

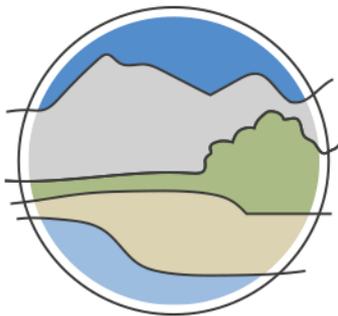


# DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE TURBERAS ÁCIDAS

Xabier Pontevedra-Pombal, Luis Rodríguez-Lado,  
Ramón Blanco-Chao, Sara Andrés-Santiago,  
Eduardo García-Rodeja







# DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE TURBERAS ÁCIDAS





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

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

#### **Dirección técnica del proyecto**

Rafael Hidalgo Martín<sup>1</sup>

#### **Realización y producción**

Tragsatec

#### **Coordinación general**

Elena Bermejo Bermejo<sup>2</sup> y Juan Carlos Simón Zarzoso<sup>2</sup>

#### **Coordinación científica**

Antonio Martínez Cortizas<sup>3</sup>

Noemí Silva Sánchez<sup>2,3</sup>

#### **Autores**

Xabier Pontevedra Pombal<sup>3</sup>

Luis Rodríguez Lado<sup>3</sup> (Caso práctico 1 del Anexo I)

Ramón Blanco Chao<sup>3</sup>

Sara Andrés Santiago<sup>3</sup>

Eduardo García-Rodeja Gayoso<sup>3</sup>

#### **Coordinación y revisión editorial**

Jara Andreu Ureta<sup>2</sup>

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

<sup>2</sup> Tragsatec. Grupo Tragsa

<sup>3</sup> Departamento de Edafología e Química Agrícola. Universidade de Santiago de Compostela

#### **A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:**

Pontevedra-Pombal X, Rodríguez-Lado L, Blanco-Chao R, Andrés-Santiago S & García-Rodeja E. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat de turberas ácidas. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 33 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

#### **Edita:**

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

# ÍNDICE

<b>1. CÁLCULO DE TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA'</b> .....	<b>7</b>
1.1. Criterios a considerar para evaluar la superficie ocupada por un ecosistema de turbera .....	9
1.1.1. Identificación y delimitación biofísica de los ecosistemas de turbera .....	9
1.1.2. Selección de variables para evaluar la superficie ocupada por el tipo de hábitat de turbera .....	10
1.1.3. Criterios para catalogar un tipo de hábitat de turbera .....	10
1.1.4. Criterios para determinar la superficie ocupada por los tipos de hábitat de turbera .....	12
1.1.5. Criterios específicos para determinar la superficie de la unidad funcional .....	14
1.1.6. Uso de herramientas remotas .....	14
1.1.7. Escalas espaciales .....	16
<b>2. REFERENCIAS</b> .....	<b>17</b>
<b>ANEXO I. Cálculo de tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para un tipo de hábitat de turberas ácidas y otro de básicas</b> .....	<b>18</b>
I.1. Introducción .....	18
I.2. Caso práctico 1: Cartografía digital de suelos aplicada a la predicción de la distribución de turberas en Galicia .....	18
I.3. Caso práctico 2: Ejemplos de delimitación y cartografía de tipos de hábitat de turbera .....	22
1.3.1. Delimitación de tipos de turberas de la ZEC ES1120015 Serra do Xistral .....	23
1.3.2. Delimitación del complejo de turberas de Veiga do Tremoal .....	27
I.4. Referencias .....	33





## 1. CÁLCULO DE TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA'

La superficie ocupada dentro del área de distribución es uno de los parámetros fundamentales para determinar el estado de conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario (THIC) en el marco de la Directiva Europea 92/43/CEE<sup>1</sup> (en adelante Directiva Hábitats). Así pues, en primer lugar, se hace imprescindible establecer un estado de referencia del parámetro 'Superficie ocupada' que permita identificar y cuantificar los cambios a futuro. En sentido amplio, este estado de referencia óptimo podría ser identificado con la Superficie Favorable de Referencia (SFR).

La SFR (European Commission 2005), es la superficie total considerada como la mínima necesaria, dentro de una determinada región biogeográfica, para asegurar la viabilidad a largo plazo de un tipo de hábitat. Debe incluir las áreas necesarias para la restauración o desarrollo de aquellos tipos de hábitat para los que la cobertura actual no es suficiente para su viabilidad a largo plazo. El valor de referencia favorable debe ser por lo menos la superficie que abarcaba el tipo de hábitat cuando la Directiva Hábitats entró en vigor. En el caso de los tipos de hábitat de turberas del grupo 71, la falta de información y la disimetría territorial de esta información, no permiten en el momento actual establecer con garantías la SFR de las turberas españolas. Aunque, a falta de la existencia de inventarios exhaustivos, conceptualmente, sería adecuado establecer como SFR la actualmente existente.

En buena lógica, la valoración del estado de conservación y evolución de cada tipo de hábitat concreto, necesita de la valoración no solo de la superficie total ocupada por cada turbera, parámetro que puede ser más o menos resiliente a modificaciones ambientales leves o moderadas, sino de otros rasgos o propiedades que determinan la estructura y la función del tipo de hábitat y que son potencialmente más sensibles a cambios paulatinos y aditivos en las condiciones ambientales (Silva-Sánchez *et al.* 2019).

En este trabajo se recoge una propuesta de los criterios, las metodologías y las fuentes de información a utilizar para determinar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat de turbera, de acuerdo con la Matriz General de Evaluación del estado de conservación de los THIC (Tabla 1; European Commission 2011<sup>2</sup>; DG Environment 2017<sup>3</sup>). Según esta matriz, la superficie ocupada no debe establecerse únicamente como un parámetro que mida el espacio físico que abarca el tipo de hábitat, sino que habrá de atenderse también a su estabilidad global y la de sus patrones de distribución.

---

<sup>1</sup> Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

<sup>2</sup> <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-bd/activities/reporting/article-17/reference-material-for-reporting-period-2007-2012-art-17>

<sup>3</sup> [http://cdr.eionet.europa.eu/help/habitats\\_art17](http://cdr.eionet.europa.eu/help/habitats_art17)



**Tabla 1** Detalle de la Matriz General de Evaluación del estado de conservación de los THIC referente al parámetro 'Superficie ocupada'. Fuente: elaboración propia a partir de European Commission (2011).

PARÁMETRO	ESTADO DE CONSERVACIÓN			
	Favorable (verde)	Desfavorable – inadecuado (ámbar)	Desfavorable – malo (rojo)	Desconocido (información insuficiente para realizar una evaluación)
<b>Superficie ocupada por el tipo de hábitat dentro del rango geográfico</b>	<p>La superficie ocupada por el tipo de hábitat es estable (la pérdida y la expansión están equilibradas) o está aumentando</p> <p><b>Y</b></p> <p>no es menor que la 'superficie favorable de referencia'</p> <p><b>Y</b></p> <p>sin cambios importantes en el patrón de distribución en su conjunto (si se dispone de datos para evaluarlo)</p>	<p>Cualquier situación que no sean las descritas en 'verde' o 'rojo'</p>	<p>Gran merma de la superficie (equivalente a una pérdida de más del 1% por año durante un periodo especificado por el Estado miembro; se pueden utilizar otros umbrales pero se deben explicar en el anexo D)</p> <p><b>O</b></p> <p>con pérdidas importantes (cambios negativos) en el patrón de distribución dentro del área de distribución</p> <p><b>O</b></p> <p>la superficie actual está más del 10% por debajo de la 'superficie de referencia favorable'</p>	<p>No se dispone de información fiable o esta es insuficiente</p>



## 1.1. Criterios a considerar para evaluar la superficie ocupada por un ecosistema de turbera

### 1.1.1. Identificación y delimitación biofísica de los ecosistemas de turbera

Antes de comenzar conviene recordar que no es posible establecer la superficie ocupada por un ecosistema en un territorio, su evolución real y potencial, y mucho menos implementar sistemas de seguimiento si no se conoce previamente su extensión y localización, es decir, si no existe un inventario detallado de los tipos de hábitat. Dado que esta es precisamente la situación de las turberas ácidas, este documento puede ser de utilidad, no solo como una propuesta metodológica para la evaluación de las modificaciones en el parámetro 'Superficie ocupada', sino también para la determinación de la superficie asociada a la propia elaboración del inventario.

Teniendo esto en cuenta, antes de aproximarnos a las cuestiones propiamente relacionadas con la determinación de la superficie ocupada *sensu stricto* conviene reflexionar sobre cuestiones relacionadas con la definición y la tipología de turberas pues, la elaboración de un inventario no se puede llevar a cabo, o su utilización no va a ser la óptima, si no existe una coherencia y consenso metodológico y conceptual que permita establecer los tipos, subtipos, rasgos y elementos que constituyen el ecosistema (Martínez-Cortizas *et al.* 2019).

En Martínez-Cortizas *et al.* (2019) se define a las turberas como tipos de hábitat donde el suelo está formado por turba, un sustrato orgánico de color oscuro formado *in situ* en condiciones de hidromorfía por la acumulación de restos vegetales y, en menor medida, animales (Pontevedra-Pombal *et al.* 2008), con un contenido mínimo de carbono (15%), un espesor mínimo (30 cm) y una superficie considerable. Cabe destacar que es la combinación del conjunto de estas características, y no una sola, como por ejemplo la coloración, la que establecerá la existencia de un tipo de hábitat de turbera. Por ejemplo, en la bibliografía se ha detectado que es relativamente habitual que sistemas hidromorfos con coloraciones oscuras pero formados por suelos minerales (con contenidos de carbono menores del 15%) sean incorrectamente catalogados como turberas. Algo similar ocurre con los tipos de hábitat de marisma, en los que formalmente puede darse la acumulación de turba, pero en los que ni la génesis ni el origen, mayoritariamente alóctono, de la materia orgánica permiten la catalogación de los enclaves como tipos de hábitat de turbera.

En cuanto a los factores biofísicos que determinan la distribución de las turberas, es común que estos tipos de hábitat se den en ambientes con condiciones climáticas relativamente frías y húmedas en las que el drenaje esté limitado y se favorezcan las condiciones de hidromorfía, como por ejemplo ocurre asociado a litologías ácidas ricas en cuarcitas. Por ejemplo, en la península ibérica las turberas asociadas a condiciones climáticas de rango regional se localizan fundamentalmente en zonas de montaña, con lo cual la altitud sería un factor a tener en cuenta en la creación de modelos predictivos para la búsqueda de enclaves. Si, además, se enriquece el modelo con las características climáticas, litológicas y edáficas de una región, se podrá acotar significativamente el número de localidades que han de ser posteriormente cotejadas en campo. Sin embargo, la distribución de turberas ibéricas también puede responder a factores geográficos asociados a condiciones meso y micro ambientales específicas, lo que dificulta la aplicación de modelos prospectivos y exige la alimentación de los mismos con bases de datos más complejas y un mayor esfuerzo de trabajo de campo. El primer caso práctico del Anexo I, corresponde precisamente a un ejemplo de aplicación de modelos prospectivos para la localización de posibles enclaves de turbera en la comunidad autónoma de Galicia (Anexo I).



Respecto a los factores biofísicos que delimitan los distintos tipos de turberas del grupo 71, aunque son descritos pormenorizadamente en Martínez-Cortizas *et al.* (2019), conviene recordar que los criterios atienden fundamentalmente a la escala espacial (macrotopos vs. mesotopos) y a la alimentación hídrica (ombrotrofia vs. minerotrofia).

### 1.1.2. Selección de variables para evaluar la superficie ocupada por el tipo de hábitat de turbera

Debido a las implicaciones biogeoquímicas, físicas y ecológicas asociadas a cada tipo de hábitat de turbera, y a la presencia habitual de un continuo espacial entre los distintos tipos, es necesario establecer la superficie de cada tipo individual. Si bien el seguimiento y gestión habrán de realizarse en conjunto. Esto es especialmente relevante, aunque no únicamente, en los complejos de turberas. Así pues, se propone la delimitación en base a una cartografía digital compatible con un Sistema de Información Geográfica (en adelante GIS, del inglés *Geographic Information System*) de dos variables generales fundamentales:

- **Superficie ocupada por el tipo de hábitat de turbera o de los distintos tipos de hábitat de turbera** (en el caso de los complejos de turbera): en ambos casos el seguimiento se hará a escala de mesotopo aunque conviene matizar que en el caso de grandes complejos, como los que pueden existir en las turberas de cobertor, la delimitación a escala de mesotopo, por cuestiones de operatividad, se restringirá a aquellos definidos como localidades de seguimiento dentro del sistema de evaluación del estado de conservación.
- **Superficie total de la unidad funcional del ecosistema de turbera**: en esta concepción subyace la idea de la funcionalidad del ecosistema, que depende de las interacciones y los flujos de materia y energía con su entorno. La delimitación y gestión de un tipo de hábitat de turbera debe recoger todo el espacio directamente en conexión con el mismo y del cual depende para su pervivencia. En este sentido, han de delimitarse las conexiones hidrológicas y las conexiones de alcance gravitacional.

El segundo caso práctico del Anexo I corresponde a ejemplos de determinación de estas variables en distintos tipos de hábitat de turbera de Galicia (Anexo I).

Para poder determinar las variables generales que se proponen, serán necesarios también una serie de criterios específicos que se describen a continuación. En algunos casos los criterios específicos se corresponden con variables que serán obtenidas por una combinación de técnicas *in situ* (toma de datos en campo, monitorización), *ex situ* (toma de muestras), remotas (satélites, fotografía aérea, LiDAR [*Light Detection and Ranging*], drones, etc.) y fuentes de información. Todas las variables/muestras obtenidas han de ser georreferenciadas dentro del tipo de hábitat para facilitar las revisiones periódicas.

### 1.1.3. Criterios para catalogar un tipo de hábitat de turbera

Dado que las turberas son tipos de hábitat con ciclos de cambio natural a escala de decenas y centenas de años hay una serie de variables que, aunque tiene sentido determinar la primera vez que se catalogan, no tiene objeto hacerlo periódicamente dentro del sistema de seguimiento. Las variables que a



continuación se describen entran en esta categoría. Solo se determinarán adicionalmente cuando haya evidencias importantes de cambio en la superficie total ocupada por el enclave.

Las cuestiones que definen la existencia o no de un tipo de hábitat de turbera (a determinar fundamentalmente la primera vez que se cataloga el tipo de hábitat) son las siguientes:

- **Contenido total de carbono orgánico del suelo:** variable *ex situ*, que exige la toma de muestras para analizar en laboratorio. La obtención del valor de carbono de referencia para el enclave se hará siguiendo la metodología propuesta en el Anexo II de Martínez-Cortizas *et al.* (2019). Las medidas se realizarán de manera aleatoria en un número que podría oscilar entre 3 y 5 medidas por hectárea en función de la heterogeneidad de la turbera. Es una variable con ritmos de variación de ciclo largo.
- **Espesor mínimo (30 cm) del manto de turba:** variable *in situ*. Con ayuda de la información cartográfica y la visita a cada una de las áreas de estudio se identificará la unidad topográfica e hidrológica que contiene al tipo de hábitat de turbera. Esta unidad espacial se recorrerá desde el centro hacia la periferia en todas las direcciones, efectuándose una comprobación de la profundidad cada 50 o 100 m, utilizando para ello una sonda de presondeo (Figura 1). En cada punto se anotará la profundidad y se tomará la posición GPS (del inglés *Global Positioning System*). Es una variable con ritmos de variación de ciclo largo en ambientes no impactados, y ciclos medios a cortos en ambientes impactados.



**Figura 1** Sonda de presondeo en fibra de vidrio (diámetro: 19 mm, longitud: 105 cm; izquierda) o en acero (diámetro 30 mm, longitud: 10 m; derecha). Autor: Xabier Pontevedra Pombal.



- **Perfil topográfico de la turbera:** variable *in situ*. Permite establecer que el tipo de hábitat tiene una extensión mínima, así como localizar las zonas perimetrales que lo delimitan y las zonas de transición hacia otros tipos de hábitat. Se determinará realizando transectos estratigráficos longitudinales y transversales a la superficie de la turbera, aunque si las diferencias fisionómicas (comunidades vegetales, cuerpos de agua, grado de encharcamiento, etc.) son sustancialmente diferentes a las de los tipos de hábitat circundantes puede aproximarse con herramientas remotas. Es una variable con ritmos de variación de ciclo largo.

Las cuestiones que definen el tipo de hábitat de turbera son las siguientes:

- **Patrón general de circulación hídrica:** variable *in situ*. Su determinación permitirá establecer la naturaleza trófica de la turbera, aunque en muchas ocasiones será necesario un conocimiento experto. Una ayuda para establecer estos límites puede obtenerse del uso de tecnologías cartográficas tipo LiDAR.
- **Contenido en carbono orgánico total:** variables *ex situ*. Ayudarán a establecer la trofia de la turbera en casos dudosos. También puede ser útil para detectar el THIC 7110\* Turberas altas activas<sup>4</sup> (en adelante Turberas elevadas activas), en su forma no-confinada, como parte de complejos de turbera, pues en ocasiones su identificación visual es difícil y puede requerir del análisis de algunas de sus propiedades intrínsecas, como las que se indican en este trabajo. Estas propiedades, a diferencia de los valores establecidos para evaluar su estado de conservación han de ser interpretadas a partir de su tendencia y no de su valor absoluto. Aporta información sobre el flujo preferente de agua y partículas (atmosférico–edáfico), cambios en la composición botánica de la turba y evolución de la materia orgánica. Las variables con ritmos de variación de ciclo largo, se emplearían para establecer la tipología solo en casos dudosos. La metodología está indicada en el Anexo II de Martínez-Cortizas *et al.* (2019).
- **Valor de pH en agua del suelo:** el pH de la turba es uno de los factores diagnósticos para diferenciar tipologías de turbera. Aunque habrá de tenerse en cuenta que la existencia de determinadas presiones o amenazas puedan afectar a los valores de esta variable por lo que ha de tenerse especial precaución en la interpretación de los resultados cuando haya evidencias o sospechas de impacto ambiental por fertilización, cambios en la calidad de las aguas de alimentación, cambios en los flujos y origen del material inorgánico que se incorpora a la turbera, etc. La metodología está indicada en el Anexo II de Martínez-Cortizas *et al.* (2019).

#### 1.1.4. Criterios para determinar la superficie ocupada por los tipos de hábitat de turbera

Los elementos que a continuación se enumeran serán muy útiles para establecer el seguimiento, tanto en campo como remoto, de la evolución biofísica de la turbera y delimitar su extensión respecto de otros tipos de hábitat periféricos pertenecientes a la misma unidad funcional:

- **Transición difusa vs. transición neta (descripción):** si es posible identificar la transición espacial de un tipo de hábitat de turbera a otro en menos de 5 m la transición es neta, de lo contrario es difusa.

---

<sup>4</sup> Los tipos de hábitat de interés comunitario que se señalan con un asterisco (\*) son considerados prioritarios.



- **Elementos que definen la zona de contacto (descripción):**
  - Cambios en la vegetación: desaparición de más del 80% de las comunidades propias del tipo de hábitat de turbera
  - Cambios en los suelos: aparición de suelos minerales, sustratos rocosos o áreas de sedimentación. Estos cambios se pueden identificar por observación directa o a partir de las variaciones físico-químicas.
  - Cambios en la pendiente: es posible localizar turberas sobre pendientes de muy diverso grado de inclinación en función de la tipología, por lo que este criterio no hace referencia a la pendiente total, sino a cambios acusados de la pendiente (variación >10% en 5 m).
  - Cambios en la circulación del agua: el agua que drena desde las turberas tiende a permear al alcanzar los suelos minerales o bien acelera su circulación en los canales de desagüe.
  - Rasgos erosivos y frentes desnudos de turba: estos elementos de las turberas aparecen frecuentemente en los límites externos del tipo de hábitat. Su origen puede ser natural, inducido o mixto. Pueden ser superficiales o comprometer todo el espesor del manto de turba hasta el sustrato mineral. La relación entre la altura y la longitud del daño puede aportar información indirecta sobre el nivel de retroceso de la superficie de la turbera.
  
- **Cartografía de las transiciones:** variable *in situ*. Permite establecer los límites exteriores de la turbera y las zonas con potencialidad para su expansión. Si las diferencias fisionómicas (comunidades vegetales, cuerpos de agua, grado de encharcamiento, etc.) son sustancialmente diferentes a las de los tipos de hábitat circundantes, esta variable puede sustituirse por una aproximación con herramientas remotas. Es una variable con ritmos de variación de ciclo medio a corto y una periodicidad trienal. Se establecerán los límites exteriores del tipo de hábitat de turbera por los procedimientos ya indicados, y se identificarán los tipos en contacto con la turbera *in situ* o con la utilización de fuentes de información (European Commission 2013), conocimiento experto y/o herramientas remotas (imágenes de satélite, drones, etc.). Se describirán las características del tránsito entre la turbera y los tipos de hábitat en contacto respondiendo preguntas como: ¿hay cambios netos o bruscos de fisonomía, comunidades vegetales, circulación del agua sobre y dentro del suelo?, ¿los contactos son lineales o penetrantes? Las zonas de contacto se registrarán georreferenciadas.
  
- **Cartografía de zonas con potencial para la expansión de la superficie de las turberas:** variable *in situ* y remota (satélite, foto-aérea, drones). Normalmente, estas zonas se observan como áreas de suelos inorgánicos pero con alto contenido en materia orgánica, hidromorfos y con una cobertura relativamente alta de especies propias de turberas, o ambientes con sustrato rocoso o sedimentario muy encharcado y con una cobertura completa de vegetación propia de turberas (sistemas paraturbosos), y en contacto directo con el tipo de hábitat de turbera. Es una variable con ritmos de variación de ciclo medio a corto en función de las condiciones ambientales en las que se desarrolla el ecosistema y el nivel de impacto y la periodicidad es trienal. Se establecerán las áreas con potencial para el incremento de la superficie de turbera o para la re-ocupación por el tipo de hábitat de turbera, en base a la presencia de características propicias para estos ambientes: zonas con tendencia al encharcamiento, de lenta o nula exportación de materia, colonizadas por vegetación característica de turberas (sistemas paraturbosos), o muy próxima (<10 m) a comunidades de este tipo, donde sea fácil identificar y



eliminar el vector de impacto (p. ej. carga ganadera) y alejadas de los flujos erosivos principales. Las zonas inspeccionadas se georreferenciarán y se hará un catálogo fotográfico periódico. Para facilitar el seguimiento de su evolución se pueden instalar marcadores semipermanentes, como por ejemplo estacas o mallas para verificar la colonización vegetal, el incremento de la sedimentación orgánica o la distancia al límite exterior de la turbera.

### 1.1.5. Criterios específicos para determinar la superficie de la unidad funcional

Existe una fuerte relación causa-efecto entre ciertas condiciones morfológicas y litológico-sedimentarias y la formación y evolución de las turberas. Esta relación se concreta en el control que estos parámetros abióticos tienen sobre los flujos preferentes de agua y sedimentos. Los diferentes ambientes morfogenéticos que se establecen en un territorio fruto de esta interacción se caracterizarán por la formación de distintas estructuras (glaciares, periglaciares, sedimentarias, fluviales, lacustres, etc.) que van a controlar inicialmente la posibilidad del desarrollo de una turbera y su tipología. El espacio que contiene a todas estas estructuras, flujos de agua y sedimentos que promueven la formación de un tipo de hábitat de turbera debe considerarse como la unidad funcional del ecosistema, aunque no esté totalmente ocupada por un tipo de hábitat de turbera, y ha de ser preservado para garantizar la estabilidad de la turbera.

Los límites físicos de la unidad funcional serán aquellos a partir de los cuales una actividad sobre o un cambio en el territorio no va a provocar alteraciones del ecosistema en cuanto al origen y la cantidad de agua y material inorgánico que se incorpora a este.

En el caso de los THIC 7110\* Turberas elevadas activas (en su forma confinada) y 7140 "Mires" de transición (en adelante Tremedales), al ocupar una forma deprimida del terreno, la unidad funcional queda netamente delimitada por la cuenca de captación de dicha depresión. Las laderas de dicha cuenca y los cauces y la escorrentía aportarán el agua y el material inorgánico. Cuando la fisonomía de dicha cuenca no sea suficientemente nítida o esté difuminada por la vegetación, infraestructuras, etc., será útil construir un modelo digital terrestre previo a la cartografía del área.

En el THIC 7130 Turberas de cobertura (\* para las turberas activas), en adelante Turberas de cobertor, y el THIC 7110\* en su forma no confinada, al no existir una pre-forma deprimida del terreno la identificación de los límites de influencia es más difusa. Al tratarse de tipos de hábitat que se extienden de forma exocéntrica y conectándose a través de las laderas (en particular el THIC 7130), con otros tipos de hábitat similares tendrán la parte central de la unidad funcional ligada a la divisoria de aguas, pero sus límites periféricos han de ser establecidos por observación directa.

### 1.1.6. Uso de herramientas remotas

#### Imágenes de satélite

En ciertos tipos de hábitat, como pueden ser los leníticos, los lóticos, los bosques o los sistemas dunares, por poner un ejemplo, la transición hacia otro tipo de hábitat puede ser neta e incluso brusca. Sin embargo, en las turberas, muy frecuentemente, los límites son bastante difusos con zonas de extensión variable que comparten condiciones similares de humedad, vegetación o pendiente.



Esta realidad hace que los sistemas de identificación y seguimiento por satélite necesiten de un adiestramiento previo bastante exigente. Por tanto, en una primera fase de localización e identificación de turberas, esta aproximación metodológica genera muchas incertidumbres.

Sin embargo, una vez que los tipos de hábitat de turbera sean localizados y georreferenciados, la información recogida *in situ* debería adiestrar este soporte remoto, lo que mejoraría la viabilidad de los sistemas de seguimiento.

## Cartografía digital

No tanto para el establecimiento de la superficie ocupada por un tipo de hábitat de turbera, pero sí para ayudar a establecer la Superficie Favorable de Referencia o las tendencias generales de estos tipos de hábitat en los últimos 50 años, puede ser de gran utilidad la utilización de series cartográficas históricas, principalmente de fotografía aérea y ortofotografías. Esta documentación, que está georreferenciada, se puede cargar como una capa en una cartografía digital con base GIS.

Esta información puede mejorar la opinión experta a través del análisis de la evolución temporal de la cubierta vegetal, las modificaciones de los cuerpos de agua, la aparición de infraestructuras, la presión de la frontera agrícola y forestal, etc., o el retroceso y avance del tipo de hábitat de turbera.

Se puede acceder a las bases cartográficas necesarias a través de la web del Instituto Geográfico Nacional (IGN)<sup>5</sup>, con un repositorio con varias series de fotografías aéreas desde el vuelo americano de 1945, los ortofotogramas editados hasta el 2016 por el PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) o las bases de datos de ocupación del suelo en España a escala 1:25.000 de los años 2005 y 2011 del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Es importante conocer que la cobertura de esta documentación no es homogénea y depende de la zona geográfica en estudio.

Otra herramienta que puede tener relevancia en la cartografía de los tipos de hábitat de turbera, si bien requerirá de un adiestramiento previo, es la cartografía LiDAR (*Light Detection And Ranging*).

El LiDAR es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz láser para obtener una muestra densa de la superficie de la Tierra produciendo mediciones exactas en x-y-z. Los componentes de hardware principales de un sistema LiDAR incluyen un vehículo de recolección (avión, helicóptero, vehículo y trípode), sistema de escáner láser, GPS y sistema de navegación por inercia (INS, del inglés *Inertial navigation system*). Un sistema INS mide la rotación, inclinación y encabecamiento del sistema LiDAR. Los pulsos láser emitidos desde un sistema LiDAR se reflejan desde objetos sobre y por encima de la superficie del suelo: vegetación, edificios, puentes y así sucesivamente. Un pulso láser emitido puede regresar al sensor LiDAR como uno o muchas devoluciones. Una vez recogidos los datos se realiza un postprocesado que se conoce como 'Datos de la Nube de Puntos'. Hoy en día se utiliza principalmente en aplicaciones de representación cartográfica láser aéreas, y está surgiendo como una alternativa rentable a las técnicas de topografía tradicionales como la fotogrametría. LiDAR produce conjuntos de datos de nubes de puntos masivos que se pueden administrar, visualizar, analizar y compartir.

La principal ventaja del uso de LiDAR es que, al tratarse de una luz láser, el haz diverge muy poco y la luz, por su velocidad de propagación, permite una medición en tiempo mínimo. Ambas propiedades permiten obtener una gran resolución en la imagen final, con una distancia internodal mínima (distancia

---

<sup>5</sup> <http://www.ign.es/web/ign/portal>



mínima necesaria para distinguir un punto de otro), proyectando una nube de puntos muy densa que recrea una morfología superficial muy próxima a la real. Esta tecnología se puede utilizar en condiciones de visibilidad muy bajas, no necesita puntos de apoyo y puede penetrar en las cubiertas vegetales, detectando simultáneamente el terreno y la vegetación. El principal inconveniente es que, respecto a otras tecnologías, como los drones, su resolución es menor y, por tanto, ha de valorarse si la escala de trabajo deseada para cada estudio concreto es suficiente.

### 1.1.7. Escalas espaciales

En el contexto de la gestión del patrimonio natural al igual que en el de la construcción de la Red Natura 2000, las escalas de trabajo necesarias para generar información útil son diversas. Así, la unidad más grande es la región biogeográfica, pero esta está constituida por unidades menores como el rango de distribución, un ecosistema singular, un rasgo o un microambiente dentro de dicho ecosistema, etc.

El registro cartográfico de tipos de hábitat se hará a escala de mesotopo y no debería tener una escala menor de 1:1.000. El parámetro 'Superficie ocupada' por un tipo de ecosistema, otros tipos de hábitat en contacto, las cuencas asociadas y las conexiones hidrológicas podrían establecerse en una escala 1:5.000. El rango de distribución, las zonas especiales de conservación y los lugares de importancia comunitaria deberían reflejarse con una escala 1:25.000. La síntesis de la información por región biogeográfica podría establecerse a escala 1:50.000 o 1:100.000 en función del tamaño del área integrada.



## 2. REFERENCIAS

DG Environment. 2017. Reporting under Article 17 of the Habitats Directive: Explanatory notes and guidelines for the period 2013-2018. Final version, May 2017. Compiled by the European Environment Agency (EEA) and its European Topic Centre on Biological Diversity (ETC/BD). Brussels. 188 pp.

European Commission 2005. Assessment, monitoring and reporting of conservation status – Preparing the 2001-2006 report under Article 17 of the Habitats Directive. Note to the Habitats Committee, DG Environment, Brussels, 15 March 2005. Doc.Hab.-04-03/03 rev.3.

European Commission. 2011. Assessment and reporting under Article 17 of the Habitats Directive. Explanatory Notes & Guidelines for the period 2007-2012. Final version, July 2011. Compiled by Evans D & Arvela M. European Topic Centre on Biological Diversity. <https://circabc.europa.eu/sd/a/2c12cea2-f827-4bdb-bb56-3731c9fd8b40/Art17-Guidelines-final.pdf>

European Commission. 2013. Interpretation Manual of European Union Habitats - EUR28. DG Environment, Nature ENV B.3, European Commission. 144 pp.

Martínez-Cortizas A, Pontevedra-Pombal X, Nóvoa-Muñoz J C, Rodríguez R & López-Sáez J A. 2009. Turberas ácidas de esfagnos. 64 pp. En: VV.AA. 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.

Martínez-Cortizas A, Silva-Sánchez N, Pontevedra-Pombal X, Souto M & García-Rodeja E. 2019. Establecimiento de una tipología específica de tipos de hábitat herbáceos con componente turbófilo. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 51 pp.

Pontevedra-Pombal X, Nóvoa-Muñoz J C & Martínez-Cortizas A. 2008. Peat. pp. 510-511. In: Chesworth W (ed.) Encyclopedia of Soil Science. Springer. Dordrecht.

Silva-Sánchez N, Martínez-Cortizas A, García-Rodeja E, Pontevedra-Pombal X & Souto M. 2019. Selección y descripción de variables ecológicas que permitan diagnosticar el estado de conservación del parámetro 'Estructura y función' de los diferentes tipos de hábitat herbáceos con componente turbófilo (paraturberas y tremedales mesoeutróficos). Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 76 pp.



## **ANEXO I. Cálculo de tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para un tipo de hábitat de turberas ácidas y otro de básicas**

### **I.1. Introducción**

En este anexo se presentan dos ejemplos de cartografía digital basados en un modelo estadístico apoyado en parámetros edáficos y bioclimáticos, que podrían permitir establecer las áreas de máxima potencialidad para el desarrollo de las turberas, utilizando como ejemplo el territorio de Galicia. Esta herramienta se revela de gran utilidad para facilitar la respuesta a dónde buscar las turberas.

Una vez delimitadas estas áreas potenciales, y con la pretensión de establecer la superficie ocupada real, incluyendo coberturas, así como los posibles cambios (aumento o disminución) de la superficie del tipo de hábitat de turbera o de las comunidades vegetales que la constituyen, es ineludible establecer una estrategia que combine diferentes herramientas que aporten una información suficientemente precisa. Así, será necesario en primer lugar diseñar un trabajo de campo que verifique o modifique las presunciones del modelo cartográfico, estableciendo los límites reales de los tipos de hábitat de turbera, la extensión y cobertura de las distintas comunidades vegetales, la forma y extensión de las micro y mesoformas de degradación, etc., así como de todo el sistema funcional del ecosistema de turbera. En un segundo paso, esta información georreferenciada se incorporará a una base cartográfica. En tercer lugar, con la base cartográfica se trabajará en dos direcciones, una retrospectiva y una prospectiva.

De existir información, obtener una visión de la evolución del tipo de hábitat de turbera hasta la actualidad puede ser una herramienta muy útil para comprender o identificar los factores de estrés que sufre dicho tipo de hábitat, su resiliencia o su sensibilidad a cada uno de ellos. En esta línea son útiles las informaciones aportadas por las series cartográficas y de fotografía aérea antiguas, así como, si existen, los informes y estudios elaborados por distintos organismos públicos como, por ejemplo, la determinación de los recursos de turba elaborados por el Ministerio de Industria y Energía dentro del Plan Nacional de Minería en los años 1970 con fines de explotación.

La fase prospectiva es, en esencia, la finalidad de este trabajo. Es decir, poder determinar qué está sucediendo y extrapolar qué sucederá con los tipos de hábitat de turbera, respecto a si están perdiendo superficie o la están incrementando, y como están evolucionando las comunidades asociadas. Para lograr este conocimiento, será necesario combinar actividades de campo y técnicas de imágenes de alta resolución, por ejemplo, con la utilización de drones.

### **I.2. Caso práctico 1: Cartografía digital de suelos aplicada a la predicción de la distribución de turberas en Galicia**

El incremento en la demanda de información ambiental actualizada para la gestión e implementación de políticas de protección de los recursos naturales durante los últimos años ha provocado que los métodos tradicionales de cartografía de suelos, basados en largos y costosos trabajos de reconocimiento de campo y fotointerpretación por parte de edafólogos expertos, estén dando paso a técnicas modernas de cartografía predictiva que utilizan métodos estadísticos para estimar el valor de los diferentes tipos o propiedades de suelos en localizaciones no muestreadas. Estas técnicas identifican

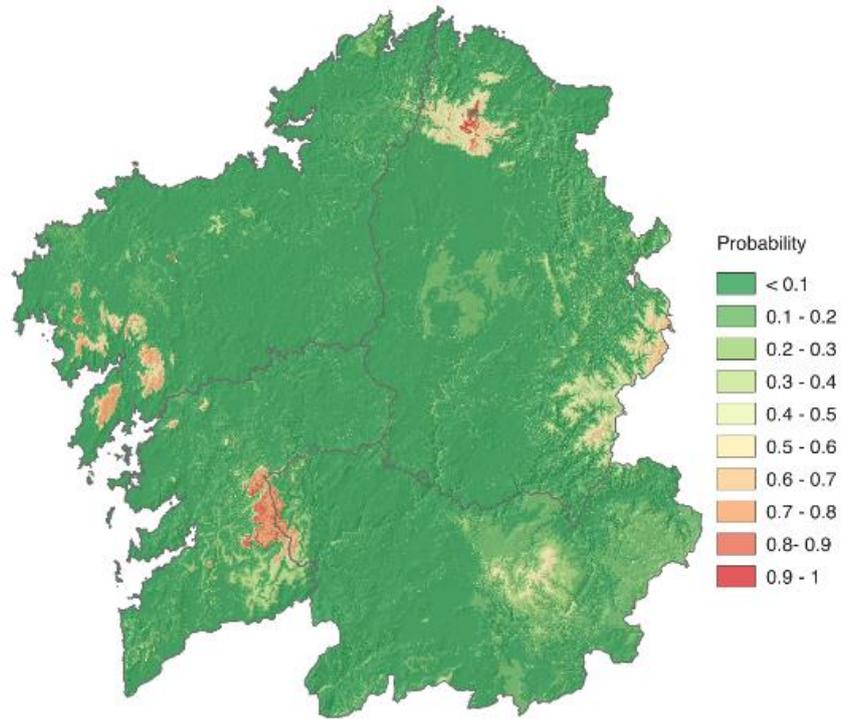


y ponderan el peso de los factores ambientales que controlan la variabilidad espacial de cierto suelo o propiedad edáfica para posteriormente crear mapas mostrando dicha variabilidad.

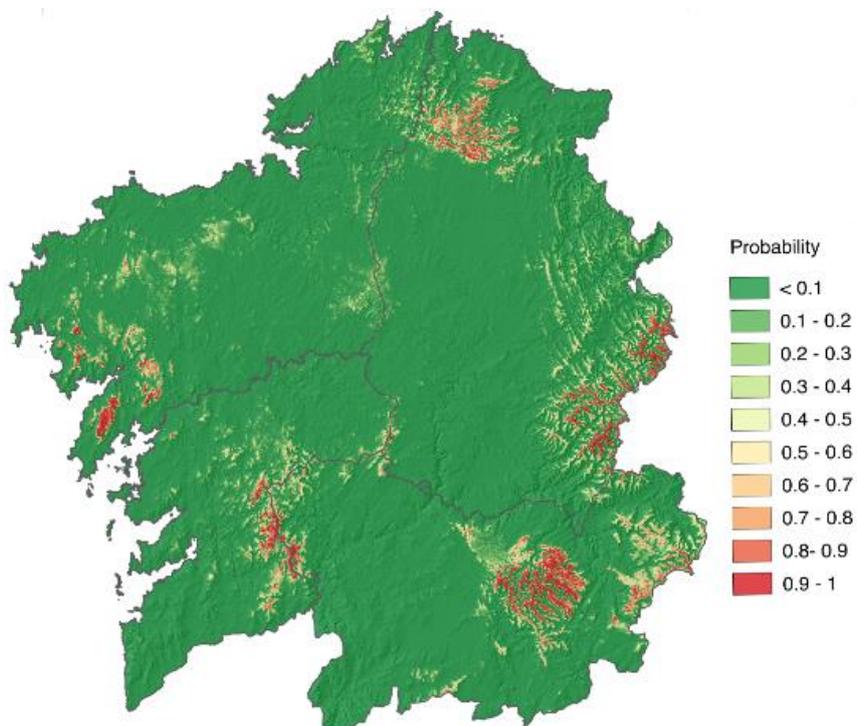
Las turberas son ecosistemas edáficos caracterizados por un elevado contenido en materia orgánica. Se considera que los suelos con contenidos de carbono orgánico igual o superior al 12 % son suelos con características turberiformes. Dicha característica se puede emplear dentro de un modelo de inferencia estadística como un parámetro cualitativo para determinar la probabilidad de presencia/ausencia de este tipo de suelos.

En Galicia, la cantidad de materia orgánica presente en los suelos está principalmente condicionada por las condiciones climáticas, por lo que se pueden utilizar variables climáticas –tasas de precipitación, balance hídrico anual y de verano–, índices ombrotérmicos, temperatura media anual, etc., como variables auxiliares para determinar la concentración de carbono orgánico en los suelos. Por otra parte, se debe tener en cuenta que los principales parámetros climáticos que determinan la ecología, evolución, uso y muchas de las propiedades físico-químicas de los suelos no solo son debidos al clima superficial directamente sino al clima del suelo. En este sentido, se ha utilizado información edafo-climática (regímenes de humedad y temperatura o número de días en los que la sección de control de la humedad del suelo permanece seca o húmeda) disponible como parámetros explicativos para establecer la distribución espacial potencial de suelos turberiformes. El relieve, que ejerce de modificador local de las condiciones de humedad en el suelo, también se ha incluido como un tercer grupo de parámetros explicativos de la distribución de suelos con elevado contenido en materia orgánica.

La probabilidad de presencia de suelos con elevadas concentraciones de carbono orgánico ha sido estimada mediante los modelos *Random Forest* (RF) y *Partial Least Squares Logistic Regression* (PLSLR). Dichos modelos han sido calibrados sobre una base de datos georreferenciada, que incluye la composición química de 438 horizontes superficiales de suelos de diferentes condiciones ambientales en Galicia, conjuntamente con los valores, para cada punto de muestreo, de cada uno de los *proxies* ambientales anteriormente citados. Los datos cuantitativos de carbono orgánico han sido previamente transformados en datos binarios utilizando el valor límite de concentración de carbono orgánico igual o mayor al 12%.



**Figura I.1** Modelo RF: Probabilidad [C]  $\geq$  12%. Fuente: elaboración propia.



**Figura I.2** Modelo PLSLR: Probabilidad [C]  $\geq$  12%. Fuente: elaboración propia.

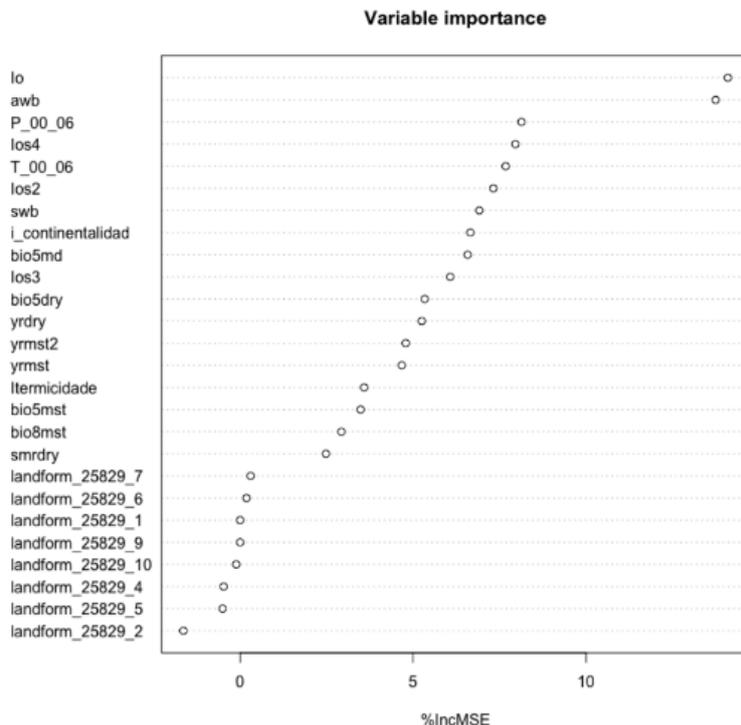


Figura I.3 Importancia de las variables explicativas en el modelo RF. Fuente: elaboración propia.

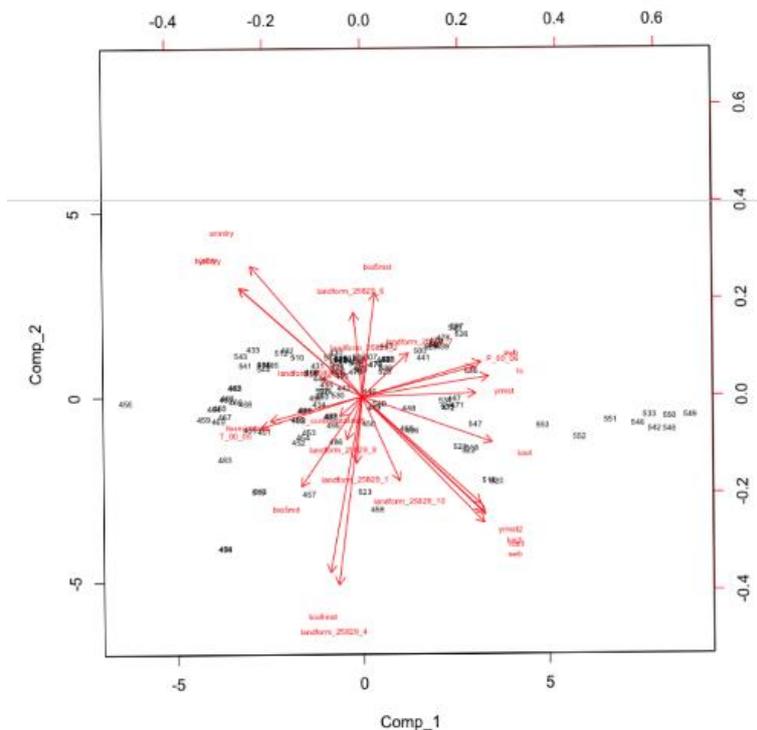


Figura I.4 Vectores propios de las variables explicativas sobre los principales componentes (modelo PLSRL). Fuente: elaboración propia.



Los modelos predicen alta probabilidad de ocurrencia para las sierras do Xistral, Barbanza, Candán, Invernadoiro, Ancares y Courel (Figuras I.1 y I.2). Estas zonas coinciden con áreas en las que la presencia de turberas ha sido ya confirmada. Los resultados estadísticos indican que las elevadas concentraciones de carbono (> 12% C) en suelos no solo están relacionados con elevadas tasas de precipitación sino también con balances hídricos positivos y altos valores de los índices ombrotérmico y ombrotérmico estival compensable entre mayo-agosto (Figuras I.3 y I.4).

La precisión de los modelos es moderada, con coeficientes de determinación del 0,4 y 0,53 (40-53%) para los modelos RF y PLSLR respectivamente. Esto es parcialmente debido al sesgo existente en la base de datos original que incluye principalmente suelos con bajo contenido en carbono orgánico. La creación de modelos híbridos, construidos a través de predicciones promediadas de diferentes técnicas estadísticas, podría mejorar los resultados aquí obtenidos. Esta aproximación muestra que las técnicas de cartografía predictiva pueden constituir una importante herramienta de apoyo para la delimitación de áreas susceptibles de albergar turberas, optimizar esfuerzos de prospección y minimizar los costes asociados a la cartografía de ecosistemas superficiales.

### **I.3. Caso práctico 2: Ejemplos de delimitación y cartografía de tipos de hábitat de turbera**

En el caso práctico 1 se presentó un ejemplo de cartografía digital basado en un modelo estadístico apoyado en parámetros edáficos y bioclimáticos, que podrían permitir establecer las áreas de máxima potencialidad para el desarrollo de las turberas, utilizando como ejemplo el territorio de Galicia. Esta herramienta se revela de gran utilidad para facilitar la repuesta a dónde buscar las turberas, si bien es deseable que constituya un modelo flexible que pueda ser implementado con información empírica de campo que permita afinar sus predicciones, en particular, para aquellas áreas que puedan ser invisibles para el modelo inicial.

Una vez delimitadas estas áreas potenciales, y con la pretensión de establecer la superficie ocupada real, incluyendo coberturas, así como el posible aumento o disminución de la superficie del tipo de hábitat de turbera es ineludible establecer una estrategia que combine diferentes herramientas que aporten una información suficientemente precisa. Así, será necesario en primer lugar diseñar un trabajo de campo que verifique o modifique las presunciones del modelo cartográfico, estableciendo los límites reales de los tipos de hábitat de turbera, la extensión y cobertura de las distintas comunidades vegetales, la forma y extensión de las micro y mesoformas de degradación, etc., así como de todo el sistema funcional del ecosistema de turbera. En un segundo paso, esta información georreferenciada se incorporará a una base cartográfica. En tercer lugar, con la base cartográfica se trabajará en dos direcciones, una retrospectiva y una prospectiva.

De existir información, obtener una visión de la evolución del tipo de hábitat de turbera hasta la actualidad puede ser una herramienta muy útil para comprender o identificar los factores de estrés que sufre el tipo de hábitat, su resiliencia o su sensibilidad a cada uno de ellos. En esta línea son útiles las informaciones aportadas por las series cartográficas y de fotografía aérea antiguas, así como, si existen, los informes y estudios elaborados por distintos organismos públicos.

En los casos presentados en el caso práctico 1, no es posible desarrollar en su totalidad el protocolo propuesto, ya que en el estado actual de conocimiento no hay información suficiente. Por tanto, se trata



de ejemplos incompletos pero ilustrativos de algunas posibles actuaciones o utilidades de estos procedimientos. A medida que se incremente la información conocida los productos obtenidos serán más significativos.

### I.3.1. Delimitación de tipos de turberas de la ZEC ES1120015 Serra do Xistral

Las Serras Septentrionais de Galicia pueden considerarse como el principal núcleo de turberas del sur de Europa. Estas sierras se localizan en el Noroeste de la península ibérica, en el sector occidental de la cordillera Cantábrica, estableciendo una clara separación entre la zona costera y la depresión interior de Terra Chá. Los puntos de mayor altitud de la sierra superan escasamente los 1000 m s. n. m. (Seixo Branco a 1057 m, Chao Lamoso a 1039 m, Xistral a 1036 m, Cadramón a 1062 m, Espita Vella a 1015 m). Su eje principal, la Serra do Xistral, discurre de SW a NE y está rodeada por una cohorte de sierras de menor elevación (500 a 800 m s.n.m.) como son el Macizo da Toxiza, Montes do Buio y Serra de Monseibane.

En esta área se ha desarrollado un trabajo de identificación, tipificación y establecimiento de la superficie ocupada por los tipos de hábitat de turbera; concretamente en la Zona Especial de Conservación (ZEC) ES1120015 Serra do Xistral que forma parte de la Red Natura 2000 de Galicia. Como base tipológica se han empleado los tipos de hábitat establecidos en la obra "Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España", en concreto en el informe para el Grupo 71 Turberas ácidas de esfagnos (Martínez-Cortizas *et al.* 2009), que categoriza los tipos de hábitat de turberas en función de su vía de formación, la posición espacial que ocupan, y se le ha añadido como criterio descriptivo el espesor del manto de turba. En la tabla I.1 se recogen las clases establecidas en la cartografía.



**Tabla 1.1** Clasificación y tipología de turberas. Clases de espesor: 1= >1 m; 2= 1-0,5 m; 3= 0,5-0,3 m. Fuente: elaboración propia.

**Nota:** THIC 7120 Turberas altas degradadas que todavía pueden degradarse de manera natural.

TIPO	THIC	MACRO/MESO-TOPO (Subtipo 1)	MESOTOPO (Subtipo2)	CLASES de ESPESOR
<b>Ombrotróficas (O)</b>	7130	Cobertor (Cb)	Cumbre (C)	1
				2
				3
			Ladera (L)	1
				2
				3
	7110* (7120)	Elevadas (El)	Confinada (Cf)	1
				2
				3
No Confinada (NCf)			1	
			2	
			3	
<b>Minerotróficas (M)</b>	7140		Ladera (L)	1
				2
				3
			Escalón (E)	1
				2
				3
			Alveolo (A)	1
				2
				3
			Valle (V)	1
				2
				3
<b>Sistemas paraturbosos (SPT)</b>	-	-	-	-

## Cartografía de campo

### Fase inicial

Desde el año 1996 hasta el año 2007 se han ido realizando trabajos de campo en los que uno de los objetivos era establecer la distribución, profundidad y tipología de los tipos de hábitat de turbera de las Serras Septentrionais (Pontevedra-Pombal *et al.* 1999; Pontevedra-Pombal 2002; Pontevedra-Pombal & Martínez-Cortizas 2004). A tal efecto, se desarrolló un protocolo de trabajo en el que se realizaron transectos de inspección donde se tomó el espesor y características de la turba cada 50 m, así como muestras a distintas profundidades para realizar diversas analíticas físico-químicas y se establecieron los límites de los tipos de hábitat de turbera con cartografía de campo a escala 1:5.000.



## Fase de revisión

Finalizada la fase inicial, a lo largo del periodo 2010-2016, se llevaron a cabo verificaciones de los límites y de la adscripción tipológica de los tipos de hábitat de turbera a partir de la cartografía confeccionada inicialmente y de las analíticas realizadas.

Esta revisión se realizó empleando un receptor GPS Stonex S-7 mediante registro cinemático con corrección RTK (*Real Time Kinematic*) utilizando para ello la señal Galnet proporcionada por la empresa Cartogalicia. Las deficiencias en la recepción de la señal GPRS en buena parte de las zonas de trabajo hicieron sin embargo muy difícil la obtención de registros centimétricos, por lo que se optó por utilizar un receptor de precisión métrica. Para ello, se utilizó un receptor GPS *Thales Mobile Mapper* mediante registro cinemático con corrección diferencial en posprocesado, para lo cual se utilizaron los datos de las Bases del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS, del inglés *Global Navigation Satellite System*) del IGN de A Coruña y Lugo. La precisión obtenida se estima siempre inferior a 1,5 m en la horizontal. Los valores altitudinales se derivaron posteriormente de la información topográfica utilizada.

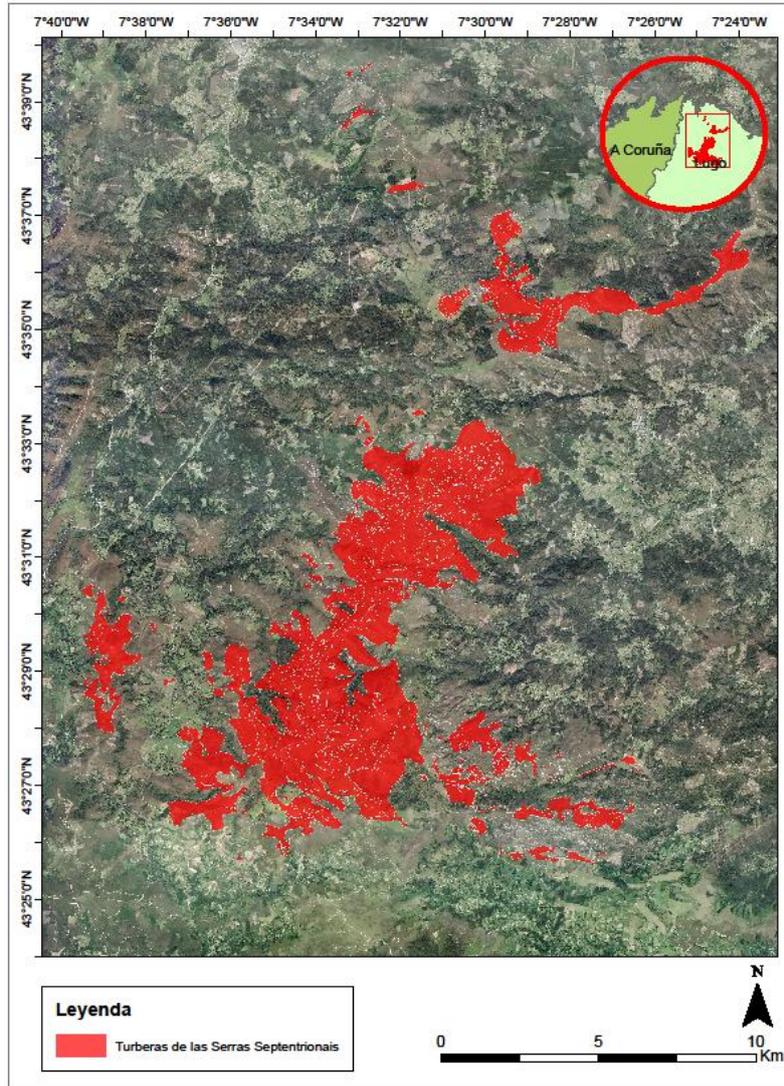
## Cartografía digital

Los datos de cartografía de campo mediante GPS se complementaron con el análisis de imágenes aéreas y fuentes de información topográfica (Andrés 2017). Se utilizaron los ortofotogramas actualizados correspondientes a los años 2004 a 2014 (PNOA cedido por Instituto Geográfico Nacional), además de los ortofotogramas correspondientes al vuelo 1956-1957 (cartografía cedida por Instituto de Estudios do Territorio de la Xunta de Galicia).

Se digitalizaron los límites de cada ecosistema de turbera a partir de la cartografía manual previa revisada, que se georreferencia al sistema de coordenadas ETRS89 UTM Zona 29, para posteriormente realizar la cartografía digital mediante el *software* ArcGIS 10.3 de Esri donde se volcaron los datos GPS de campo, y se ajustaron y verificaron apoyándose en el análisis de las imágenes aéreas e información topográfica.

La información topográfica general se obtuvo a partir de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) del Instituto Geográfico Nacional con tamaño de píxel de 5 m (PNOA cedido por Instituto Geográfico Nacional). Se elaboraron Modelos Digitales del Terreno (MDT) de 5 m y mediante el *software* ArcGIS10.3 de Esri se establecieron los parámetros morfométricos de pendientes y orientaciones. Para cada uno de los polígonos vectoriales correspondientes a los tipos de hábitat de turbera se calcularon los principales parámetros estadísticos (rango, máximo, mínimo, media y desviación estándar). Para determinados sectores, con tipos de hábitat de turbera de especial relevancia o complejidad, se elaboraron MDT de alta resolución a partir de datos LiDAR (LiDAR-PNOA cedidos por Instituto Geográfico Nacional).

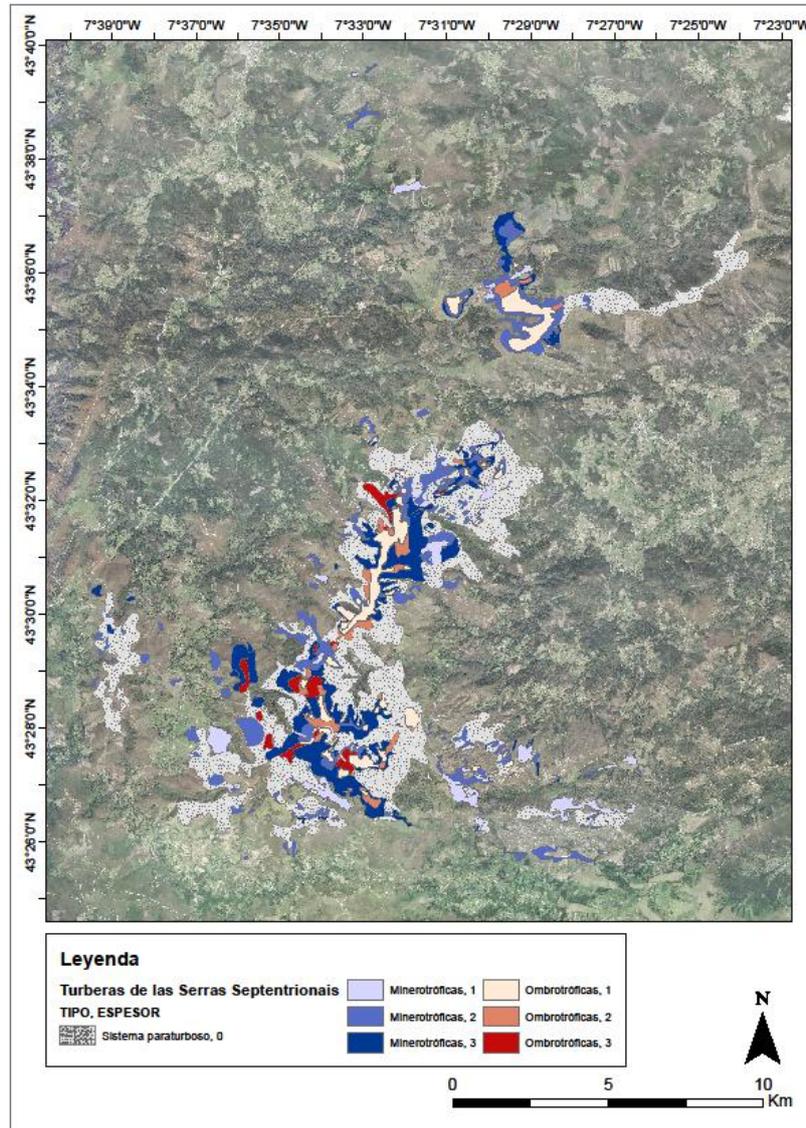
A modo de síntesis, y aceptando la posibilidad de nuevas inclusiones, los resultados indican que en este sector hay un total de 369 tipos de hábitat de turbera (Figura I.5) cuya superficie ocupa un total de 7 437,80 ha y un perímetro de 918 841,53 m. Del total de turberas identificadas y cartografiadas, el 68 % son minerotróficas, el 27 % son ombrotólicas y el 5 % son sistemas paraturbosos.



**Figura I.5** Distribución total de los ecosistemas de turbera de las Serras Septentrionais. Fuente: elaboración propia.

Las formaciones más extensas están constituidas por sistemas paraturbosos, que se localizan en las orlas externas de los tipos de hábitat de turbera, y que constituyen el área de expansión o re-ocupación de estos tipos de hábitat. El tipo más escaso es el de turberas elevadas y particularmente las confinadas, que no alcanzan el 1 % respecto a la extensión total.

Un parámetro esencial para establecer criterios de sensibilidad del tipo de hábitat de turbera es la profundidad del manto de turba. A pesar de esto, no existen hasta ahora estudios que cuantifiquen este parámetro. En el área de estudio (Figura I.6), la clase de profundidad dominante, respecto a la superficie ocupada, en las turberas minerotróficas es la 3 (0,5 a 0,3 m) con 1137 ha y en las turberas ombrotólicas es la 1 (> 1 m) con 572 ha.



**Figura I.6** Cartografía de síntesis de la superficie ocupada por los tipos de hábitat de turbera de las Serras Septentrionais. Fuente: elaboración propia.

### I.3.2. Delimitación del complejo de turberas de Veiga do Tremoal

Una característica de los complejos de turberas, es la dificultad de establecer la presencia y límites de los diferentes tipos de hábitat que los componen, incluso a través del estudio *in situ*, especialmente cuando se trata de Turberas elevadas activas (THIC 7110\*) no confinadas. Su localización se asocia frecuentemente al conocimiento experto, que no siempre es posible aplicar. Una posible aproximación para mejorar la detección y caracterización de estos complejos podría desarrollarse a partir de una combinación de trabajo de campo con técnicas remotas y cartográficas.

La Veiga do Tremoal es un complejo de turberas que alberga tipos de hábitat de interés comunitario 7140 y 7110\*, sistemas paraturbosos y brezales húmedos atlánticos (THIC 4020 Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas de *Erica ciliaris* y *Erica tetralix*, es decir brezales higrófilos) con *Erica mackaiana* sobre suelos con tendencia turbosa, y ambientes lóticos y leníticos. Dentro de cada tipo de



hábitat hay un mosaico diverso de vegetación hidro e higroturbosa, acuática y de matorral con límites netos y difusos. El manto de turba varía entre las zonas más profundas asociadas al THIC 7110\* con más de 3 m de espesor y las menos desarrolladas en los bordes de contacto con los canales del cauce principal y en la transición al brezal con 40 cm de espesor.

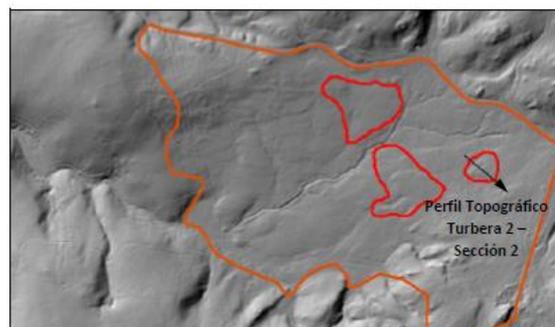
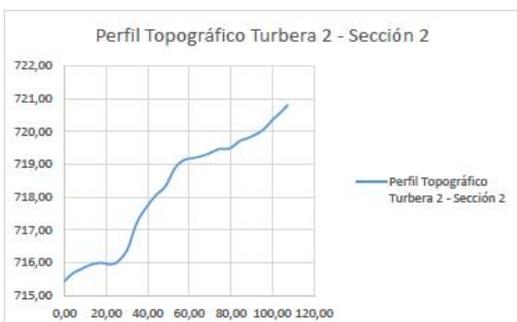
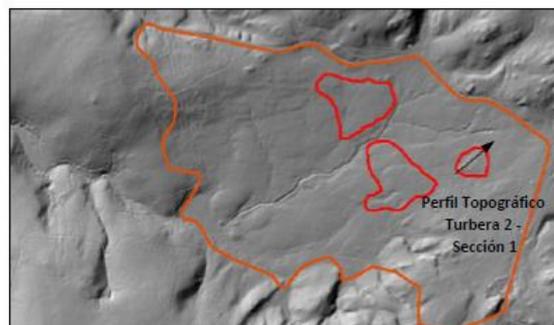
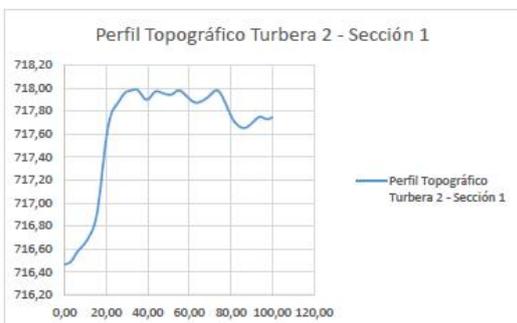
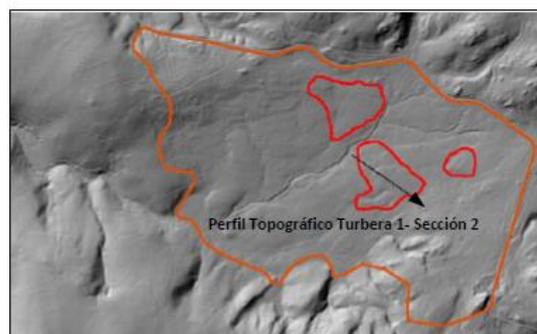
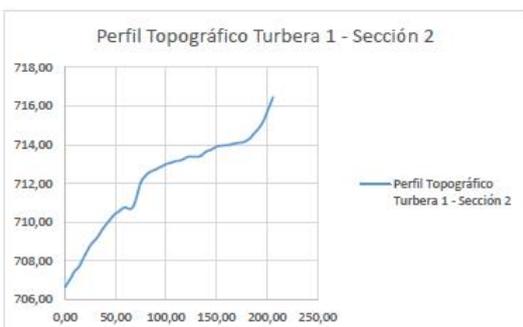
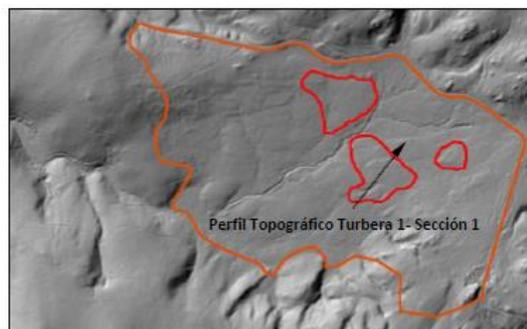
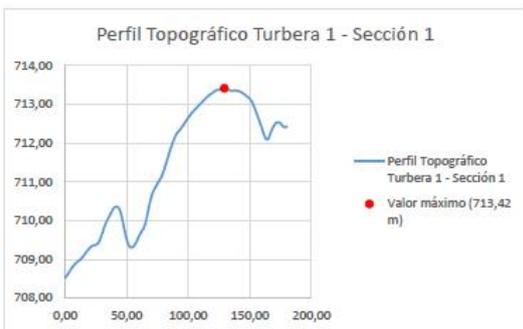
La superficie ocupada por este complejo de turberas, 45,63 ha, con sus diferentes tipos de hábitat de turbera se determinó utilizando una metodología mixta de trabajo remoto y de campo, como se indicó en la metodología de la delimitación de los tipos de turberas de la ZEC ES1120015 Serra do Xistral. Para esta turbera se construyó un MDT de alta resolución utilizando los datos LiDAR en formato de nube de puntos LAS (Figura I.7).

Mediante el *software* SAGA GIS (del inglés *System for Automated Geoscientific Analyses*) se generan MDT de 1 y 0,5 m de tamaño de pixel mediante triangulación. Se generan MDT utilizando solamente los puntos clasificados como 'terreno', y MDT de superficies incluyendo los puntos clasificados como 'terreno', 'vegetación baja' y 'vegetación media', códigos 2, 3 y 4 según la *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS). Para este caso específico los resultados se cotejan con los ortofotogramas del año 2009 (PNOA cedido por Instituto Geográfico Nacional), puesto que el vuelo LiDAR se realizó en dicho año con el fin de detectar las posibles variaciones con respecto a los datos de campo y los registrados en el ortofotograma de máxima actualidad correspondiente al año 2014.

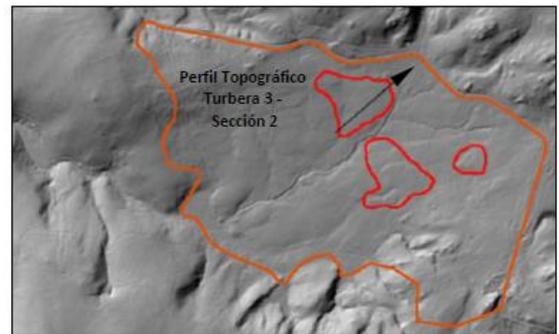
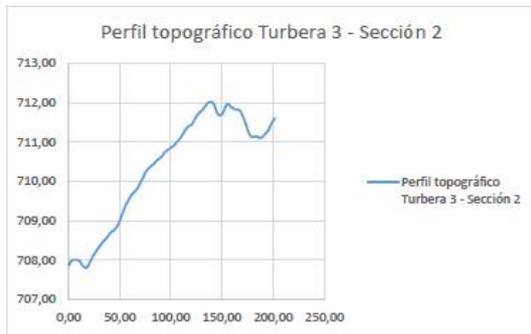
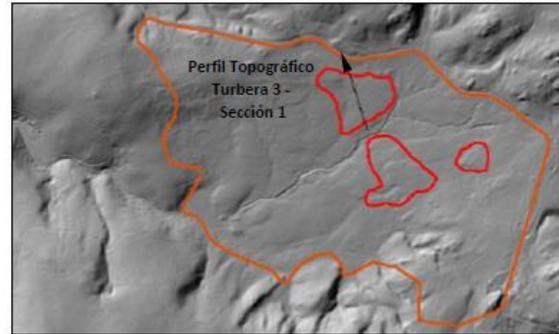
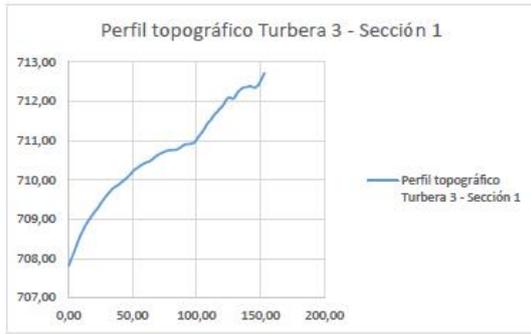
En la turbera Veiga do Tremedal se identificaron y cartografiaron en campo tres posibles mesotopos de turbera elevada (THIC 7110\*). Con los datos recogidos y georreferenciados se localizaron en una base cartográfica. Posteriormente se generaron tres modelos digitales de elevaciones (Figura I.7): uno utilizando solamente los puntos clasificados como 'terreno', un segundo modelo combinando los puntos clasificados como 'terreno' y 'vegetación baja' y un tercer modelo combinando los puntos clasificados como 'terreno', 'vegetación baja' y 'vegetación media'. En los tres modelos se pudieron identificar los mesotopos más meridionales (7110\*-1, 7110\*-2), pero no el 7110\*-3, que presenta una localización más septentrional. Para tratar de resolver esta falta de precisión (de los MDT de 1 m) se procedió a generar perfiles topográficos a partir de los MDT que se obtienen de la triangulación a 0,5 m, obteniendo como resultado una variación en altura de las diferentes secciones de las turberas como se muestra en la Figura I.7.

La detección de turberas elevadas a partir de los datos LiDAR del IGN presenta limitaciones, debiendo establecerse un umbral de detección. Las prescripciones técnicas de los vuelos PNOA establecen una resolución vertical mínima de 0,4 m y una densidad en la horizontal de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>. Atendiendo a estos parámetros, el desnivel mínimo entre una turbera elevada y el terreno circundante que se puede considerar detectable puede situarse en 1 m. Desniveles menores pueden no ser detectados o confundirse con otras irregularidades del terreno o de la superficie vegetal, o relacionarse con la microtopografía.

Con el modelo LiDAR reconstruido, se desarrollaron los perfiles topográficos (Figura I.7) en dos direcciones transversales de los mesotopos del tipo 7110\* para obtener las elevaciones que presentan sobre el nivel de la formación turbosa del tipo 7140. Estos modelos permitieron identificar elevaciones de domo de hasta 3 m por encima del nivel de superficie del THIC 7140. Esta elevación puede presuponer la existencia de condiciones de ombrotrofia, propias de las turberas elevadas.

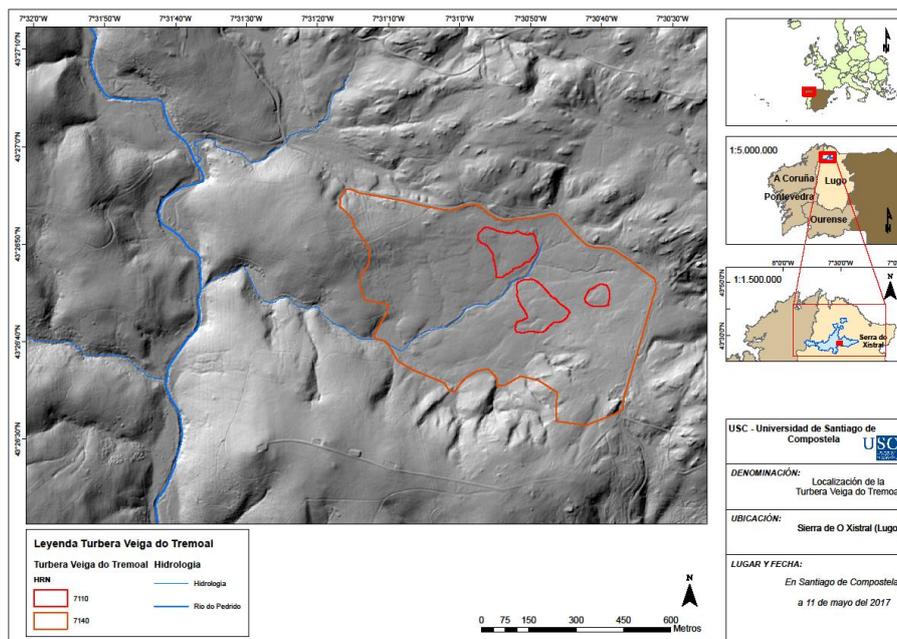


Continúa en la siguiente página ►



**Figura I.7** Modelo digital de elevaciones y perfiles topográficos en dos direcciones transversales de los mesotopos del THIC 7110\* Turberas elevadas activas del complejo de turberas de Veiga do Tremoal. Fuente: elaboración propia.

El producto final obtenido de la aplicación LiDAR se ha representado por una combinación de cartografía y tabla de datos (Figura I.8; Tabla I.2).



**Figura I.8** Superficie ocupada por los THIC 7140 Tremedales y 7110\* Turberas elevadas activas en la turbera de Veiga do Tremoal. Fuente: elaboración propia.



**Tabla I.2** Superficie total ocupada por la turbera de Veiga do Tremoal y las superficies ocupadas por los THIC 7140 Tremedales y 7110\* Turberas elevadas activas. Fuente: elaboración propia.

Tipo de turbera	Espesor	Código THIC	Área (ha)	Perímetro (m)
Minerotrófica de Alveolo	>1	7140	41,60	4559,88
Ombrotrófica Elevada No Confinada (1)	>1	7110*	1,82	600,07
Ombrotrófica Elevada No Confinada (2)	>1	7110*	0,43	245,72
Ombrotrófica Elevada No Confinada (3)	>1	7110*	1,77	574,86
<b>TOTAL</b>			<b>45,63</b>	<b>5980,52</b>

Otro potencial relevante de la combinación del trabajo *in situ* y las técnicas de análisis remoto es la posibilidad de evaluar la evolución del tipo de hábitat en el tiempo, siempre y cuando exista información retrospectiva del mismo. En el caso de la turbera de Veiga do Tremoal combinando distintas fuentes de información se pueden realizar una reconstrucción de su evolución para casi los últimos 60 años.

A modo de ejemplo (Figura I.9), en la imagen del vuelo americano de 1957 se observa que todavía no se había construido la carretera general ni existía actividad forestal dentro de la cuenca hidrológica de la turbera, pero sí ya se habían comenzado a construir los canales de drenaje para favorecer la implantación forestal en su interior. En la ortofotografía de 2002 se comprueba la construcción de la carretera principal de esta sierra, bordeando el sector más llano de la turbera. Esta carretera provocó la ruptura de la conexión hidrológica de la vertiente noreste y la aparición de una laguna en el sector este-sureste de la turbera. El sector oeste y sur de la cuenca fue ocupado por plantaciones forestales de coníferas. La imagen PNOA-2014 muestra una intensa actividad forestal en el entorno de la turbera con un gran incremento de los suelos desnudos en el sector oeste de la cuenca, y la construcción de infraestructuras eólicas (aerogeneradores, pistas y edificaciones) que afectan al sector sur de la cuenca. También es posible observar el funcionamiento de alguno de los canales de drenaje y el colapso de otros.





Esta combinación de metodologías remotas aplicadas sobre conocimiento detallado de campo debería poder implementarse, por ejemplo, con la utilización de drones, para definir mejor:

- Límites entre los distintos hábitats implicados en un ecosistema de turbera.
- Distribución, superficie y límites entre distintos tipos de vegetación de turbera.
- Impacto de la rotura de los circuitos hidrológicos provocados por los canales de drenaje artificial o las diversas infraestructuras.
- Impacto de las actividades forestales (erosión, compactación, etc.).
- Impacto de la carga ganadera (compactación, nitrificación, eutrofización, etc.).

#### I.4. Referencias

Andrés S. 2017. Cartografía digital de las turberas de las Serras Septentrionais de Galicia. Bases para su gestión, protección y conservación. Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería Ambiental. Departamento de Edafología e Química Agrícola, Facultade de Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela. 147 pp.

Martínez-Cortizas A, Pontevedra-Pombal X, Nóvoa-Muñoz J C, Rodríguez R & López-Sáez J A. 2009. Turberas ácidas de esfagnos. 64 pp. En: VV.AA. 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.

Pontevedra-Pombal X & Martínez-Cortizas A. 2004. Turberas de Galicia: procesos formativos, distribución y valor medioambiental. El caso particular de las "Serras Septentrionais". *Chioglossa*. 2: 103-121.

Pontevedra-Pombal X, Martínez-Cortizas A, García-Rodeja E & Nóvoa-Muñoz J C. 1999. Enclaves de interés, desde el punto de vista edafológico, en las Serras Septentrionais (Xístral – Cadramón – Toxiza). Informe técnico. Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural. Xunta de Galicia. 60 pp.

Pontevedra-Pombal X. 2002. Turberas de montaña de Galicia. Génesis, propiedades y su aplicación como registros ambientales geoquímicos. Tesis Doctoral. Dpto. Edafología e Química Agrícola, Fac. Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela. 483 pp.