional (península y archipiélagos). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones, Madrid
- Gurnell A (2014) Plants as river system engineers. *Earth Surf Proc Land* 39(1): 4-25
- Ibisate A (coord.) (2010) Estudio de alternativas de actuación de restauración de ríos y defensa frente a inundaciones en la zona de confluencia de los ríos Arga y Aragón: estudio geomorfológico. Informe inédito para Gestión Ambiental, Viveros y Repoblaciones de Navarra y Gobierno de Navarra
- Lara F, Garilleti R, Calleja JA (2004) La vegetación de ribera de la mitad norte española. Monografías CEDEX, M-81. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid
- Magdaleno F (2008) Manual de técnicas de restauración fluvial. Monografías CEDEX, M-100. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid
- Magdaleno F (2011) Gestión y restauración de los bosques de ribera. *Boletín del Observatorio de la diversidad biológica y los procesos ecológicos en el medio rural* 3:7-1
- Magdaleno F, Martínez R (2011) Marco metodológico para la restauración fluvial en el nuevo contexto normativo y técnico. *Montes* 107:25-30
- Magdaleno F, Blanco F, Bonada N, Herrera A (2014) How are riparian plants distributed along the riverbank topographic gradient in Mediterranean rivers? *Application. Limnetica* 33(1): 121-137
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2010) Restauración de ríos: bases de la Estrategia Nacional de Restauración de ríos. Restauración de Ríos. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (www.marm.es).
- Prada MA, Arizpe D (2008) Manual de propagación de árboles y arbustos de ribera – Una ayuda para la restauración de riberas en la región mediterránea. Generalitat Valenciana, Valencia
- Prada MA, Cubero D, Rueda J, Magdaleno F, Pérez F, Martínez R, Bellera MC, Nicolás JL, Aparicio M, Tranque J, Herrero A, Martínez S, Martín E (2012) Guía técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Comité Nacional de mejora y conservación de recursos genéticos forestales. Secretaría General Técnica, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid

Caso práctico XIV

Restauración postincendio en El Rodenal de Guadalajara (Sistema Ibérico)

Cristina CARRILLO GARCÍA, Javier MADRIGAL OLMO,
Rafael M^a NAVARRO CERRILLO

1. Bases teóricas de la restauración tras incendios forestales

La incidencia de los incendios forestales en la región mediterránea ha cobrado mayor relevancia en las últimas décadas. Sobre esta temática, la comunidad científica ha venido adoptando posturas muy diversas hasta alcanzar un consenso en cuanto al papel de los incendios en la dinámica ecológica. Los estudios demuestran la relevancia histórica del fuego en la trayectoria de los paisajes desde la aparición de la especie humana, e incluso, con anterioridad a ésta (Pausas 2010). La presión de selección asociada al período de recurrencia de los incendios forestales hace que, de forma casi exclusiva, exista en los ecosistemas mediterráneos una correlación evolutiva entre la inflamabilidad y la capacidad de reclutar nuevos individuos de forma rápida y prolífica tras un incendio (Pausas 2010).

Balaguer (2014) define la “restauración ecológica” como el proceso de revitalizar la integridad y la funcionalidad del ecosistema, tras una degradación o daño severo. Así mismo es descrita por la *Society for Ecological Restoration International* (SER 2004) como el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. El caso práctico que nos ocupa alude a la “auto-organización” del ecosistema hacia estados de madurez tras haber sido gravemente perturbado por un incendio forestal, es decir, un proceso pasivo de restauración basado en la regeneración natural de la masa forestal sin intervención humana directa o indirecta (Serrada 2003). A diferencia de la restauración pasiva, la restauración activa implica la intervención sobre el medio y puede ser realizada a través de muy diversas medidas (Espigares *et al.* 2003). Hay autores que sugieren la necesidad de acometer trabajos de apoyo que garanticen el éxito de la regeneración natural (restauración pasiva). En esta línea, Ruiz de la Torre (1990) y García Salmerón (1995) en Pemán y Navarro-Cerrillo (1998) definen la regeneración natural como aquellas acciones encaminadas a ayudar a la regeneración de las especies forestales ya existentes en el monte, o acciones llevadas a cabo en calveros próximos al monte, pero siempre con predominio de los factores de reproducción natural, dispersión

de semillas, propagación vegetativa, etc. (ver capítulo 1). La restauración activa, implementada a través de acciones selvícolas de apoyo a la restauración (por ejemplo, Carrillo *et al.* 2009), el apeo y saca de madera con el fin de evitar riesgos de plagas (por ejemplo, Sánchez *et al.* 2007) o la extracción de madera aprovechable económicamente, son ejemplos del que ha venido siendo el procedimiento habitual postincendio en zonas afectadas por el fuego.

En este contexto, en la última década se han realizado diversos estudios sobre la regeneración y supervivencia de *Pinus pinaster* Ait., así como acerca de la influencia que tienen los tratamientos postincendio en la instalación del regenerado y su supervivencia a corto y medio plazo (por ejemplo, Trabaud 1998; Vega 2001; Fernández-Rebollo *et al.* 2001; Pérula *et al.* 2003; Madrigal *et al.* 2005; Madrigal *et al.* 2006; Hernández-Clemente *et al.* 2007, 2009 a, 2009 b; Ocaña *et al.* 2007; Fernández *et al.* 2008; Vega *et al.* 2008; Hernández-Clemente *et al.* 2009 a y b; Gil *et al.* 2009; Madrigal *et al.* 2009; Serrada *et al.* 2009; Vega *et al.* 2009; Castro *et al.* 2011; Madrigal *et al.* 2011).

En contraposición, otros autores sugieren que no extraer los restos de madera quemada genera multitud de beneficios en el ecosistema (por ejemplo, Castro *et al.* 2008, 2010, 2013; Marañón-Jiménez *et al.* 2009; Castro y Leverkus 2012), tanto más en el contexto actual de cambio climático. La saca de la madera favorece la erosión y reduce drásticamente la capa de *mulch* de acícula soflamada que pudiera existir, además de dañar al posible regenerado emergido. Además, la presencia de árboles debilitados en el área incendiada es la que está directamente relacionada con el riesgo fitosanitario, y no así la madera muerta (Madrigal *et al.* 2018).

Las tasas de descomposición de la madera muerta varían en función de la especie y de las condiciones estacionales de la zona. Algunos autores consideran que la permanencia de los restos *in situ* no supone un aumento del riesgo de incendio puesto que la proporción de éstos que pudiera suponer un foco de ignición se descompone en periodos de tiempo relativamente cortos (Castro *et al.* 2010). En cambio, Brown *et al.* (2003) o Peterson *et al.* (2015), han constatado cómo parte de la madera quemada (particularmente los materiales gruesos) puede permanecer décadas sin descomponer, lo que sí contribuye a la mayor severidad en caso de que se produzca la perturbación en escenarios de alta frecuencia de incendios, dificultando con ello la posterior regeneración de la masa y la resiliencia del ecosistema.

2. Caracterización ambiental de la zona de restauración

El 16 de julio de 2005 se inició un incendio forestal en la comarca “Rodenales de Molina”, situada al noreste de la provincia de Guadalajara. El fuego tuvo graves consecuencias humanas, materiales y medioambientales, afectando a 12.874 ha, gran parte de ellas dominadas por fustales maduros de *Pinus pinaster* de 80-90 años de edad, y latizales jóvenes de 30-40 años (Serrada *et al.* 2009). Aparecen además otras especies arbóreas dominando algunas zonas del interior del perímetro, tales como especies del género *Quercus* (*Q. pyrenaica*, *Q. faginea* y *Q. ilex* subsp. *ballota*, ordenadas de mayor a menor representatividad) y gimnospermas del género *Juniperus* (*J. thurifera* y *J. oxycedrus*). Las cistáceas forman la orla predominante de matorral, con mayor abundancia de *Cistus*

laurifolius, seguido de *Cistus ladanifer* y *Cistus populifolius*. Así mismo están presentes retamas (*Cytisus scoparius*) y rosáceas, dentro de las que aparecen más frecuentemente el endrino (*Prunus spinosa*) y el espino albar (*Crataegus monogyna*), además de otros taxones de distribución más aislada tales como la zarza común (*Rubus ulmifolius*) y diferentes especies del género *Rosa*. Se hallan además lavandas (*Lavandula stoechas*), brezos (*Erica* sp.), brecina (*Calluna vulgaris*) y gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), junto con herbáceas, entre las que predominan las gramíneas (Carrillo García 2016).

El perímetro del incendio (figura XIV.1) se localiza entre las coordenadas 40° 46' - 41° 06' latitud N y 1° 52' - 2° 39' longitud W (Aguilar 2008). El rango altitudinal varía entre 1200 y 1370 m, de clima nemoromediterráneo, con precipitación de 650 mm, temperatura media anual de 10,2°C, con mínimas de -10,5°C y máximas de 34,5°C en agosto (fuente de datos: AEMET). El pino resinero o rodeno (*Pinus pinaster* subsp. *mesogeensis*) recibe su nomenclatura popular del sustrato sobre el que habita, rodenal de areniscas rojas del Buntsandstein, calizas secundarias y sedimentos silíceos (Ruiz de la Torre 2006). Históricamente se ha venido realizando el aprovechamiento de estos pinares para la extracción, en primer término y hasta 1980, de la resina o miera, y secundariamente, de productos destinados a la industria maderera, así como para el abastecimiento de leñas como combustible. La salida industrial posibilitó que estas actividades fuesen rentables económicamente para el sector forestal y se generase empleo, fijando de esta manera población en el medio rural. De manera colateral la superficie forestal mantenía densidades vegetales muy inferiores a las actuales, de forma que la carga de combustible en disposición de arder era más reducida y, consecuentemente, menor el riesgo de incendio asociado (Carrillo García 2016).

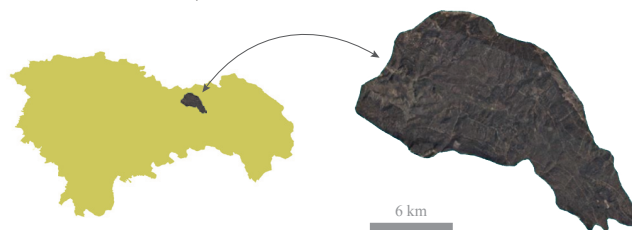


Figura XIV.1. Situación del área incendiada en la provincia de Guadalajara y ampliación detallada de la misma.

En la segunda mitad del siglo XX, comenzó un éxodo sucesivo de la población rural hacia las ciudades que no se ha revertido, con el consiguiente abandono gradual de las zonas agrarias. Los usos del suelo y la demanda de bienes y servicios del medio natural han cambiado en muchas áreas, viéndose por ejemplo incrementada la presión antrópica relativa a las actividades de recreo en la naturaleza. El área estudiada, típicamente mediterránea, presenta un régimen de precipitaciones estacional, con un fuerte estiaje estival y grandes diferencias térmicas entre invierno y verano. En estas zonas los incendios forestales alcanzan mayor relevancia, ya que se prevé un aumento del riesgo o probabilidad de ocurrencia de eventos de grandes dimensiones e intensidad (Viedma *et al.* 2015) en el contexto del cambio global, viéndose incrementada la vulnerabilidad de los sistemas forestales ante perturbaciones como los incendios (De Cáceres *et al.* 2016).

El pino rodeno se reproduce únicamente mediante semillas (Trabaud 1998; Pausas y Verdú 2005) y es una especie con una alta plasticidad fenotípica (Alía *et al.* 1996). Las masas estudiadas pertenecen a la región de procedencia 11 (Rodenales de Molina), con un banco aéreo reducido (Tapias *et al.* 2001; Madrigal *et al.* 2006; Gil *et al.* 2008) y escasa o nula serotinia (Alía *et al.* 1996; Tapias *et al.* 2004), lo que podría llegar a ser un factor limitante para la regeneración postincendio y comprometer la supervivencia del pinar en dichas áreas, en favor de otras especies con estrategias de supervivencia alternativas, caso de taxones rebrotadores como *Q. pyrenaica* (Carrillo García *et al.* 2017).

3. Actuaciones de restauración

Los trabajos de restauración se centraron en el monitoreo del proceso de regeneración natural de la masa de *P. pinaster*, planificándose el seguimiento de la vegetación para describir la evolución a corto y medio plazo del regenerado durante la primera década posterior al incendio ocurrido en julio de 2005 en “El Rodenal” de Guadalajara, y valorar el grado de influencia de diversas variables ecológicas y de gestión postincendio (Otero de Irizar 2017) sobre la instalación y supervivencia de los brinzales. Se evaluó la influencia de la severidad del fuego, la edad de la masa previa al incendio, la saca de la madera quemada y las condiciones ecológicas locales. Para ello, en el año 2006, y enmarcado en el proyecto “Rodenal” (Carrillo *et al.* 2009), se instalaron 19 parcelas permanentes ubicadas de tal forma que fueran representativas de las diferentes características fisiográficas presentes en el área delimitada por el perímetro del incendio. Con una superficie de 40 m × 40 m, dentro de cada una de dichas parcelas se distribuyen sistemáticamente 25 subparcelas de 1,5 m × 1,5 m (figura XIV.2), en las que se analizaron las variables tanto a escala de rodal como a nivel de individuo (microescala) mediante el seguimiento de 1900 plántulas. Se ensayaron técnicas multivariantes (funciones Weibull, Kaplan-Meier, Cox, PLS, logísticas) para modelizar el proceso de supervivencia y predecir la densidad a medio plazo tras el incendio (2006-2014).

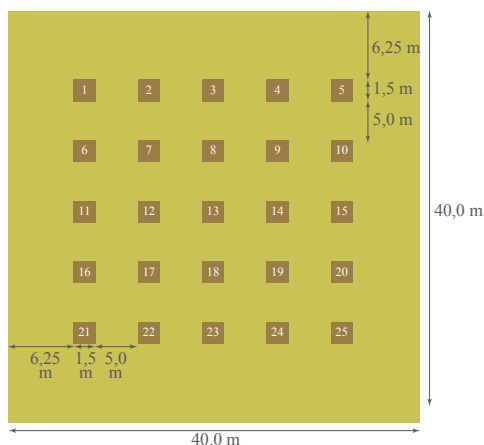


Figura XIV.2. Esquema de situación de las 25 subparcelas dentro de cada una de las parcelas de Inventario (Carrillo García 2016; Serrada *et al.* 2009)

En estas parcelas se llevaron a cabo dos tratamientos postincendio en el otoño de 2005 encaminados a evaluar su influencia en la regeneración de *P. pinaster* (figura XIV.3):

- 8 parcelas testigo (T). Sin intervención
- 11 parcelas cortadas (C, TC). Corta a hecho y extracción de la madera en pie con acordonado de restos en fajinadas como medida de control de la erosión postincendio (Ocaña *et al.* 2007).
 - Entre noviembre de 2005 y enero de 2006 se cortaron 9 parcelas (corta previa a la emergencia del regenerado, C)
 - En otoño de 2006 se talaron 2 parcelas situadas en pinar viejo (corta tras la emergencia del regenerado o corta diferida, TC).



Parcela testigo (T).



Fajinada de una de las parcelas cortadas (C).



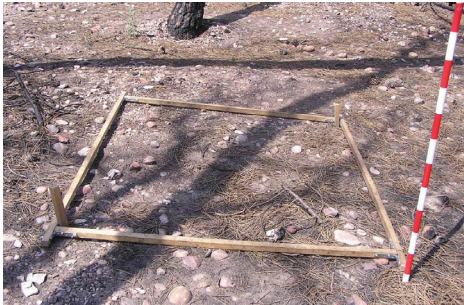
Ejecución de labores de apeo y extracción de la madera quemada (C).

Figura XIV.3. Imágenes del aspecto general de las parcelas postincendio en el año 2006 (fotos: Laboratorio de Incendios Forestales (INIA)).

Según el grado de afección de las copas se establecen dos niveles de severidad (Navarro Cerrillo *et al.* 2001; Escuin *et al.* 2002; Vega *et al.* 2005; Escuin *et al.* 2006; Navarro-Cerrillo *et al.* 2007; Escuin *et al.* 2008; Viedma *et al.* 2015):

- Parcelas de severidad moderada con soflamado total de copas (S1)
- Parcelas de severidad extrema con calcinado de las copas (S2).

En 2006 se seleccionaron al azar 100 plántulas de *P. pinaster* por parcela para su seguimiento (figura XIV.4), de las que se tomaron datos semestrales durante el periodo 2006-2011, y anuales desde entonces hasta el otoño de 2014. Además de las variables muestreadas para cada individuo (supervivencia, ramificación, altura, diámetro, presencia de competidores, espesor de hojarasca y mantillo), se tomaron datos a nivel de subparcela (altura y cobertura de herbáceas y matorral, altura y cobertura de restos de madera quemada y proporción de suelo mineral descubierto).



Replanteo de una de las subparcelas de 1,5 m × 1,5 m.



Plántulas de *Pinus pinaster* etiquetadas.

Figura XIV.4. Seguimiento de la regeneración postincendio (fotos: Laboratorio de Incendios Forestales (INIA).

4. Estado final de la restauración y datos de seguimiento de la regeneración

Los resultados del seguimiento indican que variables fáciles de medir, como son los factores “de sitio” que pueden evaluarse antes del incendio (o inmediatamente después del mismo), tienen un valor predictivo muy relevante en la supervivencia y en la densidad futura de la masa, junto con variables del regenerado en etapas iniciales (relacionadas con la altura y el diámetro de los brinzales y con valores de competencia dos años después del incendio). Estas variables se traducen en una herramienta muy valiosa, ya que posibilitan explicar un porcentaje elevado de la variabilidad observada en el área de estudio y permiten prescindir, si fuese necesario, de años de espera para la toma de datos de variables con tiempos más largos de evolución.

Una década después del incendio encontramos que la severidad es uno de los factores más determinantes en la supervivencia del regenerado de *P. pinaster* a corto y medio plazo, así como en la estimación de la densidad a medio plazo. En cuanto a la gestión postincendio, las parcelas con tratamiento de apeo y extracción de la madera quemada presentan una mortalidad significativamente menor. En cambio, el retraso del apeo y extracción de la madera (corta diferida -TC- en otoño de 2006) ocasiona una reducción de la probabilidad de supervivencia de los brinzales, debido a los daños ocasionados por los propios trabajos selvícolas, eliminándose parte del regenerado emergido, agravado además por el hecho de que el contingente de regeneración de *P. pinaster* tiene su aparición la primavera posterior al incendio, y las nuevas aportaciones al mismo se reducen a la primavera y otoño del segundo año tras el incendio, apareciendo alguna planta nueva hasta 2009 pero

sin relevancia a nivel de rodal. La saca tras la emergencia se ha mostrado beneficiosa en masas con gran regeneración inicial, como algunas masas de *P. halepensis* (De las Heras *et al.* 2000); sin embargo, podría ser un factor limitante para la regeneración natural tras incendios en masas con escasa o nula serotinia, es decir, con un menor reclutamiento inicial. Sobre la base de estos resultados se confirma que, en determinadas situaciones, la extracción de la madera quemada es una buena alternativa selvícola en la gestión de zonas afectadas por incendios.

Los resultados obtenidos sugieren priorizar el apeo y saca de la madera quemada en los rodales afectados por calcinado de copas (severidad alta *sensu* Viedma *et al.* 2015). Sólo sería recomendable continuar con la saca de madera después de la primavera posterior al incendio (cortas diferidas) en zonas con abundante regeneración, resultando por tanto un tratamiento altamente perjudicial en áreas de baja densidad inicial que puede comprometer el éxito regenerativo.

La pedregosidad (directamente proporcional) y la profundidad del suelo (relación inversa) son variables predictoras importantes para determinar la densidad inicial del regenerado y su supervivencia a medio y largo plazo (Madrigal *et al.* 2012). Los factores que han resultado más relevantes en el análisis de la supervivencia del regenerado (figura XIV.5), son similares a los que condicionan el tiempo de vida mínimo de las plántulas, aumentando la probabilidad de sobrevivir: la pedregosidad, la altura de matorral en 2011, el mayor grado de severidad y la pendiente, al menos, a medio plazo. A su vez, la competencia y la cobertura del matorral durante el otoño del segundo año (2007), niveles moderados para la severidad y elevadas profundidades del suelo inducen a una mayor mortalidad ya que las mejores condiciones de sitio favorecieron a especies competidoras.

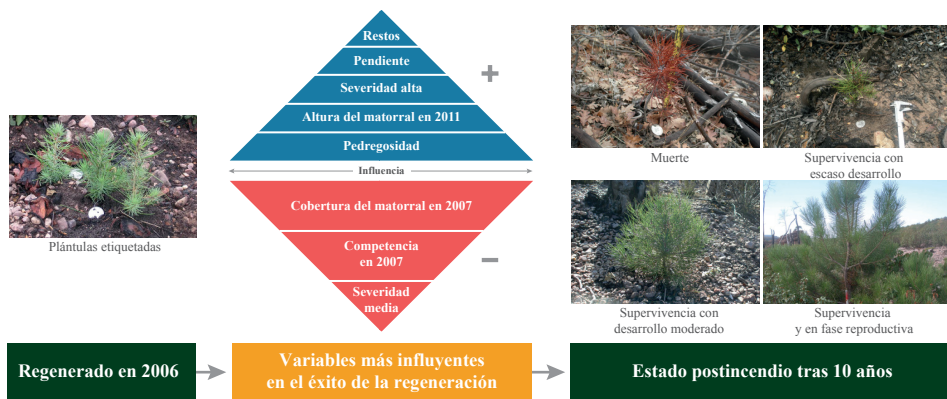


Figura XIV.5. Análisis de supervivencia durante el período 2006-2014 tras el incendio en el Rodenal de Guadalajara (2005): señalización de los brinzales objeto de seguimiento y posibles estados a los 10 años. La cercanía a la base de su respectiva pirámide indica la mayor relevancia de las variables que han influido de manera positiva (+) o negativa (-) en la supervivencia observada tras 10 años (fotos: Laboratorio de Incendios Forestales (INIA)).

Algunos de los modelos generados por análisis de regresión PLS y logístico sugieren que la presencia de restos procedentes de la saca de madera agrupados en fajinas contribuye positivamente a la probabilidad de supervivencia de los brinzales, lo que indica un posible efecto protector de este material sobre los mismos, generando unas condiciones microclimáticas o de infiltración de agua en el suelo más favorables para su establecimiento y desarrollo futuros, resultando concordante con el trabajo de otros autores (Lamont *et al.* 1991; Vega *et al.* 2010; Castro *et al.* 2011). Por otra parte, un mayor vigor de las plántulas del regenerado, traducido en mayores valores de altura y diámetro en las primeras etapas postincendio mejoran significativamente la probabilidad de supervivencia de los brinzales a corto-medio plazo. Diez años después del incendio la altura media de los individuos de *P. pinaster* es de 54,34 cm, con un rango comprendido entre 9 y 305 cm, donde más del 50% de los individuos no alcanzan una altura de 50 cm y sólo un 8,5% de los brinzales supera el metro. En el caso del diámetro de las plantas, el valor medio es de 1,36 cm, con un rango entre los 0,3 y los 10,4 cm, en la que menos del 20% de las plántulas presenta un diámetro mayor o igual a 2 cm.

Los resultados del seguimiento de la supervivencia de *P. pinaster* actualizados a 2017 y analizados conjuntamente con los valores para la densidad, la altura y el diámetro de los brinzales mantienen, respecto a 2014 (figura XIV.5), la relevancia y signo de la severidad, la pendiente y la competencia en 2007. Así mismo, aumenta el valor predictivo del tratamiento (positivo para parcelas cortadas C y negativo para la corta diferida TC) y de la posición en la ladera (positivo para posiciones altas y negativo para brinzales a media ladera) y se reduce el poder explicativo de la altura del matorral en 2011, la pedregosidad y la cobertura de matorral en 2007.

El éxito de la regeneración ha sido muy variable es las diferentes áreas estudiadas (figura XIV.6). Se ha estimado la densidad en 2014 a partir del modelo de supervivencia según la distribución de Weibull, obteniéndose un valor medio de 3999 pies ha⁻¹ para el conjunto de parcelas (máximo: 29268 pies ha⁻¹; mínimo: 1.758 pies ha⁻¹). Matney y Hodges (1991) sitúan un mínimo de 2000 pies ha⁻¹ de regenerado viable (aprox. 20 años) para considerar exitosa la regeneración, densidades correspondientes a una repoblación de carácter protector.

Hasta el momento, la presencia de fructificación en los rodenos es escasa (detectándose las primeras piñas una década postincendio) y sobre la base de los resultados anteriores la consolidación de la masa de pinar estará, por tanto, más o menos asegurada según superficies concretas dentro del perímetro. Algunas áreas están actualmente dominadas por elevadas densidades de monte bajo de rebollo (*Q. pyrenaica*), lo que evidencia la necesidad de planificar actuaciones selvícolas de apoyo al regenerado tanto si el objetivo final de la regeneración es una masa pura de pinar, un rebollar o una formación mixta de *P. pinaster* y *Q. pyrenaica*.

Los resultados de este estudio de seguimiento muestran la utilidad de las parcelas permanentes para describir procesos de regeneración natural y el efecto de las técnicas de restauración postincendio como la saca de madera y el establecimiento de medidas de control de la erosión (fajinas, acolchado). De igual manera se han mostrado eficaces para generar modelos predictivos de mortalidad, densidad y estado del regenerado que pueden resultar útiles en la toma de decisiones de gestión postincendio.



La corta preemergencia ha favorecido al regenerado de pinar respecto de las parcelas sin saca de madera y a la corta postemergencia.



Los restos gruesos en las parcelas testigo no se descomponen fácilmente pudiendo contribuir al aumento de la severidad de un nuevo incendio.



En zonas con más de 500 pies ha^{-1} de regenerado consolidado se generará masas de *P. pinaster* (12-15 m) con subpiso de quejigo y rebollo (8-10 m), produciéndose un proceso de “autosucesión”, restaurándose la masa en el estado anterior al incendio.



Existen otros itinerarios de restauración en la masa regenerada como la presencia de amplias áreas de monte bajo de rebollo que ha generado fuerte mortalidad del pinar en los primeros años postincendio.



Regeneración con una tendencia hacia un bosque mixto (200-500 pies ha^{-1}) con dominio de *Quercus* con *P. pinaster* como acompañante.



Regenerado de *P. pinaster* bajo o nulo (0-200 pies ha^{-1}) que dará lugar a una masa pura de *Quercus* con presencia ocasional de pino.

Figura XIV.6. Las imágenes de 2014 (10 años postincendio) muestran una alta variabilidad en el éxito regenerativo postincendio entre parcelas y muestran la tendencia previsible a medio y largo plazo (fotos: Laboratorio de Incendios Forestales (INIA)).

Agradecimientos

El presente estudio surgió a iniciativa y asesoramiento de la UPM (Dr. Rafael Serrada), con financiación de TRAGSA y la participación de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. El seguimiento de las parcelas descrito en este trabajo se ha realizado mediante dos convenios entre INIA y TRAGSA, sucesivos proyectos RTA-INIA del Plan Nacional cofinanciados con fondos FEDER y, actualmente, mediante los proyectos del Plan Nacional I+D+i, VIS4FIRE (RTA-2017-00042-C05-01) y FORESTCHANGE (AGL2016-76769-CO2-01-R). Datos meteorológicos utilizados cedidos por AEMET, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar V (2008) Estudio sobre la regeneración de las masas forestales afectadas por el incendio ocurrido el día 16 de julio de 2005 en la comarca del Rodenal (GU). Proyecto Fin de Carrera, EUITF, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 152 pp
- Alía R, Martín S, De Miguel J, Galera R, Agúndez D, Gordo J, Salvador L, Catalán G, Gil A (1996) Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid 75 pp
- Balaguer L, Escudero A, Martín-Duque JF, Mola I, Aronson J (2014) The historical reference in restoration ecology: Re-defining a cornerstone Concept. *Biol Conserv* 176: 2–20
- Broncano MJ, Retana J (2004) Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire in the Mediterranean basin. *Int J Wildland Fire* 13:209-216
- Brown JK, Reinhardt ED, Kramer KA (2003) Coarse woody debris: managing benefits and fire hazard in recovering forests. General technical Report RMRMS-GTR-105, USDA Forest Service, 18 pp
- Carrillo Á, Serrada R, Rincón Á, Hernando C, Vega JA (2009) Proyecto RODENAL: “Restauración de terrenos afectados por incendios forestales”. En: Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF)–Junta de Castilla y León (Eds.), *Actas del 5º Congreso Forestal Español*, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE01-461
- Carrillo García C (2016) Análisis de la regeneración natural post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en El Rodenal de Guadalajara (Sistema Ibérico Central). Trabajo Fin de Máster. Universidad Complutense de Madrid, 82 pp
- Carrillo García C, Madrigal J, Hernando C, Díez C, Espinosa J y Guijarro M (2017) Efecto de la severidad del fuego, la saca de la madera quemada y factores ecológicos locales en la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras el gran incendio forestal de El Rodenal de Guadalajara (2006-2016) En: 7º CFE Mesa Restauración Forestal, Plasencia 26-30 junio de 2017 SECF. Disponible on-line en <https://7cfe.congresoforestal.es/actas>
- Madrigal J, Guijarro M, Carrillo C, Hernando C (2018) Gestión postincendio como apoyo a la regeneración natural en áreas quemadas. En: García novo F, Casal M, Pausas JG (Eds.) *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas* Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía. pp. 61-74
- Castro J, Sánchez-Miranda Á, Lorite J, Zamora R (2008) Efectos de los tratamientos selvícolas post-incendio relacionados con la madera quemada sobre el establecimiento de plantones de *Juniperus communis* L. en la alta montaña mediterránea. *Cuad Soc Esp Cienc For*: 31-36
- Castro J, Navarro-Cerrillo RM, Guzmán JR, Zamora R, Bautista, S (2009) ¿Es conveniente retirar la madera quemada tras un incendio? Una práctica forestal poco estudiada. *Quercus* 281:34-41
- Castro J, Marañón-Jiménez S, Sánchez-Miranda A, Lorite J (2010) Efecto del manejo de la madera quemada sobre la regeneración forestal post-incendio: desarrollo de técnicas blandas de restauración ecológica. En: Ramírez L, Asensio B (Eds.), *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2006-2009*, 139-157, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid

- Castro J, Allen CD, Molina-Morales M, Marañón-Jiménez S, Sánchez-Miranda A, Zamora R (2011). Salvage logging versus the use of burnt Wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment. *Rest Ecol* 19 (4):537-544.
- Castro J, Leverkus AB (2012) La saca de la madera quemada perjudica la regeneración natural y asistida de especies forestales en el Parque Nacional de Sierra Nevada. En: Martínez-Ruiz C, Lario FJ, Fernández-Santos B (Eds.), 2013, *Avances en la restauración de sistemas forestales, Técnicas de implantación*, 27-34, SECF-AEET, Madrid
- De Cáceres M, Martínez-Vilalta J, Coll L, Llorens P, Casal P, Poyatos R, Pausas JG, Brotons L (2016) Coupling a water balance model with forest inventory data to predict drought stress: the role of forest structural changes vs climate changes. *Agr Forest Meteorol* 2013:77-90
- De las Heras J, Martínez-Sánchez J, González-Ochoa AJ, Ferrandis P, Herranz J (2000) Desarrollo y mortalidad de plántulas de *Pinus halepensis* Mill. en competencia con *Cistus monspeliensis* L. durante los 4 primeros años post-incendio. *Cuad Soc Esp Cienc For* 10:37-42
- Escuin S, Fernández P, Navarro-Cerrillo RM (2002) Aplicación de escenas Landsat a la asignación de grados de afectación producidos por incendios forestales. *Revista de Teledetección* 17:77-87
- Escuin S, Navarro Cerrillo RM, Fernández P (2006) Assessment of post fire vegetation cover using spectral mixture analysis. Application and comparison of different endmember characterization methods. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 15(1):107-119
- Escuin S, Navarro-Cerrillo RM, Fernández P (2008) Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *Int J Remote Sensing* 29(4):1053-1073
- Espigares T, Nicolau JM, Rey Benayas JM (2003) Restauración de ecosistemas Mediterráneos en España: Conclusiones de un Simposio. En: Nicolau, J.M., Rey Benayas, J.M., Espigares, T. (Eds.), *Restauración de ecosistemas mediterráneos*, 3-10, Universidad de Alcalá, Madrid
- Fernández C, Vega JA, Fontúrbel MT, Jiménez E, Pérez-Gorostiaga P (2008) Effects of wildfire, salvage logging and slash manipulation on *Pinus pinaster* Ait. Recruitment in Orense (NW Spain). *Forest Ecol Manag* 225:1294-1304
- Fernández-Rebollo P, Navarro Cerrillo R, Del Valle Murillo G (2001) Estudio de la regeneración post-incendio en masas de *Pinus pinaster* Ait. en Andalucía. *Actas del III Congreso Forestal Español*, Junta de Andalucía 4:469-474
- García Salmerón J (1995) *Manual de repoblaciones forestales II*. Fundación Conde del Valle de Salazar, ETSIM, Madrid, 918 pp
- Gil R (Coord.) (2007) *Incendios Forestales: Tratamiento de superficies quemadas*. Grupo de trabajo nº 6, VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid. <http://www.conama8.conama.org/modulodocumentos/documentos/GTs/GT06/GT6Doc%20FINAL.pdf>
- Gil L, López R, García Á, González Á (2008) Efectos del origen de la semilla en la regeneración post-incendio en *Pinus pinaster*. El caso de la dehesa de Solanillos (Guadalajara). *Cuad Soc Esp Cienc For* 25:13-22
- Gil L, López R, García Á, González I (2009) Seed provenance and fire-related reproductive traits of *Pinus pinaster* in central Spain. *Int J Wildland Fire* 18:1003-1009
- Gimeno T, García S, Gibert H, Romero S (2010) Análisis de restauración post-incendio en fajinas sobre la recuperación de la vegetación quemada. En: Díaz Raviña M, Benito E, Carballas MT, Fontúrbel MT, Vega JA (Eds.). *FUEGORED 2010, Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*, 171-173, Jornadas Internacionales, 6-8 de octubre, Santiago de Compostela
- Hernández-Clemente R, Navarro Cerrillo RM, Hernández-Bermejo JE, Escuin S, García-Ferrer A, Sánchez de la Orden M (2007) Regeneración y cambios de diversidad en grandes incendios a partir de imágenes satélite Landsat TM y ETM+. *Cuad Inv Geográfica* 33:85-100

- Hernández-Clemente RH, Navarro-Cerrillo RM, Gitas IZ (2009a) Monitoring post-fire regeneration in Mediterranean ecosystems by employing multitemporal satellite imagery. *Int J Wildland Fire* 18(6):648-658
- Hernández-Clemente R, Navarro Cerrillo RM, Hernández-Bermejo JE, Escuin S, Kasimis, NA (2009b) Analysis of Postfire Vegetation Dynamics of Mediterranean Shrub Species Based on Terrestrial and NDVI Data. *Environ Manag* 43(5): 876-887
- Hernández-Tecles E, De las Heras J, Alía R (2013) Identificación de acervos genéticos mediante CpSSR para actividades de conservación y restauración de especies del género *Pinus*. *Actas del 6º Congreso Forestal Español*, 10-14 de junio, Vitoria-Gasteiz, Ref.: 6CFE01-220
- Keeley JE (2009) Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *Int J Wildland Fire* 18:116-126
- Lamb D, Gilmour D (2003) Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests. IUCN & WWF, Gland, Switzerland pp. ii + 110 pp
- Lamont BB, Le Maitre DC, Cowling RM, Enright NJ (1991) Canopy seed storage in Woody plants. *Botanical review* 57:277-317
- Madrigal J, Hernando C, Martínez E, Guijarro M, Díez C (2005) Regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central, España): modelos descriptivos de los factores influyentes en la densidad inicial y la supervivencia. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales* 14(1):36-51
- Madrigal J, Hernando C, Guijarro M, Díez C, Vega JA, Pérez-Gorostiaga P, Fontúrbel T, Cuiñas P (2006) Situación de la regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en España. *Montes* 85:27-34
- Madrigal J, Vega JA, Hernando C, Fontúrbel T, Díez R, Guijarro M, Díez C, Marino E, Pérez JR, Fernández C, Carrillo Á, Ocaña L, Santos I (2009) Efecto de la corta a hecho y la edad de la masa en la supervivencia del regenerado de *Pinus pinaster* Ait. tras el gran incendio del Rodenal de Guadalajara. En: SECF-Junta de Castilla y León (Eds.), *Actas del 5º Congreso Forestal Español*, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE01-437-6A
- Madrigal J, Hernando C, Guijarro M (2011) La gestión post-incendio como apoyo a la regeneración natural y a la restauración tras el gran incendio del Rodenal de Guadalajara: efectos sobre la supervivencia y crecimiento de los brinzales de *Pinus pinaster* Ait. *Spanish J Rural Develop* II (3):1-14
- Madrigal J, Hernando C, Guijarro M (2012) Análisis de supervivencia aplicado a la obtención de modelos descriptivos y predictivos de la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras incendios forestales. *Cuad Soc Esp Cienc For* 34:141-146.
- Marañón-Jiménez S, Castro J, Kowalski AS, Serrano-Ortiz P, Ruiz B, Sánchez-Cañete EP, Zamora R (2009) Efecto de los tratamientos forestales post-incendio sobre los flujos de CO₂ de respiración del suelo. *Actas del 5º Congreso Forestal Español*, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE01-433
- Moya D, De las Heras J, Ferrandis P, López-Serrano FR (2010) Estimación de cambios en la comunidad vegetal tras un incendio forestal. En: Cerdá A, Jordán A (Eds). *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*, FUEGORED 2010, 439-461, Universitat de València
- Navarro-Cerrillo RM, Fernández P, Escuin S (2001) Evaluación de daños producidos por incendios forestales mediante imágenes satélite. Propuesta de restauración. III Congreso Forestal Español, Granada, Mesa 6:482-487
- Navarro Cerrillo RM, Hernández Clemente R, Escuin S, Crespo R, Fernández Rebollo P, Lanjeri S (2007) Forest fire effects assessment in Andalucía: a review of strategies and methodologies for severity mapping and vegetation recovery monitoring at the long-term. Disponible en: *Actas del IV Congreso Internacional sobre Incendios Forestales*, 13-17 de mayo, Sevilla, soporte CD-ROM (ISBN: 978-84-8014-690-6)
- Ocaña L, Santos I, Carrillo Á, Serrada R, Aguilar V, Hernando C, Guijarro M, Madrigal J, Marino E, Vega JA, Pérez JR, Fontúrbel T, Fernández C, Pueyo JJ, Valladares F, Rincón AM (2007) Propuesta de técnicas a utilizar en la restauración de terrenos afectados por incendios forestales: aplicación al incendio del Rodenal de Guadalajara. Disponible en: *Actas del IV Congreso Internacional sobre Incendios Forestales*, 13-17 de mayo, Sevilla, soporte CD-ROM (ISBN: 978-84-8014-690-6)

- Otero de Irizar J (2017) Aprovechamiento y restauración de montes incendiados. Experiencia y resultados en la zona afectada por el incendio del Rodenal (julio de 2005, Guadalajara). Empresa de Transformación Agraria SA (Tragsa), Madrid. 261 pp
- Pausas J, Verdú M (2005) Plant persistence traits in fire prone ecosystems of the Mediterranean Basin: a phylogenetic approach. *Oikos* 109:196-202
- Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *Int J Wildland Fires* 17:713-723
- Pausas J (2010) Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia* 407:56-63
- Pemán J, Navarro-Cerrillo RM (1998) Repoblaciones forestales. Universidad de Lleida, Servei de Publicacions, 400 pp
- Pérula V, Navarro-Cerrillo RM, Fernández P, Del Valle G (2003) Postfire Regeneration in *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* Aiton in Andalucía (Spain). *Environ Manag* 31(1):86-99
- Peterson DW, Dodson EK, Harrod RJ (2015) Post-fire logging reduces Surface Woody fuels up to four decades following wildfire. *Forest Ecol Manag* 338:84-91
- Robichaud PR (2010) After the smoke clears: post-fire erosion and rehabilitation strategies in the United States. En: Díaz Raviña M, Benito E, Carballas MT, Fontúrbel MT, Vega JA (Eds.), FUEGORED 2010, Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales, 23-25, Jornadas Internacionales, 6-8 de octubre, Santiago de Compostela
- Ruiz de la Torre J (1990) Distribución y características de las masas forestales españolas. *Ecología N° Extra* 1:1-30
- Ruiz de la Torre J (2006) Flora mayor. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Dirección General para la Biodiversidad, Madrid, 1759 pp
- Sánchez G, Campaña C, González E (2007) Efectos secundarios de grandes incendios forestales: situaciones de alerta fitosanitaria. Modelización y control de agentes dañinos oportunistas. Disponible en: Actas del IV Congreso Internacional sobre Incendios Forestales, 13-17 de mayo, Sevilla, soporte CD-ROM (ISBN: 978-84-8014-690-6)
- Serrada R (2003) Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural-IV Reunión sobre Ordenación de Montes. Cuadernos de la SECF, 15: 11-15
- Serrada R, Aguilar V, Aroca MJ, Carrillo Á, Ocaña L (2009) Estudio sobre la regeneración de las masas forestales afectadas por el incendio ocurrido el día 16 de julio en la comarca del Rodenal (Guadalajara). En: SECF –Junta de Castilla y León (Eds), Actas del 5º Congreso Forestal Español, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE-484
- Society for Ecological Restoration International (SERI) (2004) http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp
- Tapias R, Gil L, Fuentes-Utrilla P, Pardos JA (2001) Canopy seed Banks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *J Ecol* 89: 629-638
- Tapias R, Climent J, Pardos JA, Gil L (2004) Life histories of mediterranean pines. *Plant Ecol* 171: 53-68
- Trabaud L (1998) Recuperación y regeneración de ecosistemas mediterráneos incendiados. Universidad de Alcalá, Madrid, Serie Geográfica 7:37-47
- Vega JA, Fernández C, Pérez-Gorostiaga P, Fontúrbel T (2010) Response of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) recruitment to fire severity and post-fire management in a coastal burned area in Galicia (NW Spain). *Plant Ecol* 206:297-308
- Vega JA (2001) Efectos del fuego prescrito en pinares de *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 717 pp
- Vega JA, Fernández C, Pérez-Gorostiaga P, Fontúrbel MT (2008) The influence of fire severity, serotiny, and post-fire management on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in three burnt areas in Galicia (NW Spain). *Forest Ecol Manag* 256:1596-1603

- Vega JA, Madrigal J, Fontúrbel T, Hernando C, Pérez JR, Guijarro M, Fernández C, Díez C, Marino E, Carrillo Á, Ocaña L, Santos I (2009) Efecto de la severidad del incendio y la corta a hecho del arbolado sobre la supervivencia del regenerado de *Pinus pinaster* Ait. después del gran incendio del Rodenal de Guadalajara. Actas del 5º Congreso Forestal Español, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE01-469
- Viedma O, Quesada J, Torres I, De Santis A, Moreno JM (2015) Fire Severity in a Large Fire in a *Pinus pinaster* Forest is Highly Predictable from Burning Conditions, Stand Structure, and Topography. *Ecosystems* 18:237-250
- Vizcaino-Palomar N, Revuelta-Eugercios B, Zavala MA, Alía R, González-Martínez SC (2014) The Role of Population Origin and Microenvironment in Seedling Emergence and Early Survival in Mediterranean Maritime Pine (*Pinus pinaster* Aiton). *PLoS ONE* 9(10): e109132
- Vega JA, Pérez-Gorostiaga P, Fontúrbel MT, Cuiñas P, Fernández C, Hernando C, Guijarro M (2005) Efectos de diferentes niveles de severidad del fuego sobre la emergencia y mortalidad inicial de plántulas de *Pinus pinaster* Ait. Actas IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, soporte CD-ROM (ISBN: 84-921265-7-4)

Caso práctico XV

Repoblación forestal en el semiárido: monte Sierra Alhamilla (Níjar, Almería)

Carlos CARRERAS EGAÑA, José Luis QUERO PÉREZ

1. Bases teóricas de las repoblaciones en el semiárido

El semiárido almeriense se extiende en el piso altitudinal inferior de la provincia, desde el nivel del mar hasta los 700 - 900 m de altitud aproximadamente. Se encuentra principalmente en el levante de la provincia (exceptuando el extremo sudeste, que es árido), en el piedemonte de la sierra de Gádor y en los corredores entre sierras.

Mientras que en las cabeceras de cuencas alimentadoras de embalses, como las de Almanzora, Benínar o Valdeinfierno, bajo ombroclima seco, se llevaban a cabo multitud de proyectos de repoblación con la finalidad de restauración hidrológica, estas actuaciones han tenido mucha menor extensión en el ámbito semiárido. Como ejemplos, cabe mencionar las repoblaciones del entorno de los embalses mencionados o algunas actuaciones en sierras litorales de Carboneras y Níjar. En estos proyectos se consideraba prioritariamente la capacidad de adaptación y crecimiento de las especies que se empleaban con el fin de conseguir una rápida cobertura protectora.

Frente a las directrices técnicas que guiaron las repoblaciones de décadas anteriores, en las que las especies de pinos eran usadas masivamente, el Plan Forestal Andaluz (1989) plantea, entre sus objetivos de gestión: alcanzar la vegetación climácica o el nivel de madurez más elevado posible, evitar la creación de masas monoespecíficas, potenciar las masas mixtas en pro de una mayor diversidad biológica y estabilidad, aumentar la variedad de especies empleadas, con notable incremento de las frondosas, y el uso de técnicas de preparación de terreno de bajo impacto. Así, las directrices ecológicas para el manejo de la vegetación promueven el empleo de especies autóctonas, la elección de las especies adecuadas al nivel de degradación de cada sitio y la creación de áreas de vegetación evolucionada que sirvan como punto de partida para conseguir la regeneración del bosque mediterráneo.

Guirado y Mendoza (2000) resumen los criterios con mayor consenso en los ámbitos técnico y científico técnico para la restauración de la vegetación en el ámbito semiárido almeriense: “las especies deben corresponder a las que identifican el paisaje vegetal concreto”; es decir, deben utilizarse las especies propias de los matorrales y los bosquetes autóctonos, principalmente las arbóreas y las arbustivas y, ocasionalmente (para condiciones especiales de suelo), las de matorral. Así, en las posiciones con mayores volúmenes disponibles de suelo y aportes adicionales de agua, se deben utilizar las especies correspondientes al máximo nivel estructural alcanzable en las condiciones actuales del semiárido almeriense, como el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el sabino (*Tetraclinis articulata*), la sabina mora (*Juniperus phoenicea*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el enebro (*Juniperus oxycedrus*), la coscoja (*Quercus coccifera*), el acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*), el palmito (*Chamaerops humilis*), los artos (*Maytenus senegalensis* subsp. *europaea* y *Ziziphus lotus*, la cornicabra (*Periploca laevigata*), el mirto (*Myrtus communis*), el algarrobo (*Ceratonia siliqua*), la encina (*Quercus ilex*), el quejigo (*Quercus faginea*) y el alcornoque (*Quercus suber*). En sitios muy degradados, resultan más adecuadas las especies edificadoras, principalmente leguminosas (*Retama* spp., *Genista* spp., *Ononis* spp.) junto con el espino negro (*Rhamnus lycioides*), la atocha (*Macrochloa tenacissima*) y el carnadillo (*Ephedra fragilis*). Los pies introducidos deben formar grupos, no masas homogéneas cerradas. Se trata de conservar los rasgos ecológicos de los paisajes y restaurar la vegetación ideal, mediante la introducción de núcleos de las especies ausentes o insuficientemente representadas, que servirán de focos de propagación. En la preparación del suelo, se considera preferible el empleo de medios mecánicos, por la exigencia de un buen acondicionamiento en sustratos adversos por pedregosidad o compacidad. Se estima también muy oportuno el empleo de protectores (tubos, aporcado de plantas con tierra o piedras). Finalmente, se apunta sobre la conveniencia de restringir la época de plantación al otoño, tras las primeras lluvias importantes (superiores a 40 mm).

Estos mismos autores recogen las divergencias existentes en la interpretación de los paisajes esteparios de la provincia –desde el inmenso campo de esparto de los romanos, al predominio de una vegetación cerrada de frondosas esclerófilas, o de coníferas–, interpretaciones que, respaldadas por estudios palinológicos y geomorfológicos, podían converger en el reconocimiento de la existencia en el Cuaternario de espacios abiertos (sin árboles), al menos en zonas endorreicas, sobre suelos salinos, yesosos y margosos; paisajes cuya expansión, incluso fuera de esos ámbitos, habría sido favorecida por las actividades humanas. Tampoco debe olvidarse la existencia de fenómenos erosivos naturales, imparables, como los del subdesierto de Bentarique-Rioja-Tabernas, condenado a su desmantelamiento tras el levantamiento tectónico de la zona.

Con posterioridad a la fecha de las repoblaciones que se presentan en este estudio, la Consejería de Medio Ambiente (2004) detallaba los modelos de restauración forestal convenientes en cada uno de los ámbitos definidos por sectores biogeográficos y series de vegetación en una cartografía a escala 1:400000, así como las especies utilizables, principalmente para cuando la gestión tenga por objetivo la restauración de ecosistemas o la lucha contra la erosión. Conseguir la máxima funcionalidad del terreno forestal sigue siendo el objetivo de gestión, pero esta vez, evitando el uso generalizado de coníferas, que se consideran inadecuadas en lugares donde se pueden introducir directamente frondosas o donde las condiciones del medio impiden su desarrollo normal. Para la zona donde se encuentran las repoblaciones estudiadas,

situadas en el ámbito de la serie del “azufaifo” –habría que decir, más propiamente, de la artinera– (*Zizipheto loti sigmetum*), en el sector biogeográfico Caridemo (nombre griego del cabo de Gata), este manual de restauración propone varias especies arbustivas, de matorral y herbáceas, sin mencionar ninguna conífera. Curiosamente sí aparecen recomendados *Pinus halepensis* y *Tetraclinis articulata* para el ámbito vecino de la serie del lentisco (*Chamaeropo humilis-Rhamneto lycioidis sigmetum*). La distinción práctica entre estos dos ámbitos, aunque nítida en la cartografía del manual, no queda tan clara cuando se comparan las características de los territorios a los que son asignadas, o cuando en el mismo texto se reconoce que estas dos series comparten la mayor parte de los estadios sucesionales.

1. Análisis comparativo de dos repoblaciones

En este caso práctico se ofrece la evaluación comparativa de los resultados de dos iniciativas repobladoras en el semiárido almeriense, una de ellas promovida por el Ayuntamiento de Níjar y otra por la Junta de Andalucía, ejecutadas con un intervalo de 1 año entre sí.

El estudio se llevó a cabo en un rodal perteneciente al monte Sierra Alhamilla (figura XV.1). Este monte tiene el código AL-70016-AY en el Catálogo de Montes Públicos de Andalucía y está incluido en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública con el nº 44 de la provincia de Almería. Es propiedad del Ayuntamiento de Níjar y es objeto de un convenio de cooperación establecido entre dicha entidad local y la Junta de Andalucía.

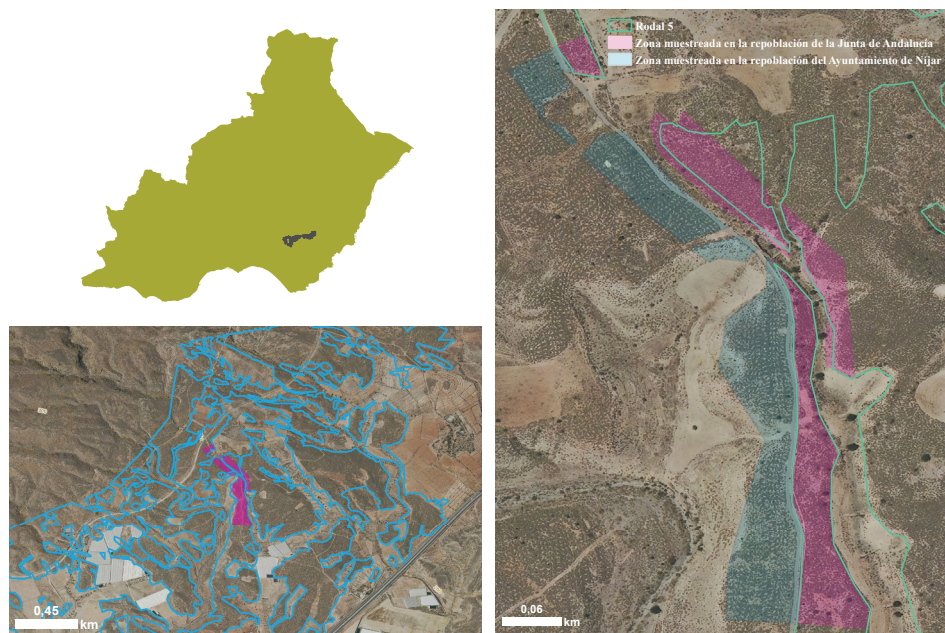


Figura XV.1. Localización del monte Sierra Alhamilla en la provincia de Almería y de la zona de muestreo en el monte. En la figura de detalle se aprecia la preparación del suelo efectuada en la repoblación promovida por el ayuntamiento de Níjar (fuente: Ortoimagen PNOA 2020, IGN).

En concreto, el rodal bajo estudio está incluido en el “Proyecto de lucha contra la erosión y la desertificación, y de regeneración de la cubierta vegetal en la comarca del Levante, Almería”, promovido por la Administración Forestal (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía). En la memoria del proyecto, redactada en 1997 por los ingenieros técnicos forestales Antonio Segovia Sánchez y Luis Vicioso Herranz, se plasma la justificación genérica de este tipo de iniciativas: “La finalidad de las actuaciones es controlar los fenómenos erosivos que están originando procesos de desertificación en la comarca del Levante. La opción más eficaz para lograrlo es mejorar la cobertura vegetal, de manera que pueda cumplir su función protectora del suelo y reguladora de la escorrentía. Los graves daños que en las estructuras agrarias y de comunicación provocan los episodios de lluvias intensas podrán así evitarse [...] La repoblación ayudará a crear una estructura de vegetación de acuerdo con las funciones principales que debe cumplir la cobertura vegetal en el sureste español: protección del suelo y control de escorrentía”.

Otro motivo esgrimido en el proyecto para justificar este tipo de trabajos es el del generar empleo: “Los municipios tienen un importante contingente de mano de obra agrícola en la que el paro estacional es acusado, que se podrá paliar con los jornales generados por estos trabajos de restauración”.

No se llega a poner de manifiesto otro objetivo, que probablemente también estuvo en el ánimo de los proyectistas: intentar recuperar un paisaje más poblado, como el que se perdió hace pocos centenares de años. Las referencias escritas, encontradas por los hermanos García Latorre (2007), indican que en el campo de Níjar y en otras áreas de baja altitud de la provincia, donde ahora predominan atochares o cultivos intensivos, existirían, hasta principios del XIX, maquis más o menos densos, formaciones abiertas, de tipo sabana, de acebuches, lentiscos, coscojas, palmitos, puntualmente con madroños y encinas, y pinares de carrasco. En la destrucción de este capital probablemente participaron muchos factores, entre los que destacarían: la extensión de los cultivos por parte de los nuevos pobladores tras la expulsión de los moriscos, al principio de cereales y luego, también, de plantas para exportación, como la barrilla; la presión ganadera de los enormes rebaños trashumantes que pasaban aquí el invierno. En el siglo XIX, cuando la densidad de población creció rápidamente, la extracción de leña debió ser importante, seguramente abusiva en relación con la productividad del terreno. La demanda de esparto para productos exportables (fibra textil, pasta de celulosa) propiciaría su favorecimiento a expensas de especies competidoras, hasta que se produjo su declive en los años 70.

2.1. Caracterización del rodal de repoblación

Localización

El rodal de repoblación objeto del presente caso práctico es el numerado como el n.º 5 en el proyecto de la Junta de Andalucía. Se encuentra en el paraje conocido como Venta de la Bernarda, al sureste de Sierra Alhamilla, y en su piedemonte, entre los 220 y 265 m de altitud. A 13 km al suroeste está el mar, interponiéndose las serratas de origen volcánico que bordean la costa. Las coordenadas UTM (ETRS89) son X: 580800 a 581940 e Y: 4092840 a 4094970 (figura XV.1). Su extensión inicial prevista era de 149 ha, pero se redujo posteriormente a 94 ha.

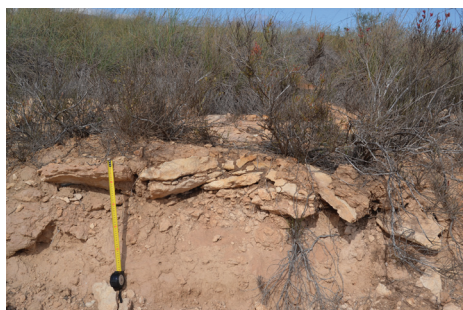
Geología y suelos

Entre Sierra Alhambilla y las serratas de origen volcánico del cabo de Gata, levantadas todas ellas en el Mioceno, se produjo durante el Plioceno un relleno postorogénico, sobre el que se formó un glacis, ya en el Pleistoceno. La roca madre más frecuente en esta zona es de limos.

Lo más característico de los suelos de los terrenos estudiados es la existencia de horizontes petrocálcicos, que encontramos a menos de 10 cm de profundidad, cuyos grosores son variables, en su mayoría entre 10 y 30 cm (figura XV.2). Esta escasa profundidad del horizonte “Km” revela la decapitación de los antiguos suelos por causa de la erosión.



Superficie de claro en el atochar, con costra superficial entre las abundantes piedras, y líquenes, restos orgánicos sin descomponer.



Se aprecian las capas de caliche y la existencia de un sustrato inferior menos compacto en el que ocasionalmente aparecen raíces, como las del ejemplar de *Salsola genistoides* que han quedado al descubierto.

Figura XV.2. Características del suelo en la zona de actuación (fotos: C Carreras-Egaña).

En el mapa de suelos del proyecto LUCDEME a escala 1:100000 (hoja de Carboneras-1046), en localizaciones próximas al área de interés, se incluyen dos perfiles de xerosol cálcico con horizonte petrocálcico (según nomenclatura de la FAO de 1967) –clase que en la clasificaciones posteriores (FAO 1988) se llamaría calcisol pétreo o Paleorthid típico (según USDA *Soil Taxonomy*)–. El perfil 1046-5, situado en la cuadrícula 5856-40936, se encuentra en unas condiciones similares a la zona de estudio: en glacis, con material de conglomerados, con pendiente del 2%, pedregosidad elevada y vegetación de tomillar-espartizal. En la tabla XV.1 se reproducen algunos datos de dicho perfil. Es reseñable el escaso contenido en materia orgánica, inferior al 1,5% y el elevado pH, acorde con la saturación del complejo de cambio, en el que el calcio es la base dominante (figura XV.2).

Geomorfología

Dominan las lomas de pendientes suaves, en torno al 5% (podría describirse esta zona como “campiña esteparia”), separadas por vaguadas y ramblas poco encajadas, que a veces están escalonadas con balates donde se aprovechaban las escorrentías para cultivar algunos olivos o algarrobos (figura XV.3).

Como corresponde a este clima, no existen cursos de agua continuos. Los barrancos que drenan este piedemonte confluyen en la rambla del Arteal, llamada aguas abajo rambla de Morales, la cual desemboca en la bahía de Almería.

Tabla XV.1. Descripción de los suelos en la zona de actuación (fuente: Mapa de suelos del proyecto LUCDEME (1:100000). Hoja Carboneras. Perfil 1046-5).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción	pH en agua	Carbono orgánico (%)	Relación C/N
A	0-12	Color pardo en seco, pardo oscuro en húmedo. Textura franco arenosa muy fina. Muy friable y blando. Fragmentos rocosos de tamaño grava muy abundantes, de naturaleza variada pero especialmente calizos. Abundante actividad biológica, abundantes raíces finas y muy finas.	8,0	0,83	10
Bw1	12-19	(Ídem en color y pedregosidad). Textura franco-arcillosa, friable y ligeramente duro. Muy escasa actividad biológica, escasas raíces muy finas	8,0	0,86	10
Bw2	19-39	Similar al anterior, pero en este hay mayor abundancia de fragmentos rocosos y no se aprecian raíces.	7,9	0,75	9
Cmk	>39	Conglomerado de cantos de origen volcánico y calizo cementado por carbonato cálcico			



Figura XV.3. Paisaje característico de la zona de actuación. Cabe destacar la presencia de cultivos marginales, atochares y restos de olivar (foto: C Carreras-Egaña).

Clima

Se han recabado los datos de dos estaciones meteorológicas, ambas al suroeste de la zona estudiada. La más próxima (estación de Níjar), situada a 7,3 km, sólo aporta datos desde septiembre de 2001, por lo que se ha complementado con las precipitaciones de otra, en Atochares, algo más alejada (a 13,5 km).

La temperatura media anual oscila en esta zona en torno a los 18 °C. Muy raramente se producen heladas (menos de un día al año con temperaturas mínimas menores de 0 °C). La temperatura máxima absoluta en estos últimos quince años ha sido de 40,9 °C y la mínima absoluta, de -2,4 °C (tabla XV.2).

Tabla XV.2. Valores mensuales promedio de diferentes parámetros climáticos de la estación meteorológica de referencia (Níjar; altitud: 182 m; años de registro: 2001-2016) (fuente: Red de Información Agroclimática de Andalucía).

Mes	Temperatura media de las mínimas (°C)	Temperatura media de las máximas (°C)	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)	Evapotranspiración de referencia media (ET _o Penman-Monteith) (mm)
Enero	6,4	16,2	11,0	27,7	46,8
Febrero	7,0	16,4	11,6	23,4	66,0
Marzo	8,9	18,7	13,6	29,5	93,6
Abril	11,2	21,4	16,2	24,5	127,3
Mayo	14,3	24,7	19,4	14,7	160,4
Junio	18,0	29,1	23,6	4,6	195,0
Julio	21,1	31,8	26,3	1,2	204,0
Agosto	21,7	31,8	26,4	3,5	184,9
Septiembre	18,7	28,3	23,1	24,8	135,0
Octubre	15,3	24,7	19,7	25,0	90,2
Noviembre	10,2	19,4	14,6	37,9	55,9
Diciembre	7,6	16,7	11,9	29,8	42,7

Los máximos pluviométricos son normalmente otoñales y las precipitaciones estivales son prácticamente nulas. La precipitación anual promedio en el período 1997-2019 fue de 193 mm. La irregularidad interanual es elevada, con un coeficiente de variación de los datos de los últimos 20 años del 36% (figura XV.4). En la figura XV.2 puede apreciarse el estado de la vegetación en un año particularmente seco ($P \approx 100$ mm).

El número de horas de sol (insolación) de esta zona supera las 3200 horas, siendo uno de los más altos de la península. El coeficiente de aridez P/ETP (Thornwaite) de la zona, según estimaciones encontradas en la bibliografía, es de 0,3, valor situado dentro del intervalo correspondiente al clima semiárido (0,2 a 0,5). El fitoclima de Allué, en primera aproximación, es Mediterráneo subsahariano, IV(III).

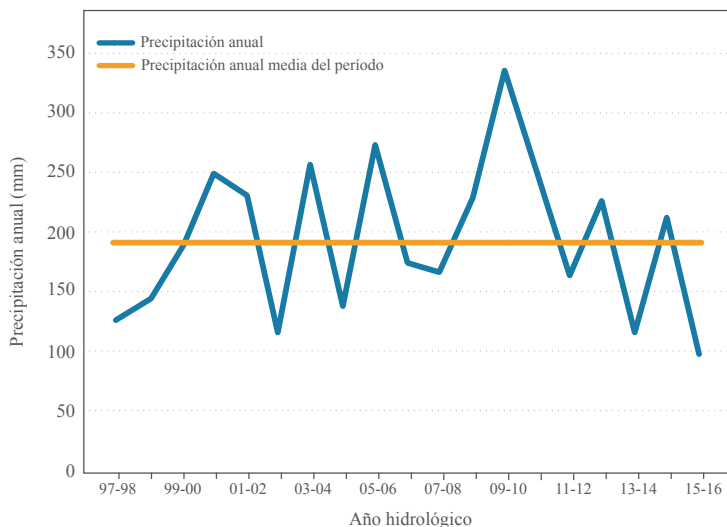


Figura XV.4. Precipitación anual y precipitación anual media entre los años hidrológicos 1997-1998 y 2015-2016 de la estación "Níjar" en Atochares (fuente: Informe del año hidrológico 2015-16 sobre datos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), Demarcación hidrológica de las cuencas del Sur).

Vegetación

La formación vegetal dominante es el atochar o espartizal de *Macrochloa tenacissima* con una cobertura inferior al 50%. Sobre este estrato herbáceo alto sobresalen esporádicamente ejemplares de acebuche, espino negro y, más raramente, lentiscos. Entre las atochas encontramos, dispersas, algunas matas de bojalaga (*Thymelaea hirsuta*), albaída (*Anthyllis cytisoides*), *Hammada articulata*, *Asparagus horridus*, y más frecuentemente matillas bajas como *Helianthemum almeriense*, *Fumana thymifolia*, *F. ericoides*, *Teucrium polium*. En los claros suelen formarse costras líquénicas. En las teselas de cultivos abandonados aparecen *Salsola genistoides*, *Salsola oppositifolia*, *Hammada articulata*, *Asparagus albus*. En el entorno también se observan algunos ejemplares de arto blanco o artinera (*Ziziphus lotus*).

2.2. Actuaciones de restauración propuestas

Repoblación promovida por la Junta de Andalucía

En la memoria del proyecto se pone de manifiesto la necesidad de utilizar especies resistentes a la sequía (xerófilas) y, además, en el caso del rodal en repoblación, de carácter más termófilo. Las especies elegidas, ya utilizadas en otras repoblaciones próximas, fueron *Olea europaea sylvestris* (40% del total de plantas previstas), *Pinus halepensis* (30%), *Tetraclinis articulata* (10%), *Ceratonia siliqua* (10%), *Pistacia lentiscus* (10%) (en el terreno también se encontraron plantas de *Rhamnus lycioides*). La densidad total proyectada fue de 620 plantas ha⁻¹.

Al justificar el método de preparación del suelo, se destaca el cuidado que debía tenerse en este punto: “La conservación de la vegetación existente debe ser la principal premisa a la hora de elegir los métodos de preparación del suelo. Por otra parte, la escasa pluviometría y los dilatados periodos de sequía, seguidos de intensas lluvias, hace que el agua recibida no sea bien aprovechada por la vegetación, por lo que las lluvias intensas hacen que los horizontes superficiales se saturen con facilidad y produzcan una alta proporción de escorrentía superficial y por tanto muy baja tasa de agua útil”. Se pretendía, por tanto, “mejorar la infiltración y la acumulación de agua y facilitar la penetración y el desarrollo del sistema radical de las plantas introducidas”.

Se descartó la construcción de terrazas de cualquier tipo y las fajas subsoladas convencionales por el impacto que ocasionan, y se optó por el subsolado lineal en las zonas donde las pendientes eran inferiores al 20%; esto es, la realización de surcos de 60 cm de profundidad con un *ripper* de un solo vástago del que tiraría un tractor de cadenas de 190-240 CV. Se previó un doble pase de subsolado, por curvas de nivel. Los surcos irían distanciados 4 m y, sobre ellos, se prepararían pequeñas banquetas manuales. Se supuso en el proyecto la existencia de un suelo del tipo regosol calcáreo. No se advirtió, por tanto, la dificultad que entrañaría la costra caliza subyacente para la preparación del suelo en este rodal. No se contempló el tratamiento de la vegetación existente más allá de la implícita en dicha preparación del suelo.

Las plantas se obtendrían en los viveros de la propia administración forestal existentes en la provincia; en concreto, los del Espilo (Lúcar) y de Rodalquilar (Níjar). No se contemplaron cerramientos de protección, sino protectores individuales.

Los trabajos fueron adjudicados a una unión temporal de las empresas Riego Sur S.A., Eulen S.A. y Jardinería S.L.

Como director de obra fue nombrado el ingeniero de montes Ramón Huesa Gallardo, quien, al realizar el acta de comprobación del replanteo, constató la falta de disponibilidad de algunos terrenos en los que estaba previsto realizar repoblaciones. En consecuencia, preparó un modificado del proyecto, ya que parte del rodal nº 5 había sido objeto, mientras se realizaba la tramitación del expediente de adjudicación, de otra actuación repobladora promovida por el Ayuntamiento de Níjar. La superficie afectada por esta actuación era de 55 ha, por lo que debía reducirse la superficie del rodal a restaurar de 149 a 94 hectáreas.

Otro motivo para la modificación del proyecto fue el siguiente: “De la observación de las repoblaciones ya efectuadas en el monte S^a Alhamilla (Níjar) por el Ayuntamiento, se deduce la existencia de un elevado nivel de pedregosidad ya que, pese a realizar una repoblación puntual del terreno mediante la construcción de banquetas con retroexcavadora, los afloramientos de piedras han sido abundantísimos, lo que ha dificultado la posterior plantación y sobre todo, ha ocasionado un notable impacto visual. En realidad, lo que ha quedado constatado es la existencia, oculta bajo un delgado horizonte A, de un segundo horizonte, esta vez de naturaleza petrocálcica y de potencia variable, bajo el que nuevamente aparece un material suelto de naturaleza fuertemente básica pero apto para el desarrollo radicular de determinadas plantas no calcífugas. Esta circunstancia aconseja la sustitución de la preparación del terreno proyectada (subsolado lineal) por otra que evite la aparición de afloramientos pétreos y que consistirá en

la apertura de hoyos mediante martillo perforador portado por una retroexcavadora. Este tipo de labor compaginará la deseable ausencia de afloramientos rocosos con la necesaria ruptura de un horizonte petrocálcico que en ocasiones alcanza potencias superiores a 50 cm”.

Se incluyó, por tanto, en el proyecto reformado, una nueva unidad de obra de preparación del terreno denominada “construcción de banqueta de 50 × 50 × 60 con martillo neumático perforador portado por retroexcavadora, con acabado manual de la misma”. También se disminuyó la densidad a 425 hoyos ha⁻¹.

La planta utilizada se había producido en bandejas de alvéolos forma prismática truncada sin fondo, de 5 cm de lado en su parte superior y 11 cm de fondo, de bordes ondulados para evitar el revirado de las raíces.

Se aplicaron varias medidas de protección: sobre la superficie del suelo se extendía una lámina de polietileno perforado de 60 × 60 cm, que se tapaba someramente con tierra, centrada en cada planta. Encima de esta superficie y alrededor de la planta se colocaban piedras aplanadas (técnica conocida como “mulchado” español) las cuales sujetaban además un tubo protector de tipo Tubex de 30 cm de largo. Estos tubos fueron retirados a los pocos años.

El presupuesto de ejecución material de la repoblación de este rodal de 94 ha fue de 24205610 pta, lo que supone, en moneda actual, un coste medio de 1548 € ha⁻¹. La actuación se ejecutó finalmente en otoño de 2000.

Restauración promovida por el Ayuntamiento de Níjar

La actuación del Ayuntamiento, acogida al programa de ayudas a la forestación de la PAC, se ejecutó en el año 1999.

Desde la Delegación de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía se indicó a la administración local que debían evitarse los subsolados lineales en caso de costra calcárea, siendo preferible sustituirlos por ahoyados manuales o mecánicos. La preparación del suelo se realizó en este rodal mediante ahoyado (figura XV.5) realizado con retroexcavadora de 130-150 CV, con cazo de 80 cm de ancho, y que, como se verá más adelante, no llegó a profundizar los 50 cm previstos en el proyecto. Además, la preparación puntual realizada supuso que buena parte de la superficie quedara alterada por los hoyos y por las losas de caliche, a veces de dimensiones métricas, que se extraían de esos hoyos.

Las especies previstas fueron *Pinus halepensis* (con un porcentaje en número de plantas del 30% respecto del total previsto), *Pistacia lentiscus* (20%), *Quercus coccifera* (15%), *Juniperus phoenicea* (10%), *Olea europaea* (10%), *Chamaerops humilis* (10%) y *Tetraclinis articulata* (5%), distribuidas por bosquetes de menos de 4 especies, con la densidad mínima exigida por la orden de ayudas para fomentar inversiones forestales en explotaciones agrarias.

En el campo se utilizó un marco real de aproximadamente 4 m × 4 m. Se utilizaron plantas con cepellón en alvéolos de más de 200 cm³ (y superiores a 300 cm³ en el caso de *Quercus*), con tallas máximas de 20 cm. Con objeto de disminuir la transpiración, en el proyecto se previó que solo asomaran 5-8 cm de la parte aérea sobre el suelo. Todas las plantas fueron protegidas con tubos tipo Tubex de 60 cm de largo.



Figura XV.5. Detalle de la preparación del suelo mediante apertura mecanizada de hoyos en la replantación promovida por el Ayuntamiento (foto: C Carreras-Egaña).

4. Evaluación comparativa de los resultados de las dos replantaciones

Con el objetivo de comparar el resultado de ambas replantaciones, a finales de octubre y primeros de noviembre del año 2016, se realizaron varios recorridos en la parte oeste del rodal 5 replantado por la Junta de Andalucía y en la parte este de la replantación del Ayuntamiento, con objeto de escoger dos parcelas en cada replantación que no difirieran mucho desde el punto de vista ambiental. Estas parcelas se situaron a uno y otro lado del camino que asciende desde el cortijo de la Venta de la Bernarda, en torno a los puntos de coordenadas 580815 – 4094185 y 581010 – 4093610 (figura XV.1).

Dentro de las parcelas y en cada hoyo de plantación se registró si la planta estaba viva y su estado vegetativo. En cada hoyo de plantación evaluado se estimó la profundidad del perfil mediante el sondeo del suelo del hoyo con una varilla metálica de 8 mm de diámetro empujada con un esfuerzo manual de hasta 46 kg, hasta dar con un límite nítido, es decir, con el horizonte petrocálcico o con un fragmento de roca. También se estimó la profundidad del perfil en diferentes puntos de las parcelas de seguimiento en los que no se había efectuado labor de preparación del suelo. Las mediciones del suelo útil fuera de los hoyos de plantación proporcionaron datos de entre 3 y 10 cm, raramente superiores.

En la tabla XV.3 se resumen los datos obtenidos en estos muestreos, ofreciéndose la información relativa al número de hoyos y el número de plantas en cada una de las clases de profundidad, establecidas éstas con una amplitud de 5 cm.

Como queda reflejado en dicha tabla, los porcentajes de supervivencia entre replantaciones es notable, siendo de un 62% (a los 16 años) en la iniciativa de la Junta de Andalucía y de tan solo un 6% (a los 17 años) en la replantación promovida por el Ayuntamiento. En la replantación efectuada por iniciativa de la administración autonómica se observó que el acebuche era la especie con mayor número de ejemplares supervivientes (la mitad del total), de los que la talla máxima medida en 2016 fue de 1,60 m. La talla mediana del conjunto de plantas vivas de todas las especies en esta replantación era, en dicho año, de 60 cm, con un máximo de 3,80 m en un *Tetraclinis*. El mayor volumen alcanzado por una planta establecida por replantación (comprobado su origen por la existencia de restos de *mulch* plástico en su base) correspondió a un lentisco de 4 m de diámetro de copa y 1,50 m de altura (figura XV.6).

Tabla XV.3. Comparación de resultados de los muestreos realizados a finales de octubre sobre rodales colindantes de la repoblación promovida por el Ayuntamiento, ejecutada en el año 1999, y la repoblación promovida por la Delegación de Medio Ambiente, ejecutada en el año 2000.

Profundidad del suelo preparado (cm)	Repoblación del Ayuntamiento			Repoblación de la Junta de Andalucía		
	Nº de hoyos	Nº de plantas	Especies	Nº de hoyos	Nº de plantas	Especies
≤ 5	7	0		0	0	
>5 a ≤ 10	38	1	<i>Pinus halepensis</i>	3	3	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>
>10 a ≤ 15	8	1	<i>Pinus halepensis</i>	7	3	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Rhamnus lycioides</i>
>15 a ≤ 20	7	1	<i>Pinus halepensis</i>	13	9	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Rhamnus lycioides</i> , <i>Tetraclinis articulata</i>
>20 a ≤ 25	6	0		13	9	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Tetraclinis articulata</i>
>25 a ≤ 30	1	1	<i>Chamaerops humilis</i>	5	1	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>
>30 a ≤ 35	0	0		5	3	<i>Rhamnus lycioides</i>
>35 a ≤ 40	0	0		1	1	<i>Rhamnus lycioides</i>
Total	67	4		47	29	

En el área repoblada por la Junta de Andalucía, la profundidad del suelo en los hoyos solía estar entre 15 y 20 cm, a veces 10, y como máximo 35 cm. No se han encontrado profundidades útiles mayores, a pesar de que estaba previsto en el proyecto que el martillo picador llegara a 60 cm de profundidad.

En la repoblación del Ayuntamiento, el tacto al introducir la sonda reflejaba casi siempre su choque con una superficie maciza dura. Así, las profundidades útiles en el punto de plantación raramente superan los 25 cm, también muy inferiores a las planteadas en el proyecto (50 cm).

Como en el caso de los valores de supervivencia, las diferencias de profundidad de suelo útil en los hoyos debido al método utilizado para la preparación previa a la plantación también es notable. Las medias estimadas a partir de las marcas de clase arrojan las siguientes cifras: 10,3 cm de profundidad media en los hoyos de la repoblación del Ayuntamiento, y el doble, 20,6 cm, en la de la Junta de Andalucía.

Para comprobar más detenidamente las peculiaridades del suelo que pudieran explicar estas diferencias, en 2017 se abrió una pequeña cata en el punto de coordenadas 580836 – 4094160, aprovechando un talud de desmonte junto al camino. Se observó un horizonte



Planta de acebuche verde sólo en su cuarto inferior que había alcanzado 60 cm de talla en un suelo con 24 cm de profundidad útil. Pueden observarse trozos de caliche, de hasta 15 cm de espesor, puestos en superficie por la labor.



Ejemplar notable de *Tetraclinis articulata*, de talla 3,80 m.



En primer plano y junto a la varilla de medición (1 m), pequeño ejemplar puntiseco de lentisco; en segundo plano, pinos carrasco con distintos vigos.

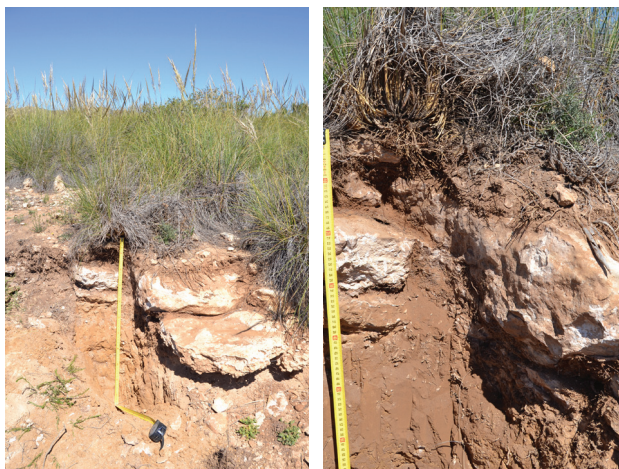


Ejemplar plantado de lentisco con muy buen desarrollo.

Figura XV.6. Ejemplos del estado de desarrollo, en el año 2016, de las plantas de la repoblación efectuada por iniciativa de la Junta de Andalucía (fotos: C Carreras-Egaña).

petrocálcico potente, que presenta un doble o, incluso, un triple fondo de roca compacta, y que aparece fragmentado por grietas horizontales y verticales en su parte superior (figura XV.7, tabla XV.4).

En estas condiciones, la preparación con retroexcavadora sólo consiguió la remoción de la parte superior del horizonte petrocálcico, dejando intacta la inferior, es decir una losa continua impenetrable por debajo de una capa muy somera de suelo disponible. Así, las plantas fueron plantadas en un suelo de muy poco espesor, correspondiente a la veta de



Corte en el que se llevó a cabo la descripción del suelo. La cinta métrica está doblada a los 107 cm.

En la parte superior de la cata se aprecian las vetas de tierra intercaladas horizontal y verticalmente con los fragmentos de caliche. A la derecha y sobre la capa de caliche, raíces tuberosas de esparraquera.

Figura XV.7. Cata de suelo en el rodal evaluado (fotos: C Carreras-Egaña).

Tabla XV.4. Descripción de los suelos en la zona de actuación.

Profundidad (cm)	Descripción
0-8	Horizonte enriquecido en materia orgánica, con numerosas raíces de atocha (el perfil se encuentra debajo de una mata de esta especie), de 8 cm de espesor, que se prolonga por las grietas verticales existentes en el horizonte petrocálcico infrayacente
8-26	Horizonte petrocálcico muy cementado, marmóreo, muy resistente a la rotura con medios manuales (pico), de 16-20 cm de espesor, con grietas verticales rellenas de tierra
26-28	Capa de tierra de 2-3 cm de espesor con numerosas raíces, conectada por las grietas verticales al horizonte superior
28-38	Continuación del horizonte petrocálcico, pero con menor resistencia a la rotura que el superior, de 10 cm de espesor
38-101	Horizonte limoso, excavable con medios manuales, de 63 cm de espesor, con muy pocas raíces
>101	Roca madre (limos) compacta

tierra existente en una fisura del horizonte petrocálcico (y tal vez con la tierra que pudiera caer al retirar los fragmentos superiores). Se concluye, por tanto, que en el caso de la repoblación del Ayuntamiento, aunque se proyectó una preparación intensa del suelo, en la práctica sólo se consiguió preparar algo parecido a macetas para bonsáis, con un fondo impenetrable a escasa profundidad. A pesar de haber levantado una gruesa capa de costra caliza, el suelo disponible para las plantas siguió quedando limitado a unos pocos centímetros de espesor debido a la existencia de otra capa compacta infrayacente, no afectada por la preparación y, de ahí, el alto porcentaje de marras observado.

Otras variables que podrían haber influido en cierta medida en los resultados dispares entre ambas repoblaciones podrían ser:

- La selección de especies empleadas, aunque los requerimientos de cada conjunto de especies no sean, en principio, muy diferentes: tres especies son comunes a ambas repoblaciones (pino, acebuche y araar); dos especies, espino negro y algarrobo, fueron utilizadas en la repoblación de la Junta de Andalucía pero no en la del Ayuntamiento, y tres especies, coscoja, sabina y palmito, en la del Ayuntamiento pero no en la de la Administración autonómica. La falta de una especie notoriamente resistente a la sequía como es el pino carrasco en el muestreo de la parte repoblada por la Junta de Andalucía indicaría que se habría empleado en proporción muy escasa (o nula). Los porcentajes de pervivencia del conjunto habrían sido, probablemente, más altos en caso de que esta especie hubiera tenido una mayor presencia.
- La diferencia de un año en las ejecuciones de las respectivas plantaciones podría tener su importancia, puesto que la plantación del Ayuntamiento se realizó en un año relativamente desfavorable, con precipitaciones por debajo de la media.
- En ambos casos se utilizaron protectores tipo Tubex, si bien en la repoblación de la Administración forestal tenían la mitad de longitud que en la del Ayuntamiento (30 cm frente a 60 cm).
- Una variable no controlada en el seguimiento ha sido la calidad de las plantas utilizadas en las repoblaciones, ya que no se han conseguido datos al respecto.

Sin embargo, todo parece indicar que el procedimiento de preparación del suelo ha tenido un papel fundamental que explicaría el fuerte contraste en los resultados obtenidos por ambas iniciativas, y que no parece posible justificar por las diferencias (relativas) en otras variables analizadas, como las especies y los protectores utilizados o el año de plantación. La sensiblemente mayor profundidad de suelo preparado conseguida con el martillo perforador en el punto de plantación respecto de la lograda con la retroexcavadora, sería el factor más relevante, explicando el éxito de la repoblación efectuada por la Administración forestal.

La presencia de fisuras –de origen desconocido, ¿tal vez sísmico?– en el horizonte petrocálcico y de capas de suelo generadas en ellas a partir de los restos de sistemas radicales probablemente sea en esta zona una circunstancia determinante en relación con la disponibilidad de suelo y agua de las plantas, tanto espontáneas como introducidas. Sería interesante contrastar esta hipótesis, que, en principio, requeriría realizar pruebas destructivas. En este contexto, se plantea también el interrogante de si, con la preparación

del suelo mediante martillo perforador, se habría conseguido abrir grietas que atravesaran completamente el horizonte petrocálcico, y si los sistemas radicales de las nuevas plantas podrían aprovechar esas grietas o fisuras recién abiertas, para acceder al sustrato limoso situado por debajo del horizonte petrocálcico.

En cualquier caso y si bien hay que tener en cuenta que, en condiciones adversas, pequeños empeoramientos de las circunstancias pueden suponer que se superen los límites de resistencia de las plantas y que resulten niveles de mortalidad desproporcionadamente altos, en este estudio comparativo se ha observado una importante diferencia en la profundidad de suelo disponible para las plantas introducidas en una y otra repoblación. Se pone de manifiesto, así, la importancia de la elección de las preparaciones físicas del suelo en condiciones tan limitantes y singulares como las del semiárido almeriense, tanto para la promoción del éxito de la repoblación como para minimizar su impacto en las superficies no utilizadas para la plantación.

BIBLIOGRAFÍA

- Allué Andrade JL (1990) Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. INIA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Consejería de Medio Ambiente (2001) Diez años del Plan Forestal Andaluz. Junta de Andalucía. Sevilla
- Consejería de Medio Ambiente (2004) Datos botánicos aplicados a la Gestión del Medio Natural Andaluz. I Bioclimatología y biogeografía. II Series de Vegetación. III Modelos de Gestión de la Vegetación. Junta de Andalucía. Sevilla
- Demarcación hidrográfica de las cuencas mediterráneas andaluzas (2016) Informe hidrológico anual - SAIH Año hidrológico 2015-16. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio Junta de Andalucía. Sevilla
- García Latorre J y García Latorre J (2007) Almería hecha a mano. Una historia ecológica. Cajamar. Almería.
- Guirado Romero J, Mendoza Castellón R (2000) La regeneración del medio forestal almeriense. En: La Desertificación en Almería. De los tópicos y malentendidos a las causas y consecuencias. Grupo Ecologista Mediterráneo. Almería
- Instituto Geológico y Minero de España (1983). Mapa Geológico de España. Hoja 1059 El cabo de Gata e isla de Alborán. Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid

Caso práctico XVI

Plantación de islotes forestales y setos como infraestructura verde para ayudar la regeneración natural en paisajes agrícolas mediterráneos

José M. REY BENAYAS, Loreto MARTÍNEZ DE BAROJA,
David GARCÍA DE LEÓN, Guillem CRESPO CEPAS,
Miriam PAJARES GUERRA, Lorenzo PÉREZ CAMACHO,
Pedro VILLAR SALVADOR

1. Bases teóricas del tipo de restauración forestal

La agricultura y la ganadería han sido las principales causas de deforestación global histórica y, además, las prácticas agrícolas se han intensificado progresivamente (Díaz *et al.* 2019). Ello conlleva que hayan desaparecido o reducido mucho los remanentes de vegetación natural o seminatural que anteriormente existían en terrenos poco productivos o en bosquetes, lindes, ribazos y bordes de caminos. No obstante, en distintas regiones del planeta se ha producido y todavía se produce un abandono de tierras agrarias. Conciliar la producción agrícola con el mantenimiento o el aumento de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos es un reto de la humanidad. Además, los agroecosistemas no sólo han asegurado nuestra provisión de alimentos y fibras sino que, frecuentemente, son percibidos positivamente desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y del paisaje. Ello es debido a que, entre otros motivos, crean mosaicos con una elevada heterogeneidad ambiental, son el hábitat de comunidades singulares y especies raras o amenazadas y poseen una amplia gama de valores culturales (Rey-Benayas y Bullock 2012). Los paisajes agrícolas también ofrecen oportunidades para implementar mecanismos de adaptación y mitigación del cambio climático para reducir las consecuencias de éste, como son las que se abordan en este trabajo (Herrero y Zavala 2016).

En la actualidad, la restauración forestal se basa en dos enfoques contrastados. Uno es la colonización natural de matas, arbustos y árboles como parte de la sucesión secundaria, el cual recibe diferentes nombres como restauración pasiva o espontánea o regeneración

natural. El otro consiste en el establecimiento de estas plantas por los humanos (restauración activa, basada principalmente en plantaciones forestales). La restauración pasiva está sujeta a los diferentes filtros ecológicos de una localidad o región, como son las características del clima y el suelo y el régimen de perturbaciones. Es generalmente lenta en ambientes poco productivos como el mediterráneo (Cruz-Alonso *et al.* 2019). Las restricciones clave para la regeneración natural pueden ser: i) dispersión limitada porque las fuentes de propágulos están lejos o los vectores de dispersión pueden ser escasos o inexistentes; ii) limitaciones abióticas, como una baja disponibilidad de agua para las plantas; y iii) limitaciones bióticas, como la competencia con otras plantas, especialmente las hierbas, la depredación de semillas, la herbivoría y la falta de plantas facilitadoras (Rey-Benayas *et al.* 2008). La restauración activa implica técnicas de manejo tales como plantaciones, siembras, eliminación de hierbas, quemas, protección contra los herbívoros, aclareos, podas y riegos, entre otras muchas.

Rey Benayas *et al.* (2008) propusieron un modelo para la restauración forestal en paisajes agrícolas que utiliza la restauración activa a una escala pequeña como desencadenadora de la restauración pasiva a una escala mucho más amplia. Consiste en la plantación de “islotos forestales” en los paisajes agrícolas donde apenas existen remanentes de vegetación natural. Ellos se refirieron a “islotos” por el pequeño tamaño (100 m²) de los parches que fueron plantados en el experimento que inspiró el modelo y que se explicará más adelante. Este concepto es sinónimo de la voz bosqueque, usado ya por Laguna en 1883: “...no formando grandes rodales, sino aislado, ó en plantaciones lineales, o en bosqueques o moños (grupos pequeños, compuestos, por lo común, de chopos y de sauces, en las orillas de los ríos, o en las isletas que estos forman; es nombre que hemos oído...” (ver la voz bosqueque en el Diccionario Forestal de la SECF (2005)).

Posteriormente, este modelo ha recibido diferentes etiquetas en la literatura científica, tales como islas de árboles (Cole *et al.* 2010), nucleación aplicada (Corbin y Holl 2012) y núcleos de dispersión y reclamo (García-Martí y Ferrer 2013). Otro esquema relacionado es el de las plantaciones forestales ubicadas en las esquinas de campos agrícolas (Hughes-Clarke y Mason 1992). Los resultados de las investigaciones del equipo de Karen Holl, en Costa Rica, con islas de árboles o nucleación aplicada pueden encontrarse en Zahawi *et al.* (2013) y Holl *et al.* (2017, 2020). Así mismo, Corbin *et al.* (2016) han investigado la nucleación aplicada en un área degradada de New Jersey (USA). Las islas o islotos forestales representan un grado de intervención intermedio entre la restauración pasiva y la activa, en el cual la segunda ayuda a la primera. Permiten la sucesión secundaria al establecerse focos de colonización con una fracción de los recursos necesarios para la reforestación a escala amplia. Además, este modelo mantiene la flexibilidad en el uso del suelo, algo crítico en los paisajes agrícolas donde la explotación del territorio está sujeta a cambios sociales, económicos y políticos.

Este modelo consiste básicamente en la plantación de núcleos o islotos de vegetación leñosa nativa en tierras agrícolas (figura XVI.1). Estos islotos son pequeños (decenas o pocas centenas de m²), densos (por ejemplo, un plantón cada 2 m²) y dispersos (separados entre ellos decenas o centenas de metros). Los islotos, en su conjunto, ocupan una fracción diminuta de un campo o paisaje agrícola (<1% en la propuesta original de Rey Benayas *et al.* (2008)). La principal idea en cuanto a su utilización como modelo para la reforestación

radica en el proceso de la dispersión, ya que son fuentes de semillas y hábitat de animales que las dispersan. Las especies dispersadas, que no sólo son las plantadas en los islotes sino también las que se hayan establecido en ellos desde el exterior, pueden colonizar otros lugares próximos. Si los agroecosistemas de los alrededores son abandonados, los propágulos que proceden de los islotes pueden acelerar la regeneración natural de bosques y matorrales porque habrá una dispersión continua de organismos forestales durante muchos años. El énfasis en el paisaje de los islotes plantados representa un potencial para la reforestación pasiva a gran escala que supone un primer paso para la renaturalización del territorio (*rewilding* es el término en inglés, Navarro y Pereira 2012). Es más, esta reforestación pasiva desencadenada por los islotes estará regulada por las condiciones climáticas existentes, en el presente y en el futuro, por lo que representa un mecanismo flexible de adaptación al cambio climático. El principal beneficio de este modelo es que proporciona una reconciliación de las demandas de la agricultura, la conservación y la restauración forestal a escala de paisaje. Los islotes forestales pueden favorecer una variedad de procesos relacionados con la restauración de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las sociedades y economías rurales, proporcionando una gama integrada de servicios ecológicos, sociales y económicos.

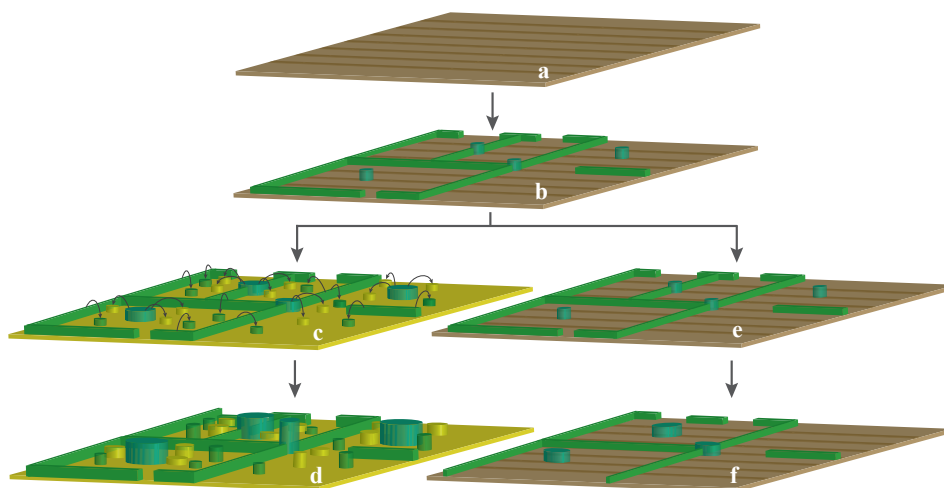


Figura XVI.1. Esquema del modelo “islotos forestales y setos” propuesto por Rey Benayas y Bullock (2015), el cual es una ampliación del modelo de los “islotos forestales” desarrollado por Rey Benayas *et al.* (2008). En un paisaje agrícola sin vegetación leñosa (a) se plantan unos pocos (aquí cuatro) islotes forestales pequeños y setos (b). El manejo apropiado de los islotes y setos plantados permite que se establezcan los árboles y arbustos, que crecen y alcanzan la madurez sexual de forma relativamente rápida (a los pocos años). Si la tierra cultivada es abandonada, los islotes y setos pueden expandirse y las semillas exportadas desde ellos al terreno circundante pueden dar lugar al establecimiento de plántulas (c). Los islotes y setos, eventualmente, pueden juntarse para formar matorrales y bosques densos (d). Alternativamente, el terreno circundante puede permanecer con los mismos u otros usos (e) mientras que los islotes y setos permanecen como pequeños parches de la comunidad forestal nativa en los cuales los árboles y arbustos siguen creciendo. Algunos islotes y fragmentos de los setos pueden desaparecer debido a perturbaciones (f).

Rey-Benayas y Bullock (2015) propusieron completar el modelo de los islotes forestales explicado con otras actuaciones de revegetación estratégica. La idea de los islotes forestales tiene similitudes con otros esquemas que implican la plantación de áreas pequeñas en campos y paisajes agrícolas con árboles y arbustos, tales como grupos de árboles, setos o cercas vivas, cinturones de protección o barreras vegetales (Rey-Benayas *et al.* 2008). En particular, la revegetación de los bordes de las propiedades, márgenes y ribazos de los campos agrícolas y bordes de los caminos para crear setos tiene la misma función iniciadora y aceleradora de la regeneración natural que los islotes forestales en caso de abandono agrícola. El concepto de los “islotes forestales” puede ser expandido al concepto de los “islotes y costas forestales” en mares agrícolas (figura XVI.1). Es más, los setos tienen una relación borde/superficie superior a los islotes y, en consecuencia, proporcionan un mayor contacto con el hábitat circundante que favorece la dispersión y la colonización. Rey-Benayas *et al.* (2016) propusieron una guía para la plantación de setos e islotes forestales en campos agrícolas mediterráneos, mientras que Rey Benayas *et al.* (2020) propusieron unas reglas para la plantación de setos y las aplicaron a un paisaje mixto agrícola y forestal en Chile. Nótese que una red de setos suficientemente desarrollada da lugar a “bosques reticulados” ya que la cubierta vegetal alcanzada satisface la definición de bosque de la FAO. La plantación de árboles aislados también puede proporcionar un valor desproporcionadamente elevado para la dispersión de semillas (Villar-Salvador *et al.* en revisión).

2. Caracterización ambiental de los sitios de restauración estudiados

En este trabajo explicaremos dos tipos de actuaciones para ayudar la regeneración natural en paisajes agrícolas localizados en España central (figura XVI.2). La primera es un experimento de islotes forestales establecido en 1993 en La Higuera, una finca experimental del CSIC en Santa Olalla (Toledo; 40°03'N, 4°24'W, altitud de 450 m). Su fin es científico y ha dado lugar a múltiples publicaciones relacionadas con el establecimiento (supervivencia y crecimiento) de *Quercus ilex*, localización de los recursos en los distintos órganos de las encinas, variación del medio abiótico en parcelas con distintas técnicas de manejo, cambios en las propiedades del suelo y efectos en la comunidad de plantas herbáceas, entre otras. Estas publicaciones están accesibles en <http://www3.uah.es/josemrey/publication.html>.

La segunda actuación es la plantación de setos en campos agrícolas activos. En todos ellos se ha monitoreado la supervivencia de las especies plantadas. Sin embargo, sólo en cuatro de estos campos, tres olivares y un cultivo herbáceo, se ha estudiado el reclutamiento de especies leñosas. Dos campos están ubicados en Novés (Toledo; 40°03'N, 4°17'W, altitud de 540 m y 40°03'N, 4°16'W, altitud de 561 m), uno en Valdepeñas (Ciudad Real; 38°48'N, 3°13'W, altitud de 699) y un cuarto en San Carlos del Valle (Ciudad Real; 38°48'N, 3°21'W, altitud de 711 m). Estas plantaciones de setos tuvieron un fin práctico, forman parte del proyecto Campos de Vida de la Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (www.fundacionfire.org) y sólo recientemente comenzamos a extraer información científica y técnica útil de las mismas.

Los sitios estudiados tienen un clima mediterráneo continental caracterizado por una sequía estival larga que impone un severo estrés hídrico a la vegetación e inviernos fríos. En La Higuera, la precipitación total anual y la temperatura media anual

promediaron 468,2 mm y 15,5 °C, respectivamente, durante el periodo 1993-2018; estas características climáticas son también representativas de los setos plantados en Novés. En Valdepeñas, la precipitación total anual promedió 393 mm y la temperatura media anual promedió 16,7 °C durante los periodos 2010-2016 y 2010-2019, respectivamente. Los suelos de todos los sitios son en general fértiles. Los de Toledo son de tipo luvisol profundo y proceden de arcosas, mientras que los de Ciudad Real son de tipo cambisol y proceden de calizas.

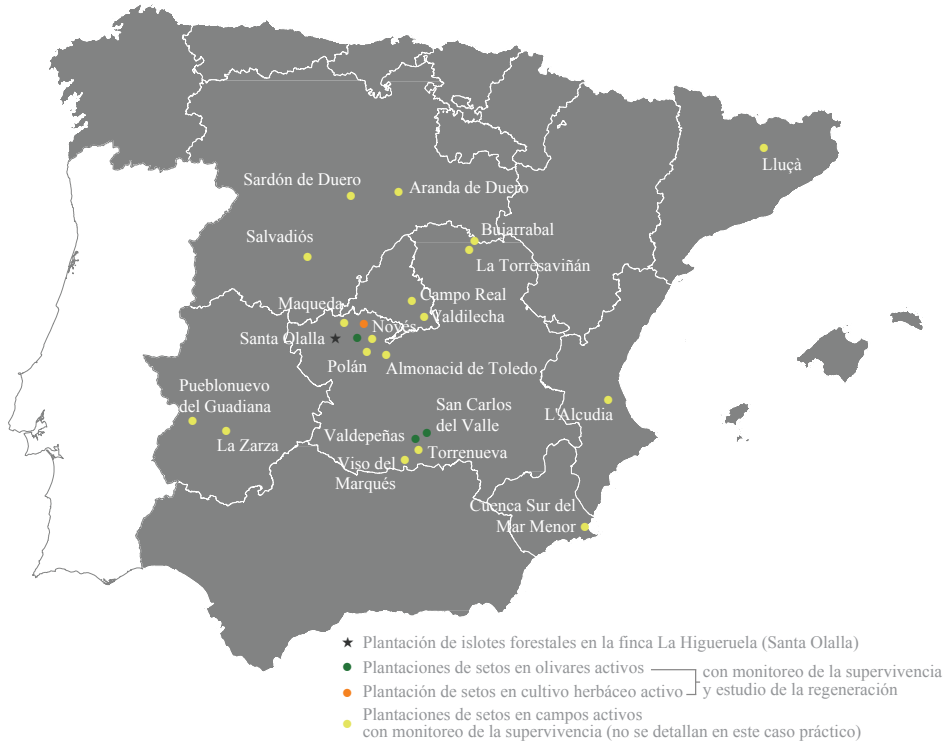


Figura XVI.2. Mapa con la localización de los sitios de estudio con infraestructura verde para la dispersión.

3. Actuaciones de la restauración propuesta: descripción y ejecución

El experimento de los islotes forestales en La Higuera se hizo en un campo de 1 ha que fue cultivado durante muchos años antes de la plantación de encinas en 1993. Ese año se introdujeron plantones de *Q. ilex* de un año de edad en 16 parcelas de 100 m² cada una de ellas, con una densidad de 50 plantones por parcela (figura XVI.3). La distancia media entre islotes fue de 11,8 m. Los plantones introducidos recibieron un manejo consistente en sombra artificial y riegos puntuales durante el verano de tres años consecutivos, a partir de los cuales este manejo fue interrumpido y ya no hubo ningún manejo posterior (Rey-Benayas y Camacho-Cruz 2004).



Foto aérea del experimento de los islotes forestales en La Higuera tomada en 2014.



Islote forestal con un desarrollo de 23 años (foto: L Martínez de Baroja).



Encina regenerada y establecida a partir de un islote forestal (foto: JM Rey Benayas).

Figura XVI.3. Detalles de la plantación de islotes forestales presentada en este caso práctico.

Las plantaciones de árboles y arbustos en los setos son heterogéneas en cuanto a su edad de plantación y composición de especies. Las cuatro en las que se ha estudiado la regeneración fueron plantadas entre 2008 (olivar en Novés) y 2015 (cultivo herbáceo en Novés), con una edad promedio de unos 8 años. Estas plantaciones tienen en común el ser densas, de 1,2 plantas por cada m^2 , y diversas, existiendo entre 12 y 15 especies distintas plantadas en las cuatro parcelas. Como práctica habitual, para favorecer el establecimiento de los plantones, se aplica un riego de asiento y un riego de mantenimiento en verano, así como un desbroce de la vegetación arvense en la primavera tardía del primer año para reducir la intensa competencia de las hierbas (Rey-Benayas *et al.* 2016).

4. Estado final de la restauración y datos del seguimiento de la repoblación

El manejo inicial afectó a la supervivencia, y en consecuencia a la densidad, y al crecimiento de las encinas de los islotes forestales plantados en La Higuera (Rey-Benayas 1998). No obstante, la cobertura de éstas en los diferentes tratamientos fue similar en todos los islotes (>90%; figuras XVI.3 superiores) en la fecha (2014) en que empezó a estimarse la regeneración. En ese momento, la densidad promedio fue de 41,9 encinas por islote y todas las encinas de la periferia, es decir, al menos 20 en cada



Seto plantado en Valdepeñas con un desarrollo de 8 años.



Fructificación de *Rhamnus alaternus* y *Colutea arborescens* plantadas en un seto.



Almendro regenerado al abrigo de una retama en el interior de un seto cuya semilla procedió del exterior del seto plantado.

Figura XVI.4. Detalles de las plantaciones en setos presentadas en este caso práctico (fotos: JM Rey Benayas).

islote, producían abundantes bellotas (Rey-Benayas *et al.* 2015). Después de 25 años, el número de encinas con una altura > 5 cm (figura XVI.3 inferior) establecidas a partir de las bellotas dispersadas fue de 92, resultando en una densidad de 103,2 encinas por ha excluyendo el área ocupada por los islotes, con una tasa de establecimiento de 5,7 individuos por ha y año, una vez excluidos los años prereproductivos de las encinas plantadas. La altura, el diámetro basal y la superficie proyectada por la copa de las encinas reclutadas promedió (\pm desviación estándar) $67,2 \pm 81,2$ cm, $26,4 \pm 46,4$ mm, y $0,90 \pm 2,66$ m², respectivamente. Así mismo, para detectar la emergencia de las plántulas cada año, se muestrearon 192 transectos de 1×5 m o 1×10 m y nueve cuadrados de 5×5 m en los años 2014 a 2017, con una superficie total muestreada de 1475 m²

cada año. En estos muestreos contamos entre 28 y 153 plántulas de encina en total los diferentes años, con un promedio de 446 plántulas por ha y año. De éstas, sólo el 15,5% sobrevivieron al final del segundo verano.

La supervivencia postestival de los individuos plantados en los setos dependió mucho de la especie y el año de plantación. No obstante, debido en gran parte a la elevada densidad de plantación, el desarrollo de los mismos es notable a los pocos años de su establecimiento (figura XVI.4 superior) y la mayor parte de los individuos producen semillas que pueden dar lugar a plántulas en los propios setos o ser dispersadas hacia los alrededores (figura XVI.4 inferiores).

Los primeros muestreos de regeneración a partir de los setos se han realizado en 44 transectos de $10 \times 2,5$ m distribuidos en los cuatro campos estudiados en 2019. Ese año, la cobertura de la vegetación leñosa de los setos en los transectos promedió $35 \pm 21\%$. Los resultados indican el establecimiento de 66 plántulas procedentes de germinación de semillas y 316 rebrotes de las plantadas y establecidas en los mismos. En estos transectos muestreados hemos comprobado el establecimiento de 17 plantas procedentes del exterior de los mismos, concretamente 15 almendros (*Prunus dulcis*) y dos pistachos (*Pistacia vera*). En total, el establecimiento promedio fue de 94 plántulas por ha y año dentro del conjunto de setos. Además de los transectos, muestreamos los campos agrícolas abandonados adyacentes a los setos. En estos muestreos sólo identificamos un individuo de espino negro o cambrón (*Rhamnus lycioides*) localizado muy próximo al seto y un frente de colonización de varios cientos de plántulas de retama (*Retama sphaerocarpa*), aparentemente coetáneas, cuyas plantas madres tienen diez años de edad.

Concluimos que la predicción de nuestro modelo relacionada con el establecimiento de nuevas plantas a partir de los islotes forestales y setos ha sido corroborada, aunque el establecimiento es el característicamente lento de los ambientes mediterráneos secos. A pesar de la conspicua abundancia de producción de semillas por parte de la infraestructura verde plantada, los factores limitantes del establecimiento de las plántulas, tales como la depredación de semillas, la sequía estival, la competencia de las hierbas y la herbivoría, especialmente del conejo, resultan en una regeneración pobre en las inmediaciones de los islotes forestales y los setos. No obstante, los dispersores han podido trasladar semillas que hayan originado plantas establecidas lejos de nuestros sitios muestreados y que no han sido evaluadas en este trabajo. La predicción relacionada con la expansión o crecimiento hacia la periferia de los islotes no se ha cumplido (figuras XVI.3 superiores); nuestros resultados preliminares indican que ello es debido, sobre todo, a la intensa competencia que los islotes establecidos ejercen sobre los rebrotes o las plántulas próximas a los mismos. En cualquier caso, tanto los islotes como los setos (modelo de “islotes y costas forestales” en mares agrícolas) proporcionan propágulos que permiten la regeneración de bosques y matorrales, siendo una eficaz herramienta para ayudar la regeneración natural de los espacios abiertos.

Hemos aprendido, además, varias lecciones relacionadas con el esquema de restauración basado en los islotes forestales y los setos en mares agrícolas. Los islotes deben ser, en primer lugar, multiespecíficos, a diferencia de los plantados por nosotros que son sólo de encinas. En segundo lugar, la densidad de plantación debe ser menor (por ejemplo, de una planta por cada 4 m^2 , aunque esta cifra dependerá de las especies plantadas).

Cuando la cubierta vegetal alcanza un desarrollo notable, conviene realizar claras y podas para facilitar la fructificación y el establecimiento de plantas a partir de semillas procedentes del exterior que son trasladadas por los dispersores a los islotes forestales. Hace falta investigación para establecer los tamaños críticos y la composición de, y la distancia entre, los islotes forestales. Del mismo modo, la experiencia nos ha enseñado que los agricultores son, en general, reticentes a ejecutar las actuaciones de restauración ecológica mencionadas al principio por dos motivos principales: i) el desconocimiento de los beneficios reales que pueden suponer para la producción agrícola y ii) la inercia de una apreciación estética que considera que los campos agrícolas deben estar “limpios”, es decir, sin elementos diferentes al cultivo practicado. Por otro lado, las plantaciones de los setos son bien valoradas por los cazadores, ya que favorecen a las poblaciones de especies tales como la perdiz roja (*Alectoris rufa*), lo que supone un aumento directo de la producción cinegética y de los beneficios económicos asociados (Rey-Benayas y Bullock 2015). La plantación de islotes forestales y setos, más allá de ayudar la regeneración natural de los matorrales y bosques, contribuirá a una agricultura más amiga de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, un tema candente que actualmente se está debatiendo en el contexto de la reforma de la PAC de la Unión Europea y ya contemplado en la Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad para el año 2030.

BIBLIOGRAFÍA

- Cole RJ, Holl KD, Zahawi RA (2010) Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecol Appl* 20:1255–1269
- Corbin JD, Holl KD (2012) Applied nucleation as a forest restoration strategy. *For Ecol Manage* 265:37–46
- Corbin JD, Robinson GR, Hafkemeyer LM, Handel SN (2016) A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecol Appl* 26:104–114
- Cruz-Alonso V, Villar-Salvador P, Ruiz-Benito P, Ibáñez I, Rey-Benayas JM (2019) Long-term dynamics of shrub facilitation shape the mixing of evergreen and deciduous oaks in Mediterranean abandoned fields. *J Ecol* 108:1125–1137
- Díaz S, *et al.* (múltiples coautores) (2019) Informe de la evaluación mundial de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas, IPBES. URL: https://ipbes.net/sites/default/files/ipbes_7_10_add.1_es.pdf
- García-Martí X, Ferrer PP (2013) La creación de núcleos de dispersión y reclamo como modelo de restauración ecológica forestal. En: SECF-AEET. Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación, 149–159
- Herrero A, Zavala MA (eds) (2016) Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. MAGRAMA, Madrid
- Holl KD, Reid JL, Chaves-Fallas JM, Oviedo-Brenes F, Zahawi RA (2017) Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *J Appl Ecol* 54:1091–1099
- Holl KD, Reid JL, Cole RJ, Oviedo-Brenes F, Rosales JA, Zahawi RA (2020) Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. *J Appl Ecol* 57:2316–2328
- Hughes-Clarke SA, Mason CF (1992) Ecological development of field corner tree plantations on arable land. *Landsc Urban Plan* 22:59–72
- Navarro LM, Pereira HM (2012) Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems* 15:900–912
- Rey-Benayas JM (1998) Growth and survival in *Quercus ilex* L. seedlings after irrigation and artificial shading on Mediterranean set-aside agricultural land. *Ann des Sci For* 55:801–807

- Rey-Benayas JM, Altamirano A, Miranda A, Catalán G, Prado M, Lisón F, Bullock JM (2020) Landscape restoration in a mixed agricultural-forest catchment: Planning a buffer strip and hedgerow network in a Chilean biodiversity hotspot. *Ambio* 49:310–323
- Rey-Benayas JM, Bullock JM (2012) Restoration of Biodiversity and Ecosystem Services on Agricultural Land. *Ecosystems* 15:883–899
- Rey-Benayas JM, Bullock JM (2015) Vegetation restoration and other actions to enhance wildlife in European agricultural landscapes. En: Pereira HM, Navarro LM (eds) *Rewilding European Landscapes*. pp 127–142
- Rey-Benayas JM, Bullock JM, Newton AC (2008) Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Front Ecol Environ* 6:329–336
- Rey-Benayas JM, Camacho-Cruz A (2004) Performance of *Quercus ilex* saplings planted in abandoned Mediterranean cropland after long-term interruption of their management. *For Ecol Manage* 194:223–233
- Rey-Benayas JM, Gómez Crespo JI, Mesa Fraile AV (2016) Guía para la plantación de setos e islotes forestales en campos agrícolas mediterráneos. Fire, Fund Int para la Restauración Ecosistemas. https://www.fundacionfire.org/images/pdf/guia%20restauracion_md.pdf
- Rey-Benayas JM, Martínez-Baroja L, Pérez-Camacho L, Villar-Salvador P, Holl KD (2015) Predation and aridity slow down the spread of 21-year-old planted woodland islets in restored Mediterranean farmland. *New For* 46:841–853.
- Villar-Salvador P, Gómez-Sánchez D, Pérez-Camacho L, Cuevas J, Rey-Benayas, JM (en revisión) Acorn dispersal, shrub facilitation and seedling survival drive higher Mediterranean old-field colonization by an evergreen oak than by a deciduous oak. *J Appl Ecol*
- Zahawi RA, Holl KD, Cole RJ, Reid JL (2013) Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *J Appl Ecol* 50:88–96

Caso práctico XVII

Gestión y restauración de poblaciones de *Tetraclinis articulata* en la región de Murcia

Faustino MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, Esteban JORDÁN GONZÁLEZ,
Nuria SÁNCHEZ-LÓPEZ, Remigio MASÍA GARCÍA

1. Bases teóricas del tipo de restauración

1.1. Contexto general

La sabina o ciprés de Cartagena (*Tetraclinis articulata*), es una especie de la familia *Cupressaceae* que se extiende por las áreas de clima semiárido de la cuenca Mediterránea. Se distribuye principalmente por el norte de África, en el Magreb y la región Cirenaica, y aparece en el sudeste europeo en la isla de Malta y en la Sierra de Cartagena y La Unión en Murcia (España). Las poblaciones del sudeste de la Península Ibérica fueron descritas por primera vez a principios del siglo XX (Ruiz de la Torre 2006; Sghaier *et al.* 2015).

La sabina de Cartagena ocupa actualmente aproximadamente 800000 ha de las 2500000 ha potenciales a nivel global (Calama *et al.*, 2012), pero la presencia en la Región de Murcia es testimonial y no supone más del 0,2% de su área de distribución mundial actual. En Murcia, la especie ocupa una superficie estimada de en torno a 1200 ha, considerando el área natural de distribución de la especie y las repoblaciones realizadas en las últimas décadas (figura XVII.1). En cualquier caso, la costa murciana constituye el límite norte de distribución natural de la especie, localizada principalmente en La Unión y en el entorno de Portmán. Las poblaciones más significativas se encuentran en el Parque Natural de Calblanque, Peña del Águila y el Monte de las Cenizas (Esteve 2009). Aparece en masas mixtas con pino carrasco (*Pinus halepensis*), normalmente prefiriendo los espacios libres del pinar (Nicolás *et al.* 2004; Banos-González y Páez 2013), y matas arbustivas propias del litoral mediterráneo de las zonas más áridas y cálidas como el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*) o el palmito (*Chamaerops humilis*) (Ruiz de la Torre 2006).

El carácter relicto de la especie y la acción del hombre pusieron al límite de la desaparición a la sabina de Cartagena en la Península Ibérica (Rigual y Esteve 1953). Actividades como el pastoreo, la minería o el aprovechamiento maderero supusieron una fuerte presión sobre la especie. En 1953, Rigual y Esteve (1953) describían una población de tan sólo trece ejemplares en la Región de Murcia, de los cuales siete se encontraban en la Peña del Águila, tres en el Barranco del Moro, dos en el Barranco de Avenque y un ejemplar en el Coto Roldán–Alquerías. La población ha logrado recuperarse de forma natural en las poblaciones originales de Monte de las Cenizas–Barranco del Moro, Peña del Águila, Cerro de La Campana, El Sabinar o Coto Ana y La Algameca Grande. Además, las repoblaciones realizadas en diversas áreas del municipio de Cartagena, principalmente en el entorno de instalaciones militares del Castillo de San Julián–Cala Cortina o en el Monte Roldán, han contribuido a la expansión de la especie. Actualmente, la población de *T. articulata* en la Región de Murcia ronda los 10.000 individuos (Esteve Selma *et al.* 2019). No obstante, la especie se enfrenta hoy en día a nuevos retos, y los problemas del siglo anterior dejan paso a otros más propios de nuestros tiempos, como son la amenaza de los incendios forestales de carácter recurrente y la competencia con el pino carrasco que se ve más favorecido por el cambio climático, o las actividades relacionadas con el uso público.

La presencia de *T. articulata*, como especie autóctona de los ecosistemas áridos del Mediterráneo, aumenta la resiliencia de los bosques, convirtiéndola en una especie ideal para utilizar en repoblaciones forestales (Ruiz de la Torre 2006) y en estrategias de adaptación al cambio climático. La sabina de Cartagena es más resistente a procesos de estrés hídrico en comparación con especies de pino, incluido el pino carrasco (Oliveras *et al.* 2003). Así mismo, investigaciones recientes realizadas en la Región de Murcia indican que *T. articulata* podría actuar como un sistema eficiente de alerta ante el cambio climático por su sensibilidad a las variaciones de temperatura y precipitación (Esteve-Selma *et al.* 2010, 2012). Es fundamental, por tanto, poner en marcha estrategias de gestión y restauración que garanticen la permanencia y el buen estado de esta especie en su área de distribución natural en España y el aumento de la población en su área de distribución potencial.

En este caso práctico se pretende, en primer lugar, ofrecer una guía práctica para el manejo de las masas de *T. articulata* en el área de distribución de la especie en la Península Ibérica, con especial énfasis en el refuerzo poblacional. Con este objetivo, se realiza un repaso del modelo ideal de gestión del hábitat 9570* de bosques mixtos de *T. articulata* y *P. halepensis* basado en los requerimientos de estas especies y la calidad de estación. En segundo lugar, por la problemática que suponen los incendios para la prevalencia de *T. articulata*, se recogen medidas y recomendaciones prácticas de gestión derivadas de la experiencia adquirida a través de diversos proyectos realizados en la zona de Peña del Águila (figura XVII.1), que fue afectada por un incendio forestal en 2011. Por último, se describen varios casos de repoblaciones con *T. articulata* llevados a cabo en la Región de Murcia que, por sus características particulares, se consideran de interés. Aun cuando las repoblaciones se llevaron a cabo con diversos objetivos y fuera del área de distribución natural de la especie, son casos que muestran el potencial de *T. articulata* para fomentar el aumento de la resiliencia de los bosques semiáridos de la cuenca mediterránea.

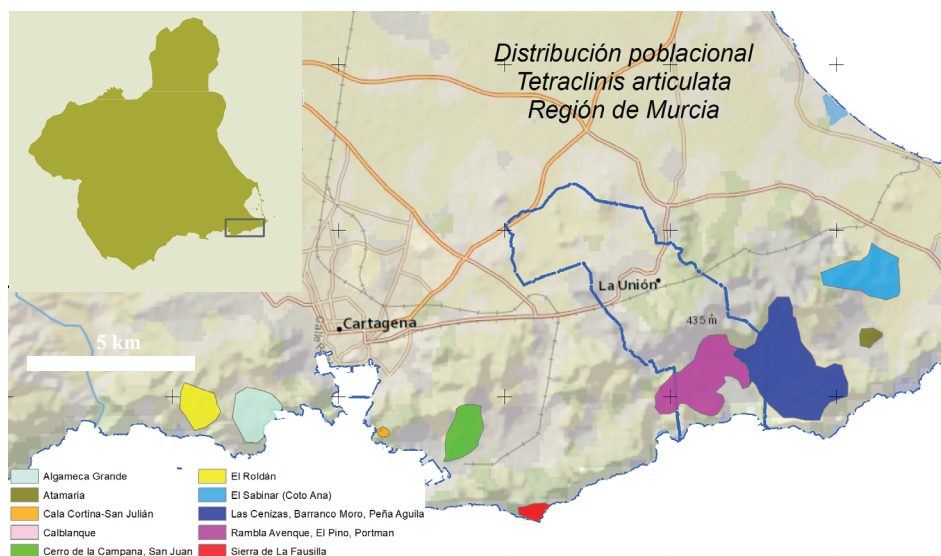


Figura XVII.1. Distribución poblacional de *Tetraclinis articulata* en la Región de Murcia (adaptado de Esteve Selma *et al.* 2019).

1.2. Modelo ideal de masa para la gestión del hábitat 9570* de bosques de *T. articulata*

El modelo ideal para la gestión del hábitat 9570* de bosques de *T. articulata* debe estar orientado a la consecución de doseles arbóreos mixtos, integrados por *P. halepensis* y *T. articulata*, en el que se pueden incorporar otras especies como el acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*). El objetivo de manejo de la densidad de estas masas en estado adulto no debe superar los 500-700 pies por hectárea en el estrato arbóreo, por tres motivos principales:

- Una densidad excesiva genera una alta carga de combustible en el sistema, originando un alto riesgo de incendio y provocando una alta severidad durante el fuego. En este escenario resultará difícil la extinción de los incendios dando lugar a grandes superficies afectadas. Además, la capacidad de rebrote de las especies que utilizan esta estrategia de regeneración puede verse mermada.
- *T. articulata* es una especie de plena luz, requiriendo sus brinzales insolación directa y abundante para su supervivencia (Ruiz de la Torre 2006). Esto sólo es posible con masas abiertas, con suficientes oquedades que dejen pasar la luz en el 30-40% de su superficie.
- El cortejo del *T. articulata*, formado por especies como el lentisco, el aladierno, el palmito o el espino negro (*Rhamnus lycioides*), necesita también abundante iluminación para desarrollar de forma equilibrada su sistema aéreo, garantizar la regeneración natural y generar sistemas vegetales resilientes.

La tabla XVII.1 muestra la composición del estrato arbóreo adulto de los bosques de *P. halepensis* y *T. articulata* en función de la calidad de estación. En las zonas de umbría y

donde los suelos son más profundos, es decir, donde la calidad de estación es más favorable para *P. halepensis*, ésta deberá ser la especie predominante, pudiendo alcanzar en estado adulto densidades comprendidas entre los 450 y los 600 pies ha⁻¹. La masa ideal debe acoger ejemplares de *T. articulata* de forma dispersa, distribuidos a distancias comprendidas entre 10 y 12 m o en forma de bosquetes. En calidades de estación más desfavorables, con exposición de solana, ambientes más térmicos o suelos más pedregosos, *T. articulata* se convierte en la especie objetivo. En cualquier caso, será la calidad de estación el factor que delimitará la densidad total objetivo del estrato arbóreo. En algunos casos en los que la calidad de estación sea muy baja, será difícil encontrar emplazamientos que permitan el desarrollo de las especies arbóreas, incluida la sabina de Cartagena.

Tabla XVII.1. Composición del estrato arbóreo en estado adulto de bosques de *T. articulata* con *P. halepensis* en función de la calidad de estación.

Estación	Especie favorable	Densidad objetivo (pies ha ⁻¹)		
		<i>P. halepensis</i>	<i>T. articulata</i>	Total
Umbria, suelos más profundos	<i>P. halepensis</i>	450 - 600	50 - 100	500 - 700
Transición entre estaciones	<i>P. halepensis</i> / <i>T. articulata</i>	200 - 250	200 - 250	400 - 500
Solanas, suelos más pedregosos	<i>T. articulata</i>	25 - 75	125 - 325	150 - 400

2. Gestión de masas mixtas de *T. articulata* y *P. halepensis*. Experiencia del incendio ocurrido en 2011 en la Peña del Águila

2.1. Caracterización ambiental de la zona de restauración

Las poblaciones de *T. articulata* localizadas en la Peña del Águila resultaron gravemente afectadas por un incendio ocurrido el 18 de agosto de 2011, que afectó a 381,4 ha y aproximadamente a un 25% de los individuos de *T. articulata* de toda la Región de Murcia (~ 2500 individuos) (figura XVII.2). El 83,8% de la superficie afectada por el incendio estaba dentro del perímetro del Parque Regional de “Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila” constituyendo uno de los incendios más importantes ocurridos en la Región de Murcia en los últimos 20 años debido a la superficie y a la importancia natural de la zona afectada. Cabe destacar, además, que parte de la superficie afectada ya se había quemado en la década de los 90 en incendios ocurridos en 1992 y 1998 (figura XVII.2).

2.2. Actuaciones de restauración

2.2.1 Planificación

Ante el grave daño originado por el incendio de 2011 en el hábitat de *T. articulata*, el Servicio de Gestión y Protección Forestal de la, entonces, Dirección General de Medio Ambiente de la Consejería de Presidencia de la Región de Murcia desarrolló un plan de actuaciones de urgencia en la superficie afectada donde se distribuía *T. articulata*. En el marco de este plan, se llevaron a cabo cinco proyectos independientes cuyo

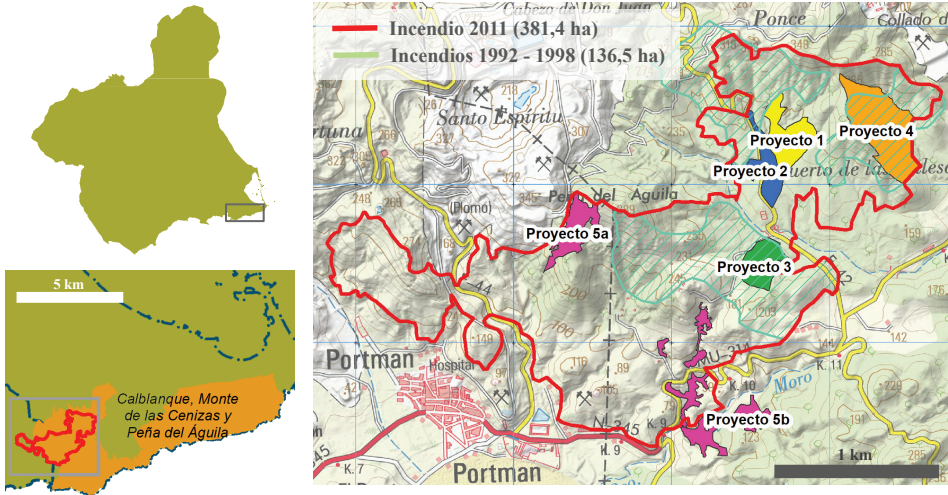


Figura XVII.2. Perímetro de los incendios ocurridos en los últimos 30 años en el área de distribución del *T. articulata* dentro de Parque Regional de “Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila”. Localización de los cinco proyectos y principales actuaciones puestas en marcha para la gestión de masas de *T. articulata* tras el incendio de 2011.

principal objetivo era facilitar la repoblación tras el incendio y asegurar la conservación de las poblaciones de esta especie. En los cinco proyectos se programaron actuaciones orientadas en tres líneas principales: i) la corta de pies afectados por el fuego y la creación de formaciones biológicas para el control de la erosión; ii) el refuerzo poblacional de las especies clave del hábitat 9570*; y iii) el control de la competencia entre *T. articulata* y *P. halepensis*. Los rodales de todos los proyectos estaban dentro del perímetro del incendio, a excepción del Proyecto 5, que incorporó dos rodales localizados fuera de esa zona y en los que se realizó el control de la competencia entre *T. articulata* y *P. halepensis* en masas no afectadas por el incendio (figura XVII.2; Proyecto 5b). En la tabla XVII.2 se recogen las principales actuaciones realizadas en el marco de cada proyecto y, para las actuaciones de refuerzo poblacional, se especifica la densidad aplicada, el número de plántulas y el número de marras inventariadas. Cabe destacar que en el Proyecto 5 no hubo seguimiento de marras y, por tanto, no se dispone de esos datos.

Con motivo de los trabajos de planificación, redacción y ejecución que se desarrollaron entre los años 2012 y 2014, fueron numerosas las lecciones aprendidas sobre el manejo de este hábitat. Una muestra de las lecciones aprendidas que deben incorporarse en la gestión se expone a continuación en este capítulo.

2.2.2. Corta de pies afectados por el fuego y control de la erosión

Con posterioridad al incendio de 2011, se procedió a la corta de los pies de *P. halepensis* afectados por el fuego, generando con el material cortado fajas distribuidas por curvas de nivel, albarradas en cárcavas o barrancos (figuras XVII.3 y XVII.4).

Tabla XVII.2. Superficie, tipo de actuación y características de la plantación efectuada en los cinco proyectos puestos en marcha para la gestión de masas de *T. articulata* tras el incendio de 2011 en Peña del Águila.

Proyecto	Superficie (ha)	Actuación	Densidad de plantación (pies ha ⁻¹)	Nº plántulas	Nº marras
1	8,1	Corta de pies secos Control de la erosión Refuerzo poblacional	400	3260	2432
2	6,4		320	2048	1527
3	6,0		300	4563	1652
4	17,3		140	2486	1445
5a	11,0		360	3805	--
5b	6,0	Control de la competencia			

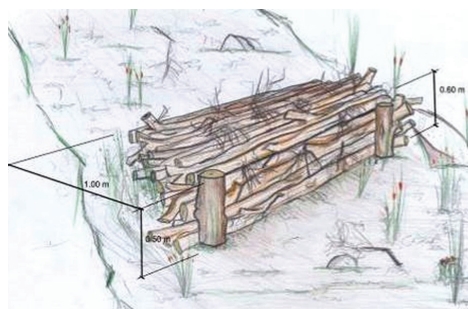


Figura XVII.3. Ejemplo de tramo de formación de fajina por curvas de nivel, aprovechando los restos vegetales afectados por el fuego y los fustes de los árboles existentes.



Figura XVII.4. Desarrollo de trabajos de corta de arbolado afectado por el incendio de 2011 de Peña del Águila. Formación de fajinas por curvas de nivel y albarradas en cárcavas o barrancos (foto: E Jordán González).

Estas actuaciones tienen ventajas desde el punto de vista del control de la erosión, paisajístico y práctico de la gestión (ver también caso práctico XIV). En primer lugar, la creación de fajinas fomenta la reducción de la pérdida de suelo, aumenta la infiltración de agua en el suelo y facilita el desarrollo de la vegetación en la fase posincendio. Por otro lado, los árboles quemados generan, a menudo, un impacto visual negativo para los visitantes de los espacios protegidos, y el Parque Regional de Calblanque es un espacio costero que recibe miles de visitas anualmente. En ese sentido, la eliminación de pies quemados tuvo, además, un efecto paisajístico positivo. Finalmente, desde el punto de vista práctico, el desarrollo de estos trabajos es fundamental para facilitar la posterior gestión de la regeneración. En caso de no realizar los trabajos de eliminación de la vegetación quemada y la gestión de los restos vegetales, los árboles muertos acaban cayendo por efecto del viento y por la degradación de la madera, proceso que se prolonga durante dos o tres años. La caída aleatoria y desordenada de árboles secos daña la regeneración natural de las especies de interés, dificulta las labores de control de la regeneración natural de *P. halepensis* y genera áreas inaccesibles para realizar repoblaciones orientadas a la diversificación de hábitats.

2.2.3. Refuerzo poblacional de las especies clave de formaciones de *T. articulata*

En los proyectos realizados en la Peña del Águila, se hizo un refuerzo poblacional en todos los rodales localizados dentro del perímetro de la zona de actuación. El refuerzo poblacional consistió en la plantación de plántulas de *T. articulata* y de especies de matorral de su cortejo florístico como *C. humilis*, *O. europaea* var. *sylvestris*, *R. alaternus* y *R. lycioides*. Se excluyó a *P. halepensis* ya que la regeneración posincendio estaba asegurada, considerando el banco de semillas existente. La densidad de plantación y la proporción de cada especie incorporada en cada proyecto fue diferente, variando entre los 140 y los 400 pies ha⁻¹ (tabla XVII.2).

De manera general, el refuerzo poblacional debe considerar las características de la masa inicial, la idoneidad de la estación, la estrategia de gestión de la competencia entre *T. articulata* y *P. halepensis* y la disponibilidad de suelo.

El método de repoblación empleado para el establecimiento de las especies que integran el hábitat 9570* fue la plantación. De hecho, los autores desconocen experiencias de éxito de repoblación *T. articulata* por siembra. La facultad germinativa de las semillas es del 50-60% (Alía *et al.* 2009), por lo que, teóricamente, el empleo de 50 a 100 semillas en cada punto de introducción podría ser suficiente para garantizar la emergencia de una plántula. No obstante, la predación de las semillas o la falta de humedad supone una limitación importante para el desarrollo de los brinzales de *T. articulata*.

El tratamiento de la vegetación preexistente es necesario en áreas con alta densidad de arbolado. Esto ocurre cuando se quiere fomentar la representatividad de *T. articulata* y sus especies acompañantes en zonas ocupadas por formaciones densas de pinar. En ese caso, es preciso abrir huecos que garanticen a corto plazo la entrada de luz que necesitan las plántulas de *T. articulata*, y a largo plazo que favorezcan una baja competencia interespecífica con los pies de *P. halepensis*. La superficie afectada por este tratamiento previo dependerá de la disponibilidad y de las características del hábitat para las especies a introducir, pero también de la altura de la vegetación circundante objeto de eliminación.

Para definir el tamaño de los huecos, se debe tener en cuenta el sombreado generado por la vegetación circundante y las necesidades de la nueva vegetación que se va a introducir. Como medida práctica, resulta adecuado generar oquedades con un diámetro igual a la suma de dos veces la altura de la vegetación circundante (variable entre 6 y 14 m), más dos veces la altura de *T. articulata* en estado adulto (8 m). Por ejemplo, en el caso de disponer de un vuelo arbóreo de *P. halepensis* de 8 m de altura de copa, el diámetro objetivo a conseguir es 32 m, lo que equivale a un tamaño de hueco de 804 m² (Tabla XVII.3).

Tabla XVII.3. Referencia práctica en la apertura de oquedades en pinar para el refuerzo poblacional de *T. articulata*.

Altura del arbolado colindante (m)	Diámetro de referencia para el tratamiento vegetación arbórea (m)	Dimensión de hueco para refuerzo poblacional (m ²)
6	28	616
8	32	804
10	36	1018
12	40	1257
14	44	1520

La preparación del suelo más frecuente para el establecimiento de plantaciones de sabina de Cartagena es el ahoyado. En el caso de terrenos con pendientes menores del 30% y de baja pedregosidad, la preparación del suelo puede realizarse con retroexcavadora. Este trabajo se hace respetando los ejemplares ya existentes de *T. articulata* o de las especies de su cortejo, prestando especial atención para evitar dañar individuos que tengan posibilidad de regenerarse mediante rebrote tras el incendio. En el caso de terrenos con pendientes mayores del 30% o en zonas donde dominan los suelos esqueléticos, el ahoyado se realiza con pico mecánico. En cualquier caso, es imprescindible la remoción del terreno en un volumen de 40 × 40 cm en coronación y 30 × 30 cm en su base, con una profundidad mínima de 30 cm. Esta preparación debe rematarse con microcuencas que faciliten la recogida del agua de lluvia, para mejorar el arraigo de la plántula que hospede el hoyo.

El diseño de la plantación puede ajustarse a un marco regular, con una densidad inicial de 500 plantas por hectárea, a una distancia aproximada de 4-5 m (tabla XVII.4). No obstante, resulta difícil adoptar marcos regulares, ya que la presencia de afloramientos de roca, individuos o bosquetes de *T. articulata*, *P. halepensis* o de especies de su cortejo pueden dificultar el replanteo de un marco regular. No obstante, esta irregularidad reduce el impacto paisajístico. En el hábitat de *T. articulata*, es frecuente encontrar superficies con abundante pedregosidad, por lo que deben buscarse bolsas de suelo para realizar la preparación del terreno y garantizar el desarrollo de la plantación. En otros casos, es necesario establecer el refuerzo poblacional en huecos existentes de forma natural o realizados de forma artificial dentro el propio pinar. Esta metodología de trabajo origina una distribución irregular de las plantas, que puede dar lugar a agrupaciones o bosquetes de *T. articulata* acompañado de las especies de su cortejo.

Tabla XVII.4. Propuesta de uso de especies para el refuerzo poblacional del hábitat 9570* de bosques de *T. articulata*.

Especie	Proporción (%)	Densidad de la introducción (plantas ha ⁻¹)
<i>Tetraclinis articulata</i>	45	225
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>	9	45
<i>Pistacia lentiscus</i>	9	45
<i>Chamaerops humilis</i>	9	45
<i>Rhamnus lycioides</i>	9	45
<i>Rhamnus alaternus</i>	7	35
<i>Phillyrea angustifolia</i>	7	35
<i>Maytenus senegalensis</i>	5	25
Total especies	100	500

La elección de especies está condicionada al estudio previo de la zona de actuación, inventariando las que se encuentran presentes y definiendo los objetivos de refuerzo poblacional para cada una de las especies objetivo de la restauración (tabla XVII.4).

En cuanto a la época de plantación, los trabajos se inician a principios de noviembre, coincidiendo con la bajada de temperaturas, y se prolongan hasta finales del mes de diciembre. De esta manera se aprovechan las lluvias otoñales y la planta arraiga antes de la llegada del período estival. La precipitación en los meses de enero y febrero suele ser escasa, por lo que se desaconseja plantar en estas fechas.

Como trabajos complementarios a la plantación, es conveniente la instalación de protectores verticales para evitar los daños por parte de los herbívoros. Durante los últimos años se está incrementando la población de conejo silvestre, que ocasionan daños sobre todo en las proximidades a los cultivos.

Los riegos de apoyo se consideran necesarios debido a que la precipitación anual del hábitat natural de *T. articulata* ronda los 250 mm al año, pudiendo ser inferior a los 200 mm en años secos. Por este motivo, se aconseja la aplicación de dos riegos durante el primer año para facilitar el arraigo de las plantas introducidas, siempre y cuando sea técnicamente viable.

La reposición de marras es una de las tareas más habituales en los refuerzos poblacionales de *T. articulata*. Como ejemplo, se ofrecen los resultados de los inventarios de marras en los proyectos realizados en la zona del incendio del año 2011 (figura XVII.2). Mientras que las plantaciones se realizaron en otoño de 2012 (zonas 1, 2 y 3) y de 2013 (zona 4), los inventarios de marras se realizaron a finales

de septiembre de 2014. En el año hidrológico del 1 de octubre de 2013 al 30 de septiembre de 2014, se contabilizaron tan sólo 147,5 mm de precipitación. Esta escasez de precipitación explica la muerte del 70% de *T. articulata*, debiendo recurrir a la reposición de marras en otoño de 2014 (tabla XVII.5).

Tabla XVII.5. Resultados de conteo de marras en las cuatro zonas de seguimiento de refuerzo poblacional de emergencia sobre el área incendiada en 2011 en el Parque Regional de Calblanque.

Especie	Marras (%)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Media
<i>Tetraclinis articulata</i>	61	78	57	85	70
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>	50	85	92	20	62
<i>Pistacia lentiscus</i>	77	92	33	50	63
<i>Rhamnus alaternus</i>	41	10	-	80	44
<i>Rhamnus lycioides</i>	61	-	70	50	60

2.2.4. Control de competencia de *T. articulata* y *P. halepensis*

Entre las actuaciones que se realizaron tras el incendio de 2011 en Peña del Águila (tabla XVII.2) no se programaron actuaciones de control de la competencia entre *T. articulata* y *P. halepensis*. No obstante, los incendios forestales suponen un grave problema en el área de distribución de masas mixtas de *T. articulata* y *P. halepensis*, principalmente por la mejor germinación de las semillas de *P. halepensis* tras el paso del fuego.

Esta dinámica competitiva se observa claramente en los procesos de regeneración natural que se desarrollaron tras los incendios que tuvieron lugar 1992 y 1998 en los parajes conocidos como El Collado del Mosquito o Collado de la Rebollada y Huerta Calesa en la orientación sur-sudeste de Peña del Águila (figura XVII.1), donde aparecen poblaciones adultas de *P. halepensis* y *T. articulata*. El pino carrasco contaba con un banco de semillas aéreo muy abundante en el momento del incendio, lo que produjo una regeneración natural con densidades que llegaron a superar los 50000 pies ha⁻¹ (figura XVII.5). Con esta densidad, la regeneración de las poblaciones de *T. articulata* quedaron muy mermadas, tanto la regeneración por semilla como los rebrotes de las cepas existentes.

Dentro de las actuaciones realizadas tras el incendio de 2011 en Peña del Águila, se realizaron actuaciones de control de la competencia de masas de *T. articulata* y *P. halepensis* en dos rodales de masas no incendiadas (figura XVII.2; Proyecto 5b). Estos rodales se ubican geográficamente en el margen izquierdo del Barranco del Moro.

El objetivo de esta actuación fue promover el establecimiento de una masa mixta que, de acuerdo con la calidad de estación, debe estar representada por, aproximadamente, 100 pies ha⁻¹ de *T. articulata* y 500 pies ha⁻¹ de *P. halepensis*, garantizando, además, el vigor de las especies del cortejo. Lo más recomendable en estas circunstancias es realizar claros



Figura XVII.5. Regeneración natural de *P. halepensis* con una densidad que supera los 50000 pies ha⁻¹. Camino que comunica el Collado del Mosquito con El Lirio, afectada por el incendio de 1998 (foto: E Jordán González).

tempranos en las masas de *P. halepensis*, eliminando el exceso de regenerado y liberando de competencia los pies de *T. articulata*. Como objetivo, se podrían dejar entre 1000 y 1200 pies ha⁻¹ tras la ejecución de la primera intervención. A la edad de 12-15 años se puede llevar a cabo un clareo para rebajar la densidad a 700-800 pies ha⁻¹; y a la edad de 30-35 años, claras para dejar una densidad final comprendía entre 450 y 600 pies ha⁻¹ de pinar.

Según se indica en publicaciones recientes, los clareos en masas de pinar han fomentado el incremento de pies maduros de *T. articulata*, activando el establecimiento de brinzales en zonas donde antes no existían (Esteve Selma *et al.* 2019).

3. Plantaciones de *T. articulata* orientada a su regeneración

Desde el descubrimiento de los rodales de sabina de Cartagena en el siglo XX, *T. articulata* se ha utilizado como una especie idónea para realizar repoblaciones forestales en ecosistemas áridos del Mediterráneo (Ruiz de la Torre *et al.* 2006). Son varias, por tanto, las plantaciones realizadas fuera del área de distribución natural de la especie, y que han dado lugar a poblaciones de la especie. Nunca tuvieron como objetivo, probablemente, contribuir a la adaptación de estos sistemas forestales al cambio climático pero, sin duda, el conjunto de plantaciones ya establecidas constituyen, a día de hoy, poblaciones de varias edades, cuyo seguimiento e investigación son de gran interés. Así, en varias repoblaciones de *T. articulata* realizadas en la Región de Murcia se han observado elementos interesantes que ratifican la idoneidad de *T. articulata* para repoblaciones forestales dentro de estrategias de adaptación al cambio climático.

3.1. Ejemplos de plantaciones de *T. articulata*

El primer ejemplo se encuentra en Sierra Espuña, donde se realizaron repoblaciones de *T. articulata* hace más de 100 años (1902-1903) en las localizaciones de Huerta Espuña y La Perdiz. La regeneración natural de la especie no parecía efectiva hasta las dos últimas décadas, cuando se ha visto una explosión demográfica de la especie, con tasas de crecimiento superiores al 67%. El comienzo de la producción de semilla viable es frecuente a partir de los 20 años, por lo que este cambio en la dinámica demográfica parece estar relacionado con los

cambios recientes del clima, que han facilitado la reproducción efectiva de la especie en un ambiente más propicio y cercano a su área de distribución natural (Esteve Selma *et al.* 2018).

Otra referencia es la plantación de *T. articulata* que se realizó en el año 1991 en el monte Campico Peñuelas (término municipal de Lorca), ubicado en la orientación sur de la Sierra de la Almenara. En esta localización se mezclan *P. halepensis* y *T. articulata* en una superficie de aproximadamente 10 ha. Transcurridos 29 años desde la plantación, ya se observa fructificación en algunos pies, aunque no existe constancia de que se haya producido regeneración natural hasta la fecha (figura XVII.6).

En otro monte de Lorca denominado Casa del Pino, ubicado en la Sierra de la Torrecilla, existe una pequeña plantación de 12 ejemplares de *T. articulata* en exposición de solana. Durante la grave sequía ocurrida entre los años 2013 y 2016, se realizó un seguimiento de los pies de *P. halepensis*. El resultado mostró que el 44% de los pies de esta especie en exposición de solana y el 23% de los pies de exposición de umbría no pudieron superar la grave sequía. En contraste con estos resultados, ninguno de los ejemplares de *T. articulata* resultó afectado por este evento climático (figura XVII.7), quedando patente la resistencia de esta especie ante fenómenos de embolia xilemática y de estrés hídrico (Oliveras *et al.* 2003).



Figura XVII.6. Pie de *T. articulata* procedente de plantación en el año 1991 en el monte Campico Peñuelas (Lorca), con fructificación en primavera de 2020 (foto: E Jordán González).



Figura XVII.7. Aspecto del estado de repoblaciones de *T. articulata* (en primer plano) y repoblaciones de *P. halepensis* (en último plano) con un 44% de mortalidad en solana tras la sequía de 2013-2016 en junio de 2016 (E Jordán González).

4. Conclusiones

T. articulata es una especie que estuvo a punto de desaparecer en la década de los años 50 del siglo XX. Aunque la presión antrópica continuó debido al pastoreo, el uso de la madera y leñas o la minería, durante las últimas décadas se ha observado una recuperación de sus poblaciones. Las figuras de protección de su área de distribución como Lugar de Interés Comunitario de la Red Natura 2000 y Espacio Natural Protegido, han otorgado garantías adicionales de conservación de esta especie que forma parte del hábitat 9570* de bosques de *T. articulata*. En la actualidad se dispone de una población que ronda los 10000 ejemplares, extendiéndose por aproximadamente 1200 ha de terrenos forestales entre los municipios de Cartagena y La Unión. Una de las principales amenazas de *T. articulata* son los reiterados incendios forestales, que durante las últimas tres décadas han afectado a superficies de masas mixtas de *T. articulata* y *P. halepensis*.

Entre los años 2014 y 2019 se ha desarrollado el proyecto LIFE 13T/ES/000436, denominado *Conservation of habitat '9570 * Tetraclinis articulata forest' in the European Continent*. Este proyecto europeo ha supuesto un hito en la gestión de la especie para el desarrollo de acciones para su conservación, custodia del territorio y mejora del conocimiento sobre el manejo de este hábitat de enorme interés para la biodiversidad. La identificación de especies idóneas para el refuerzo poblacional es capital para el desarrollo efectivo de estrategias de adaptación al cambio climático, y *T. articulata* representa una especie clave para fomentar la resiliencia de los bosques semiáridos de la cuenca Mediterránea. Resulta fundamental, por tanto, ampliar los conocimientos disponibles sobre la ecología de la especie, con investigaciones complementarias sobre la potencialidad de su uso en trabajos de restauración, biología de la reproducción y regeneración natural fuera del hábitat natural, afección por plagas y enfermedades o problemas de competencia interespecífica en aquellos territorios donde se requiera su uso. Algunas de las poblaciones de origen antrópico, como las de Campico Peñuelas en la Solana de la Sierra de la Almenara en Lorca o las del paraje de La Perdiz en Sierra Espuña constituyen en la actualidad importantes laboratorios que permiten el seguimiento y la generación de conocimiento que permita mejorar las poblaciones de esta especie en su hábitat original, y garantizar el uso de la misma integrada en soluciones para la adaptación de los sistemas forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alía R, Mancha JA, de Ron DS, Barba D, Climent J, del Barrio JMG, Notivol E, Iglesias S (2009) Las regiones de procedencia de las especies forestales en Europa. *Foresta* 64:44–48
- Banos-González I, Páez PB (2013) Portmán: de el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la Bahía aterrada. Ed. EDITUM, Murcia
- Calama R, González MS, Garchi S, Ammari Y, de Viñas ICR, Tahar S (2012) Towards the sustainable management of thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl.) Mast.) forests in Tunisia: models for main tree attributes. *Forest systems* 21:210–217
- Esteve MA (2009) 9570 Bosques de *Tetraclinis articulata*. En: VVAA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid
- Esteve Selma MA, Hernández I, Chaparro J, Gallego D, Martínez-Fernández J (2018) Respuesta de los Bosques de Sierra Espuña ante el cambio climático. (documento inédito)

- Esteve Selma MA, Moya Pérez JM, Navarro Cano JA (2019) Manual de evaluación y gestión del hábitat 9570*: Bosques de *Tetraclinis articulata*. Ed. Dirección General del Medio Natural, Murcia
- Esteve-Selma MA, Martínez-Fernández J, Hernández I, Montávez JP, Lopez JJ, Calvo JF, Robledano F (2010) Effects of climatic change on the distribution and conservation of Mediterranean forests: the case of *Tetraclinis articulata* in the Iberian Peninsula. *Biodivers Conserv* 19:3809–3825
- Esteve-Selma MA, Martínez-Fernández J, Hernández-García I, Montávez JP, López-Hernández JJ, Calvo JF (2012). Potential effects of climatic change on the distribution of *Tetraclinis articulata*, an endemic tree from arid Mediterranean ecosystems. *Clim Change* 113:663–678
- Nicolás MJ, Selma MÁE, Palazón JA, Hernández JLL (2004). Modelo sobre las preferencias de hábitat a escala local de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters en una población del límite septentrional de su área de distribución. En: *Anales de Biología*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, pp. 117–155
- Oliveras I, Martínez-Vilalta J, Jimenez-Ortiz T, Lledó MJ, Escarré A, Piñol J (2003) Hydraulic properties of *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Tetraclinis articulata* in a dune ecosystem of Eastern Spain. *Plant Ecol* 169:31-141
- Rigual A, Esteve F (1953) Algunas anotaciones sobre los últimos ejemplares de *Callitris quadrivalvis* Vent. en la Sierra de Cartagena. *Anales Jard Bot Madrid* 437–477
- Ruiz de la Torre J (2006) Flora mayor. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid
- Sghaier T, Sanchez-Gonzalez M, Garchi S, Ammari Y, Canellas I, Calama R (2015) Developing a stand-based growth and yield model for *Thuya* (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast) in Tunisia. *iForest* 9:79-88

Colaboran

