



PROGRAMA NACIONAL DE MEJORA Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE LA ENCINA Y EL ALCORNOQUE FRENTE AL SÍNDROME DE LA SECA

ANTECEDENTES

En las últimas décadas del siglo XX, se empezó a observar en España la aparición de un número elevado de ejemplares de encinas y alcornoques vegetando con dificultad y que, con frecuencia, acababan muriendo. Esta situación se englobó bajo el término “seca”, representando un estado del arbolado en el que, sin entrar a determinar su origen, se aprecia un deterioro del mismo que puede acabar en su muerte. Con el paso del tiempo, “*La Seca de los Quercus*” se ha convertido en un término coloquial asociado a un tipo de daño que afecta al arbolado de las dehesas y otros montes de *Quercus* (alcornocales y encinares densos) y que se caracteriza por mostrar un desarrollo vegetativo deficiente, lánguido, moribundo que, llegado el caso, origina la muerte de los árboles.



Foto1; *Diferente grado de afección; decaimiento progresivo, muerte súbita, defoliación total.*

Este progresivo deterioro y muerte de árboles, junto con la falta de regeneración del arbolado, son motivos de honda preocupación social en el ámbito del área de distribución de los encinares y alcornocales, especialmente en el Suroeste de la Península Ibérica. En respuesta a este grave problema la Administración General del Estado (AGE) promovió la creación de un grupo de trabajo en el año 2017 en el que están representados tanto la AGE, como coordinadora del mismo, como las comunidades autónomas más afectadas, así como los organismos de investigación y universidades que llevan estudiando este síndrome desde hace tiempo. El objetivo del grupo de trabajo es, no solo profundizar en el conocimiento, sino además promover actuaciones concretas y prácticas que intenten poner freno a este complejo y grave problema. Para ello se propuso la creación de los siguientes **tres subgrupos**:

1. Inventario y seguimiento de focos de seca.
2. Mejora genética y fisiológica.
3. Gestión.

El **subgrupo 2, “Mejora genética y fisiológica”**, está coordinado por la S.G. de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación y se constituyó dada a la importancia que tiene, en el síndrome de *La Seca*, la podredumbre radical asociada principalmente a oomicetos del género *Phytophthora*, sobre todo *Phytophthora cinnamomi*, pero también a diferentes especies del género *Pythium*. En este sentido el subgrupo tiene como cometido la puesta en común de las diferentes líneas y enfoques de mejora

genética, en base a los resultados de trabajos de investigación previos en el ámbito de la selección de materiales vegetales de encina y alcornoque en los que se ha podido demostrar, a través de ensayos, su mayor tolerancia a *Phytophthora*. Para llevar a cabo dicha conservación y mejora genética, era necesario apoyarse, también, en los conocimientos y técnicas asociados a la fitopatología, multiómica (genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica) y la multiplicación de material vegetal (incluyendo la micropropagación). Por tanto, constituyeron este subgrupo las siguientes instituciones, de acuerdo con sus competencias y experiencia en todos estos ámbitos:

1. Administración General del Estado (Área de Recursos Genéticos Forestales).
2. Junta de Andalucía (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible).
3. Junta de Extremadura (Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio).
4. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha (Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural).
5. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX).
6. TRAGSA (I+D G. Nuevas Tecnologías / Vivero Maceda).
7. Universidad de Córdoba (UCO). Equipo de Bioquímica, Proteómica y Biología de Sistemas Vegetal y Agroforestal.
8. Universidad de Córdoba (UCO). Equipo de Evaluación y Restauración de Sistemas Agrícolas y Forestales (ERSAF).
9. Universidad de Extremadura (Instituto de la Investigación de la Dehesa – INDEHESA, Grupo de Investigación Forestal).
10. Universidad de Huelva (UHU) – Grupo de Investigación Análisis y Planificación del Medio Natural.
11. Universidad Politécnica de Madrid (UPM) – Universidad Complutense de Madrid (UCM).
12. Universidad de Valencia (UV). Grupo BIOFORA (Biotecnología aplicada a especies con interés forestal), Departamento de Biología Vegetal:
13. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) – Departamento de Investigación Agroambiental.
14. Misión Biológica de Galicia (MBG - CSIC) Grupo de Biotecnología y Mejora Forestal.
15. Centro de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (CIFOR-INIA) – Grupo de Investigación Genética y Ecofisiología Forestal.

En las reuniones mantenidas por este subgrupo, y tras analizar todas las investigaciones y resultados disponibles, se constató la necesidad de iniciar un **PROGRAMA NACIONAL** coordinado a largo plazo para la conservación y mejora de los recursos genéticos de encina y alcornoque, con el objetivo (o carácter de selección) de resistencia a *Phytophthora cinnamomi* combinado con la tolerancia a la sequía de forma complementaria.

Este grupo está coordinado y gestionado por la Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación del actual Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico y el objetivo final es obtener materiales tolerantes a la podredumbre radical provocada por este patógeno, que puedan utilizarse para restaurar zonas afectadas por *La Seca* en un futuro próximo.

Los aspectos que se tuvieron en cuenta para el diseño del programa nacional de mejora y conservación de los recursos genéticos de la encina y el alcornoque frente al síndrome de *La Seca* fueron los siguientes:

- Se ha comprobado que la relación entre la resistencia de los árboles en campo (árboles escape) y la resistencia de las progenies en ensayos de invernadero es baja (<5%).
- La heredabilidad (sentido amplio) de la resistencia a *Phytophthora cinnamomi* es alta en las condiciones de invernadero.
- La existencia de árboles ya evaluados por su tolerancia/resistencia a *Phytophthora cinnamomi* y al estrés hídrico.
- La existencia de métodos de propagación eficaces por cultivo *in vitro*, tanto para árboles adultos como para árboles jóvenes. Estas actividades se han enfocado a árboles ya evaluados y con posibilidad de ser catalogados como material de base para la obtención de material de reproducción.

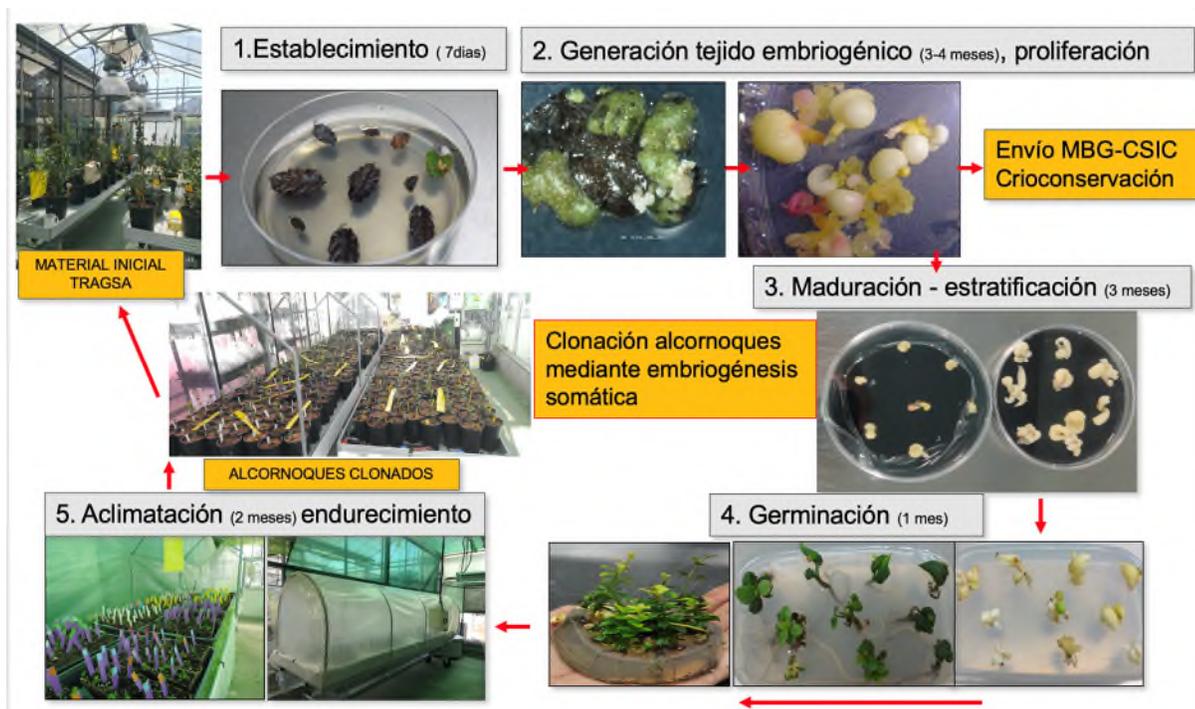


Figura 1. Esquema fases de propagación clonal mediante embriogénesis somática, de progenies de alcornoque tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* y a la sequía.

- El uso de técnicas eficaces de injertado.



Foto 2; Injertos de *Quercus sp.* sobre *Quercus sp.* en fase de vivero.

- La existencia de estudios sobre marcadores moleculares de DNA, microsatélites, genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica relacionados con la resistencia en campo a *La Seca*, que podrían aportar información para la caracterización de los individuos resistentes como posibles herramientas de selección precoz en plántulas jóvenes.

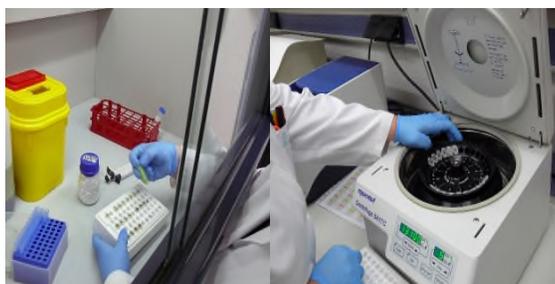


Foto 3; Extracción de ADN genómico en el laboratorio de hojas liofilizadas de *Quercus ilex* y *Q. suber* siguiendo el protocolo de QIAGEN.

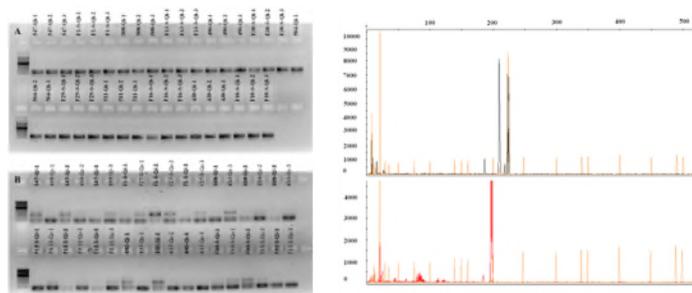


Foto 4; PCR obtenidas con el marcador cloroplástico CmCs9 (A) y el marcador nuclear MSQ13 (B).

Foto 5; Electroferogramas obtenidos por electroforesis capilar.

OBJETIVOS BÁSICOS

La puesta en marcha del **programa nacional de mejora y conservación de los recursos genéticos de la encina y el alcornoque frente al síndrome de “La Seca”** se basó en los siguientes objetivos principales:

1. Evaluar la tolerancia de las distintas especies a lo largo de sus áreas de distribución con objeto de mejorar la estrategia de manejo de la variabilidad intraespecífica en el Programa.
2. Seleccionar individuos tolerantes para la instalación de huertos semilleros en cada una de las regiones de procedencia consideradas importantes para las dos especies, lo que constituye una mejora genética de baja intensidad con amplia diversidad genética y cubriría las necesidades más habituales del sector forestal. Además, estos individuos serán la base para un siguiente ciclo de mejora.



Foto 6; *Encina* (HU1028-#12) y *alcornoque* (CA1508A-S1) seleccionados como candidatos a árboles escape.

3. Seleccionar y propagar vegetativamente individuos altamente tolerantes a *Phytophthora cinnamomi*/sequía para la producción de clones o mezclas de clones para una mejora genética de alta intensidad y que cubra otros usos más exigentes (portainjertos para las plantaciones de producción intensiva de bellotas).

PRINCIPIOS ORIENTADORES

El programa contempla líneas para la mejora no intensiva que preserven la diversidad de los recursos genéticos de la encina y el alcornoque y tener en cuenta los requisitos establecidos en la legislación sobre comercialización de materiales forestales de reproducción (MFR). Se procurará la obtención de materiales de base para la producción de MFR de la categoría <<controlado>>, y en el caso de que no sea posible se propondrá su autorización temporal en la categoría <<cualificado>>.

El programa debe servir para profundizar en el conocimiento de aquellos aspectos esenciales del funcionamiento de esta patología sobre las dos especies (*Quercus ilex* y *Quercus suber*) y que aún no se conocen en su totalidad, con objeto de avanzar en la mejora genética a largo plazo.

Se han establecido zonas de mejora objetivo en función de las regiones de procedencia de ambas especies y sus futuras zonas de utilización, teniendo en cuenta la idoneidad bioclimática de éstas. Para *Quercus ilex* la zona de mejora se corresponde con la región 11 (Extremadura). Para *Quercus suber* se han propuesto dos zonas de mejora: la primera abarcaría las regiones 1 (Norte de Cáceres-Salamanca), 2 (Sierra de San Pedro), 3 (Montes de Toledo-Villuercas), 5 (Sierra Morena Oriental) y G (Valle del Tiétar) y la segunda, las regiones de procedencia 6 (Litoral Onubense – Bajo Guadalquivir) y 7 (Parque de los Alcornocales-Serranía de Ronda).

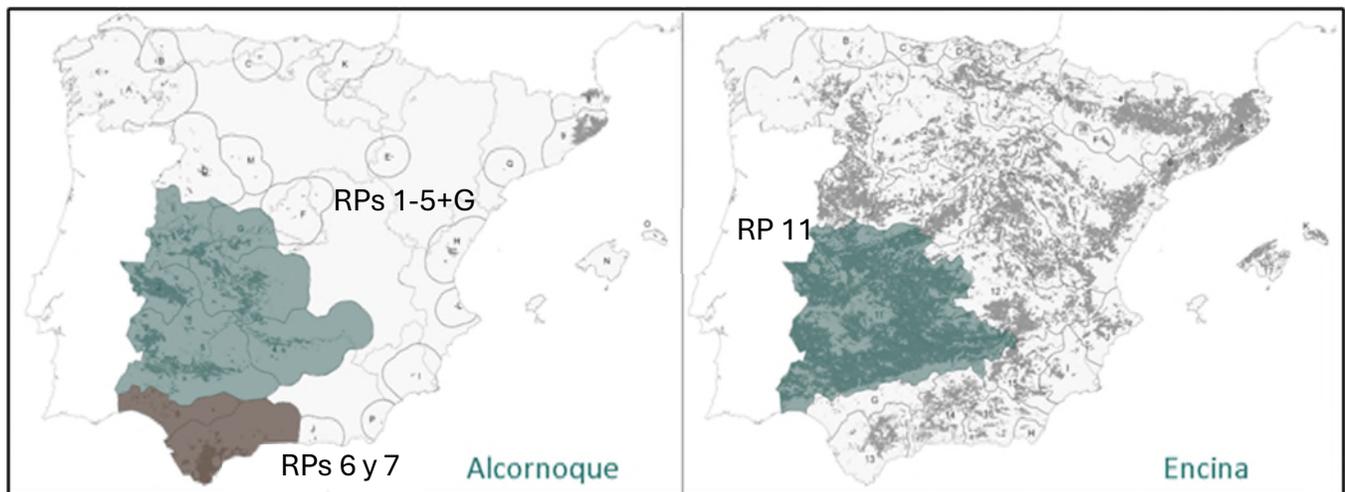


Figura 2. Zonas de mejora del programa para alcornoque y para encina.

Una estrategia no intensiva y de bajo coste podría ser la instalación de huertos semilleros (con un mínimo de 50 individuos seleccionados por huerto) en cada zona de mejora.

Para la estrategia intensiva, se pretende conseguir una variedad sintética por especie, consistente en clones o mezclas de clones (se recomienda que haya unos 20 clones por especie) que permitan establecer plantaciones más resistentes. Esta variedad, constituida por los individuos más resistentes, no estaría limitada a una región de procedencia, pudiendo ser de amplio uso (variedad comercial).

DESARROLLO DEL PROGRAMA NACIONAL

Para el desarrollo del “Programa Nacional de Mejora y Conservación de los Recursos Genéticos de la Encina y el Alcornoque Frente al Síndrome de la Seca” la AGE dedicó un presupuesto de DOS MILLONES DOSCIENTOS NOVENTA Y NUEVE MIL NOVECIENTOS SETENTA Y SEIS Euros NOVENTA Y CINCO Céntimos (2.299.976,95 €) que se ha desarrollado entre octubre de 2019 y septiembre de 2024 con las siguientes actuaciones:

1. Caracterización, identificación y selección de árboles escape en focos de seca.
2. Caracterización e identificación de árboles para el estudio de variabilidad poblacional.
3. Propagación de los árboles escape en focos de seca y del estudio de variabilidad poblacional.
4. Ensayos de tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* en vivero y evaluación del sistema radicular.
5. Propagación clonal de genotipos con progenies tolerantes y de las propias progenies y crioconservación del material.
6. Ensayos de confirmación de tolerancia y desarrollo de un test de tolerancia in vitro.
7. Evaluación de los materiales tolerantes como portainjertos.
8. Búsqueda de marcadores moleculares de respuesta y tolerancia a la seca.
9. Análisis del componente biológico del suelo.
10. Ensayos de tolerancia en campo.
11. Instalación de poblaciones de mejora y plantación de materiales de base.
12. Autorización de materiales de base para la producción de materiales forestales de reproducción.

Una vez finalizadas las actividades previstas en la **Primera Fase del Programa Nacional** se constata que en esta se avanzó considerablemente en la selección de progenitores para el programa, en la caracterización de su variabilidad poblacional, de su tolerancia a la enfermedad, en su clonación, en el desarrollo de marcadores moleculares para la selección asistida y para la identificación, en el conocimiento del componente biológico del suelo que acompaña a los árboles tolerantes a la enfermedad, en el establecimiento en campo de ensayos de tolerancia....

Ya, en 2023, el subgrupo “mejora genética y fisiológica frente a la seca”, quedó integrado en el “Grupo de trabajo de mejora genética de Quercus mediterráneos”, creado en el seno del Comité para la mejora y conservación de recursos genéticos forestales, regulado por Real Decreto 1424/2008, de 14 de agosto, por el que se determinan la composición y las funciones de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad, se dictan las normas que regulan su funcionamiento y se establecen los comités especializados adscritos a la misma. Este grupo de trabajo aborda la mejora genética de estas especies no solo desde el punto de vista de tolerancia a la seca, sino también respecto de otros caracteres de selección con interés productivo (principalmente corcho y bellota).

A la vista de lo anterior, a pesar de los avances conseguidos en la primera fase, se consideró necesario darle una continuidad a estos trabajos, incrementando la base genética de las poblaciones de mejora de las tres Zonas de mejora definidas en la Estrategia; profundizando en el conocimiento de los métodos de clonación, especialmente en el injerto; ensayando el comportamiento de estos materiales frente a la seca tanto en invernadero como en focos de seca; desarrollando nuevos marcadores que permitan a partir de ahora una selección asistida, estudiando el control genético de tolerancia a diferentes situaciones de estrés y abordando otros caracteres productivos (corcho y bellota).

Para el desarrollo de esta segunda fase se ha seguido contando con las mismas instituciones, de acuerdo con sus competencias y experiencia en todos estos ámbitos, además, al objetivo principal del Programa Nacional que es la “producción y caracterización de materiales mejorados en características relacionadas con la adaptación de la encina y el alcornoque frente al síndrome complejo de la seca”, se han añadido los siguientes objetivos secundarios;

- Explotación sostenible de la encina y el alcornoque en las dehesas y montes.
- Desarrollo de conocimiento científico-técnico relacionados con el problema de la seca.
- Mejora de productividad de las dehesas mediante la utilización de materiales adaptados y productivos.
- La conservación de la diversidad genética de la especie y sus poblaciones en las poblaciones de mejora.

Para el desarrollo de esta segunda fase del “Programa Nacional de Mejora y Conservación de los Recursos Genéticos de la Encina y el Alcornoque Frente al Síndrome de la Seca” el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, ha dedicado un nuevo presupuesto de TRES MILLONES NOVENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS CON TREINTA Y SEIS CÉNTIMOS (3.098.652,36 €) en un encargo al medio propio TRAGSA para la ejecución del servicio “Segunda fase de programa nacional de conservación y mejora de los recursos genéticos de la encina y el alcornoque frente al síndrome de la seca”, a desarrollar entre 2025 y 2029.

Las principales actividades previstas para esta segunda fase se dividen en dos grandes grupos de tareas, que abordan el programa de mejora propiamente dicho y el desarrollo de estudios que permitan, por un lado, profundizar en el conocimiento del comportamiento de la enfermedad y, por otro, determinar los marcadores genéticos y moleculares que permitan identificar en el futuro con simples analíticas los genotipos tolerantes, permitiendo una aceleración de la búsqueda de estos genotipos.

El primer grupo de tareas comprende: la creación de una base de datos del Programa Nacional, la selección de nuevos progenitores para las poblaciones de mejora, ensayos de progenies en invernadero, ensayos de progenies en el campo, el desarrollo del injertado, ensayos de validación de clones y establecimiento de poblaciones de mejora, bancos clonales y huertos semilleros.

El segundo grupo de tareas incluye la micropropagación de genotipos, la crioconservación de los genotipos micropropagados, el desarrollo de marcadores moleculares de identificación, el desarrollo de marcadores de tolerancia, el estudio de microorganismos asociados a encina y alcornoque y el desarrollo de protocolos de inoculación in vitro.

Todas estas actividades se realizan con el asesoramiento de los organismos que forman parte del programa, especialistas en estos temas.