



DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS Y PASTIZALES *SENSU LATO* EN SUS RESPECTIVOS RANGOS DE DISTRIBUCIÓN

Libertad Juez, Raquel Martínez-Rodrigo,
Rafael Alonso-Ponce, Juan Busqué,
Sonia Roig





DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS
TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE
OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS
Y PASTIZALES *SENSU LATO* EN SUS RESPECTIVOS
RANGOS DE DISTRIBUCIÓN





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 de la encomienda de gestión para el *Desarrollo de las tareas necesarias para integrar los tipos de hábitat de pastos naturales y seminaturales en el 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 2017 y 2019.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec, grupo Tragsa

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo²

Juan Carlos Simón Zarzoso²

David Sánchez Pescador^{2,3}

Coordinación del equipo técnico

Salvia García Álvarez^{2,4}

Autores

Libertad Juez Carretón⁵

Raquel Martínez Rodrigo⁵

Rafael Alonso Ponce⁵

Juan Busqué Marcos⁴

Sonia Roig Gómez⁴

Revisión editorial

Salvia García Álvarez^{2,3}

David Sánchez Pescador^{2,3}

Olga Lamas Murúa²

Jara Andreu Ureta²

¹ Dirección General de Biodiversidad, bosques y desertificación. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec, Grupo Tragsa

³ Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET)

⁴ Sociedad Española de Pastos (SEP)

⁵ föra forest technologies

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Juez L, Martínez-Rodrigo R, Alonso Ponce R, Busqué J & Roig S. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat de prados y pastizales *sensu lato* en sus respectivos rangos de distribución. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 99 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

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ESCALAS DE TRABAJO.....	9
3. FUENTES DE DATOS.....	10
4. ESTIMACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS Y PASTIZALES <i>SENSU LATO</i>.....	19
4.1. Consideraciones previas para delimitar el parámetro ‘Superficie ocupada’	19
4.2. Sistemas naturales maduros	26
4.2.1. Delimitación del área de interés.....	27
4.2.2. Obtención de la ‘verdad-terreno’	27
4.2.3. Generación de imágenes satelitales óptimas.....	28
4.2.4. Generación de variables satelitales	30
4.2.5. Modelos de clasificación mediante técnicas de aprendizaje automático o <i>machine learning</i>	30
4.2.6. Evaluación del modelo	31
4.2.7. Generalización del modelo.....	31
4.3. Sistemas seriales: sistemas naturales de sustitución y sistemas seminaturales	32
4.4. Metodología para delimitar el área de interés	35
4.4.1. Área apta en función de los pisos bioclimáticos en los que se desarrollan	36
4.4.2. Área apta en función del pH del sustrato.....	38
4.4.3. Área apta según la pendiente	40
4.4.4. Área apta según la duración del periodo seco o árido o pluviometría	41
4.4.5. Área apta según la insolación	43
4.4.6. Área apta según el uso SIGPAC más frecuentemente asignado	43
4.4.7. Área apta según la innivación	43
4.4.8. Área apta según la altura de la vegetación (LiDAR)	44
4.4.9. Área apta según el coeficiente de retrodispersión: zonas freáticas.....	47
5. FACTORES DIAGNÓSTICO DE LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS Y PASTIZALES <i>SENSU LATO</i>.....	47
5.1. Sistemas naturales maduros	47
5.1.1. Climosistemas.....	47
5.1.2. Edafosistemas	56
5.2. Sistemas naturales de sustitución. Comunidades herbáceas.....	61

5.2.1.	Pastos perennes mesofíticos	62
5.2.2.	Pastos perennes mediterráneos	65
5.2.3.	Pastos anuales	68
5.2.4.	Megaforbios eutróficos higrófilos	70
5.3.	Sistemas seminaturales	71
5.3.1.	Sistemas seminaturales arbolados: Dehesas	72
5.3.2.	Sistemas seminaturales herbáceos	74
6.	CONCLUSIONES GENERALES	77
7.	REFERENCIAS	79
ANEXO I: Tipos de hábitat de interés comunitario presentes en España relacionados con los prados y pastizales <i>sensu lato</i>		82
ANEXO II. Cálculo de tasas de cambio del parámetro ‘Superficie ocupada’ para un tipo de pastizal de ámbito climatófilo supraforestal: pastizales de <i>Festuca eskia</i>		83
II.1.	Introducción	83
II.2.	Metodología	83
II.2.1.	Delimitación del área de interés	84
II.2.2.	Uso de herramientas de teledetección	87
II.2.3.	Obtención de la ‘verdad-terreno’	90
II.2.4.	Generación de variables de entrenamiento	93
II.2.5.	Modelos de clasificación	93
II.2.6.	Cálculo de la tasa de cambio	94
II.3.	Resultados	94
II.4.	Discusión	97
II.5.	Referencias	99



1. INTRODUCCIÓN

La Directiva europea 92/43/CEE (Directiva Hábitats)¹ obliga a cada Estado miembro de la Unión Europea (UE) a contar con un sistema de seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat y las especies de interés comunitario. Dicha obligación queda patente en España mediante la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. En concreto, la Comisión Europea (CE) establece que el estado de conservación debe determinarse a escala de región biogeográfica aplicando la denominada Matriz General de Evaluación del estado de conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en Europa (European Commission 2011²; DG Environment 2017³). Dicha matriz contiene los criterios y los umbrales de referencia para evaluar el estado de conservación de los tipos de hábitat a través del diagnóstico de los siguientes parámetros: a) 'Área de distribución' (o Rango) del tipo de hábitat, b) 'Superficie ocupada' por el tipo de hábitat dentro de su área de distribución, c) 'Estructura y función' y especies típicas del tipo de hábitat, y d) 'Perspectivas futuras'.

Los prados y pastizales *sensu lato* (en adelante, prados y pastizales) representan prados, pastizales y pastos de puerto, así como, en su caso, pastos arbustivos, y aparecen en la Directiva Hábitats principalmente dentro del grupo 6 'Formaciones herbosas naturales y seminaturales'. Es importante resaltar que el trabajo "Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España" (VV.AA. 2009) ya realizó una caracterización ecológica de este grupo proponiendo un método de evaluación y seguimiento de su estado de conservación, así como recomendaciones para la conservación de aquellos prados y pastizales catalogados como tipos de hábitat de interés comunitario (THIC), que son los que engloba esta monografía. Así, dicho trabajo supone un marco de partida para todos los objetivos abordados en el presente documento.

Antes de profundizar en las cuestiones propiamente relacionadas con la determinación del parámetro 'Superficie ocupada', conviene destacar que los prados y pastizales objeto de este trabajo se caracterizan por presentar una gran variabilidad en tamaño, estructura interna y fragmentación de su área de distribución, lo que complica la determinación de su área ocupada. Tal y como indica San Miguel (2009a), las formaciones herbáceas se caracterizan por un intenso dinamismo intra e interanual, y su presencia, estructura, composición y funcionamiento dependen, a veces, de variaciones microtopográficas y, siempre y de manera muy estrecha, de la actividad del ganado o de los herbívoros silvestres. Asimismo, la heterogeneidad geológica, topográfica, climática, edáfica y fitosociológica de España complica aún más la determinación del parámetro 'Superficie ocupada'. A ello hay que unirle que no existe un inventario detallado de los tipos de hábitat, por lo que no es factible establecer la superficie realmente ocupada por los mismos, ni tampoco determinar su posible evolución o efectuar sistemas de seguimiento.

Por estas razones, y tal y como se menciona en repetidas ocasiones en distintas fichas incluidas en la obra "Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España" (VV.AA. 2009), calcular de manera precisa la superficie ocupada por los prados y pastizales

¹ 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.

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

³ http://cdr.eionet.europa.eu/help/habitats_art17



resulta muy difícil y, como consecuencia, obtener una cartografía detallada a la escala que requiere la aplicación de la Directiva Hábitats no es posible en la práctica.

Ante esta situación, y dado el alcance geográfico de la empresa a acometer, la metodología que se propone consiste en abordar la delimitación del área de interés (AOI, del inglés *Area of Interest*) mediante el uso de sensores remotos, siempre que sea posible. Esto puede resultar útil no solo para determinar la tasa de cambio de la superficie ocupada por los prados y pastizales, sino para establecer la superficie asociada a la realización de un inventario detallado de los tipos de hábitat. Sin embargo, en muchos de los tipos de hábitat no es esperable que este tipo de información proporcione resultados suficientemente satisfactorios, por lo que se proponen alternativas en cada caso.

El uso de imágenes de satélite como las de *Sentinel-2* combinadas con técnicas de clasificación estadística complejas (en concreto, el aprendizaje automático o *machine learning*) tienen un gran potencial para acometer este reto. No obstante, esta metodología presupone la existencia u obtención de observaciones de campo de una muestra suficiente de los tipos de vegetación que se pretende cartografiar ('verdad-terreno'), a una escala espacial y temporal semejante a las de las imágenes satelitales que se usen. La obtención de la 'verdad-terreno' en el caso concreto de los prados y pastizales supone una dificultad añadida puesto que la existencia de mapas de vegetación herbácea u otras fuentes de datos con un nivel de detalle suficiente es realmente escasa (Chocarro 2009; Rigueiro *et al.* 2009). La carencia de una 'verdad-terreno' de calidad provoca que la calidad de los modelos de clasificación automática no sea la deseada (Chuvienco 2010). Para obtener mejores resultados en los modelos, sería necesario abordar trabajos de investigación encaminados a disponer de una cartografía de detalle de los diferentes tipos de hábitat. Sus resultados se podrían emplear como datos de 'verdad-terreno' a la hora de realizar los trabajos de clasificación automática, además de usarse como puntos de referencia para realizar un seguimiento de la superficie ocupada por los distintos tipos de hábitat.

Otra de las dificultades prácticas encontradas al desarrollar este enfoque ha residido en la determinación de los valores de los parámetros de control que limitan el AOI de cada uno de los prados y pastizales. En la bibliografía existente sobre estos tipos de hábitat (San Miguel 2001, 2019; VV.AA. 2009) se explican con profundidad los parámetros diagnóstico pero, al emplearlos, se evidencia la falta de concreción de esos parámetros, dejando lagunas en la descripción de cada tipo de hábitat que no permiten alcanzar la precisión pretendida. A este respecto, se necesitaría establecer valores concretos para dichos parámetros y, así, en este trabajo los valores concretos que se emplean como parámetros de control del AOI provienen de la experiencia personal de expertos en el tema.

Finalmente, hay que reseñar la interesante línea de trabajo y fuente de información que representan las bases de datos de los inventarios de vegetación existentes, como por ejemplo el Sistema de Información de la Vegetación Ibérica y macaronésica (SIVIM⁴), y otras disponibles en las actas de las reuniones de la Sociedad Española de Pastos (SEP). Se cuenta, por tanto, con una vasta colección de datos que, sin embargo, no resultan del todo útiles porque se desconoce la calidad de los mismos: no se tiene conocimiento de los parámetros contemplados para su obtención, ni de si son fieles a los distintos tipos de hábitat o si son representativos o no de los mismos, ni de la exactitud de su geolocalización, etc. Sin embargo, se considera que, tras una depuración, podrían ser de gran utilidad para tareas como la aquí acometida, fundamentalmente por dos razones: permitirían delimitar los rangos de los parámetros de control de los prados y pastizales, y se podría alimentar la 'verdad-terreno' con datos de calidad.

⁴ <http://www.sivim.info/sivi/#novedades>



Con el objetivo de dar respuesta a las obligaciones planteadas por la Directiva Hábitats, y en concreto a las relacionadas con la determinación del parámetro 'Superficie ocupada', el presente trabajo pretende proporcionar la metodología necesaria para delimitar y estimar el área de distribución de los prados y pastizales *sensu lato* y su tasa de cambio. Este parámetro se considera uno de los factores clave que permitirán diagnosticar, de forma periódica, el estado de conservación de dichos tipos de hábitat. Este propósito conlleva la identificación de los factores diagnóstico de cada uno de los tipos de hábitat definidos, su cartografiado preciso y el cálculo de su extensión. Una vez que se tienen bien delimitados los pastos, calcular la superficie de su tasa de cambio es sencillo, puesto que únicamente sería necesario comparar el cartografiado de cada uno de ellos en diferentes años para calcular las modificaciones en su superficie.

2. ESCALAS DE TRABAJO

Las superficies que ocupan los prados y pastizales *sensu lato* son muy variables. Existen tipos de hábitat que ocupan teselas de varios cientos de metros cuadrados y otros que ocupan superficies muy pequeñas, de tan solo unos pocos metros cuadrados, como por ejemplo *Alyso-Sedion albi* con teselas menores de 20 m². Evidentemente, la identificación inequívoca de estos pastos que ocupan manchas de vegetación tan reducida se complica mucho, al igual que ocurre con aquellos que aparecen en mosaico (entremezclados unos con otros), en 'gradines' o muy dispersos (como los prados y pastizales azonales).

Así pues, el tamaño típico y la forma de las manchas que conforman la vegetación es un factor crítico que condiciona el nivel de precisión y detalle con el que hay que trabajar y, por consiguiente, la escala adecuada para cada prado o pastizal. Sin embargo, en muchas ocasiones la escala o precisión del cartografiado no podrá elegirse, sino que dependerá de la calidad de la fuente de datos disponible (principalmente de la calidad de la 'verdad-terreno'). Además, dado que se va a trabajar con Sistemas de Información Geográfica (en adelante GIS, del inglés *Geographic Information System*), las fuentes de datos podrán ampliarse o reducirse hasta alcanzar la escala más adecuada que combine una buena fotointerpretación con una asumible rapidez de elaboración del trabajo.

Respecto a esto último, es necesario hacer notar que el hecho de estar trabajando con cartografía digital obliga a contemplar, además del concepto de 'escala', el concepto de 'resolución', ya que la vista cartográfica sobre la que se esté operando cambiará de escala cada vez que se haga un zoom en el GIS. Así, si se está utilizando información ráster, será necesario definir el 'tamaño de celda' óptimo para conseguir la precisión suficiente sin comprometer la operatividad a causa del tamaño de los archivos. En el caso de que sea vectorial, el parámetro a considerar será el de 'tolerancia', es decir, la distancia mínima entre vértices de una geometría por debajo de la cual ambos vértices son automáticamente fundidos en uno único. La elección de estos dos parámetros deberá hacerse de acuerdo con la escala a la que se desee generar la cartografía final, de tal manera que, en el caso de capas ráster, no sea detectable el 'pixelado' y, en el caso de las vectoriales, no sea notoria la 'angularidad' de las geometrías de líneas o de polígonos.

A continuación, se proponen distintas escalas acordes con las características de cada tipo de hábitat que pueden servir como orientación, pero teniendo siempre en cuenta que, en general, las fuentes de datos existentes serán las que determinen la precisión de la cartografía resultante:



- **Escala 1:25.000 o inferiores:** se recomienda para los tipos de hábitat que cubren grandes superficies y donde la información disponible no permite utilizar escalas de más detalle. Este es el caso de las dehesas cuya fuente principal de información es el Mapa Forestal de España (MFE) que solo está disponible a escala 1:50.000 o 1:25.000.
- **Escala 1:10.000:** se recomienda, por norma general, para los tipos de hábitat de prados y pastizales ya que generalmente aparecen en manchas de superficies pequeñas, muchas veces intercalados con tierras de cultivo o arbolado. Deberá estimarse, para cada caso, si esta escala de trabajo resulta factible para obtener una adecuada precisión de la cartografía a un ritmo de trabajo asumible.
- **Escala 1:5.000:** se recomienda para algunos tipos de hábitat que aparecen en superficies muy pequeñas y dispersos y que requieren un gran detalle de cartografiado. Es el caso de los pastos de puerto que aparecen en 'gradines' (*Caricetea curvulae*, *Ononidetalia striatae*) o tipos de hábitat que ocupan teselas muy reducidas como *Alyso-Seion albi*, *Carici-Kobresietea*, *Plantaginietalia majoris* o *Stellarietea mediae*.

Por otro lado, la periodicidad de cálculo mínima para establecer tendencias en la evolución de las tasas de cambio de la superficie ocupada de los prados y pastizales es también difícil de estimar. Para ello se ha de tener en consideración que la información cartográfica disponible, principalmente la 'verdad-terreno', es un importante limitante que condiciona los resultados obtenidos. Además, es muy posible que cartografiados futuros sean más precisos por la probable evolución de la propia metodología y la mejora de las fuentes de datos, lo que puede verse reflejado en variaciones de la estimación de la superficie ocupada.

Finalmente, las presiones y amenazas más relevantes para estos prados y pastizales son el cambio climático y las actuaciones antrópicas (principalmente las agroganaderas), que se modifican en periodos cortos de tiempo, por lo que se considera razonable la periodicidad de 6 años en la estimación del parámetro 'Superficie ocupada', con los matices que se explican en el apartado 4.3 sobre Sistemas seriales.

3. FUENTES DE DATOS

La calidad de las fuentes disponibles para calcular el área de interés de los prados y pastizales *sensu lato* está íntimamente ligada a la precisión de los resultados obtenidos. En la actualidad, las fuentes de datos existentes tienen resoluciones espaciales bajas o escalas muy pequeñas que provocan que los resultados alcanzados no sean tan satisfactorios como se pretende, por lo que una inversión en la mejora de dichas fuentes de datos supondría una mejora sustancial de los mismos.

Esta carencia de precisión en las fuentes de datos es aún más patente en el caso de los parámetros edáficos, fundamentales en el estudio de los prados y pastizales, puesto que las fuentes disponibles para España tienen resoluciones bastante bajas (250 m en el caso de *SoilGrids*). Por ello, se considera que un esfuerzo en mejorar las cartografías edáficas existentes a resoluciones de al menos 50 m podría dar un salto cualitativo en la calidad de la determinación de la superficie ocupada de los prados y pastizales *sensu lato*.



A día de hoy, la falta de exactitud de las fuentes de datos provoca que sea necesario flexibilizar los límites de los parámetros de control, incluyendo un *buffer* (área de influencia) que asegure que el AOI cubre toda la superficie ocupada por el prado o pastizal con el que se está trabajando. Ese *buffer* podría irse reduciendo en la misma medida en la que las fuentes de datos disponibles fueran mejorando.

Para la consecución de los objetivos marcados en este trabajo se recomienda la utilización de las fuentes de datos enumeradas a continuación, lo que no es óbice para utilizar otras con el objetivo de comprobar la calidad de los resultados obtenidos o con el de servir de apoyo durante el proceso.

Modelo Digital del Terreno de resolución media (25 m) y alta (5 m)

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es un producto cartográfico que incluye valores de altitud y que permite obtener una representación de la superficie terrestre en relieve. Se pueden descargar desde el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)⁵. Se han obtenido por interpolación a partir de la clase 'terreno' de vuelos LiDAR (*Light Detection and Ranging*) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)⁶. El tratamiento de estos ráster resulta muy útil para el propósito del presente trabajo, puesto que permite calcular altitudes, pendientes, orientaciones y otros aspectos relacionados con el relieve que pueden ayudar a definir las AOI de los distintos tipos de hábitat.

SoilGrids

*SoilGrids*⁷ es un portal desarrollado por el *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC), desde el que se puede acceder a capas ráster de propiedades edáficas a dos resoluciones espaciales: 250 m y 1 km. El portal proporciona mapas de propiedades edáficas generados a partir de datos de propiedades del suelo y algoritmos de aprendizaje automático. Se puede obtener información de las características del sitio (profundidad hasta la roca madre), así como de las propiedades físicas y químicas del suelo (densidad aparente, porcentajes de arcilla, limo y arena, fragmentos gruesos, capacidad de intercambio catiónico, contenido de carbono orgánico, pH) a distintas profundidades (0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm). También se pueden obtener clasificaciones del suelo (clase más probable y probabilidades de cada clase) para el sistema WRB (del inglés *World Reference Base*) y USDA (del inglés *United States Department of Agriculture*). Los datos proporcionados por este portal, principalmente el valor del pH, se van a utilizar como uno de los parámetros de control de muchos de los tipos de hábitat estudiados en este trabajo.

Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000

La Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000 (GEODE) es un mapa que representa el resultado de la homogeneización cartográfica de la serie del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 (MAGNA50), que integra 1143 mapas. Como consecuencia del dilatado proceso que ha supuesto la ejecución histórica de esta serie, se advierten diferencias entre sus fases iniciales y finales en cuanto a

⁵ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

⁶ <https://pnoa.ign.es/>

⁷ <https://soilgrids.org>



criterios de asignación de unidades geológicas, nivel de detalle, continuidad de las unidades y estructuras geológicas en los bordes de hojas, codificación y simbologías. Estos inconvenientes fueron corregidos en la cartografía GEODE. La información vectorial (sujeta a tarifa, aunque con fuertes descuentos para organismos públicos y universidades) puede solicitarse a través de correo electrónico mediante un formulario descargable⁸. Un obstáculo a la hora de utilizar esta información es que, al tratarse de cartografía 'geológica', pueden aparecer unidades 'litológicas' mezcladas en un único polígono de igual edad complicando la discriminación del tipo de sustrato. Una alternativa la constituye la Síntesis Litológica de España realizada en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) por el Dr. Sánchez Palomares, a partir de la misma información que utilizó el proyecto GEODE, y que puede ser solicitada en dicha institución.

Mapa Forestal de España de máxima actualidad

El Mapa Forestal de España (MFE) de máxima calidad se compone del MFE a escala 1:25.000 (MFE25), cartografía base del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) para las provincias que ya están disponibles, y del MFE a escala 1:50.000 (MFE50) para el resto de provincias. En la Figura 1 se puede comprobar el estado de ejecución actual del MFE25.

Se puede acceder a los ficheros de descarga desde la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA)⁹. La información se ofrece por comunidad autónoma y separada por provincia en un archivo comprimido que incluye tanto la cartografía en formato vectorial como sus metadatos en formato xml. A partir de los datos del MFE se han realizado las capas de los tipos de dehesas (Sánchez de Dios *et al.* 2019), una fuente de datos fundamental en este trabajo.

En el MFE25 se clasifican dentro del campo 'Tipos estructurales' ('TIPESTR') varias estructuras (tipo 'Herbazal-Pastizal' y tipo 'Prados') que podrían ser útiles en este trabajo pero que no se han utilizado ya que el MFE25 no está disponible para toda España.

⁸ http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geode/docs/solicitud_informacion_GEODE.pdf

⁹ <https://www.mapa.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/desarrollo-rural/mfe.aspx>



La capa 'T_POLIGONOS', contiene la geometría de los polígonos SIOSE y un campo identificado como 'SIOSE' con el que resulta difícil trabajar puesto que puede codificar coberturas compuestas. Con el fin de poder realizar consultas sencillas o filtrar por los campos que interesen de los códigos SIOSE será necesario realizar una unión (*join*) entre la capa que contiene la geometría y una de las bases de datos incluidas en el *GeoPackage* (p. ej. 'T_VALORES', que contiene la información de las coberturas y atributos asociados a cada polígono SIOSE). La capa y la tabla se relacionan con el campo común 'ID_POLYGON'. El campo 'ID_COBERTURAS' identifica cada una de las coberturas SIOSE tal y como se describen en la tabla 'TC_SIOSE_COBERTURAS' (dentro del *GeoPackage*). La Guía Técnica de SIOSE¹¹ detalla cómo trabajar con estas capas.

El SIOSE se va a usar fundamentalmente para determinar la superficie ocupada por algunos de los edafosistemas.

Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas

El Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) es una base de referencia para la identificación de las parcelas agrícolas en el marco de la Política Agrícola Común (PAC), cuya escala es, desde 2016, 1:5.000. El SIGPAC es una base de datos que contiene una imagen aérea de todo el territorio nacional y la delimitación geográfica e información alfanumérica asociada de los recintos SIGPAC, siendo el recinto SIGPAC una superficie continua de terreno dentro de una parcela catastral con uso único. El gran potencial de esta base de datos radica en que la información que recoge está sometida a diversas actividades de mantenimiento y actualizaciones periódicas con el objetivo de reflejar la realidad del territorio lo antes posible. Así, se realizan revisiones sistemáticas de cambios por fotointerpretación de nuevas ortofotografías aéreas, se examinan todas las parcelas que entran en el sistema, y se integran las alegaciones de los agricultores y los controles realizados sobre el terreno. Además, también se realizan actualizaciones del coeficiente de admisibilidad de pastos (CAP) y la renovación de la información sobre pastos permanentes.

'Uso_SIGPAC' es un campo que llevan todos los recintos incluidos en SIGPAC. Los usos en los que pueden englobarse los pastos son principalmente PA ('Pasto con arbolado'), PR ('Pasto arbustivo'), PS ('Pastizal') o IM ('Improductivos') e incluso AG ('Aguá') en alguno de los edafosistemas costeros.

El SIGPAC se descarga en los distintos servidores de las comunidades autónomas: Cataluña (por comarcas)¹²; Castilla y León (por provincias)¹³; Navarra¹⁴; Andalucía (por provincias)¹⁵, etc. También es posible acceder directamente a los visores de todas las comunidades autónomas a través de la página web del MAPA¹⁶.

¹¹ <https://www.siose.es/web/guest/documentacion>

¹² <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/aplicatiu-tematics-geoinformacio/sigpac/descarregues/>

¹³ http://ftp.itacyl.es/cartografia/05_SIGPAC/

¹⁴ <https://sigpac.tracasa.es/descargas/>

¹⁵ <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/areas/politica-agraria-comun/paginas/sigpac-descarga-informacion-geografica-shapes-provincias.html>

¹⁶ [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac-/](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/)



LiDAR

LiDAR (*Light detection and ranging*) es una técnica de teledetección óptica consistente en un conjunto de procedimientos que permiten determinar la distancia desde un emisor a un objeto o superficie utilizando un haz láser. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión y su detección a través de la señal reflejada. Con el valor de dicha distancia, unido al dato de la posición absoluta del emisor y el ángulo de apuntamiento del sistema láser, se pueden calcular las coordenadas x-y-z de la posición de un objeto. Se pueden descargar las hojas LAZ de los vuelos PNOA desde la web del Centro de Descargas del CNIG¹⁷. En España se ha realizado una primera cobertura LiDAR (2008-2015) con una densidad de 0,5 puntos/m², y se está realizando una segunda cobertura que aún está incompleta, con densidades nominales de 1,0 puntos/m². El estado de desarrollo de esta segunda cobertura y sus atributos más relevantes pueden consultarse en la web del PNOA¹⁸.

Ortofotografía aérea

Se trata de una imagen aérea de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones. Resulta muy útil para cartografiar muchos de los tipos de hábitat o para comprobar la validez de los modelos realizados mediante técnicas de aprendizaje automático. Se puede obtener de distintas fuentes, tanto como un servicio WMS (del inglés *Web Map Service*) como en ráster: IGN, SIGPAC, *Google Earth* o institutos cartográficos autonómicos.

Índices espectrales de vegetación

Los índices espectrales de vegetación como el Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI, del inglés *Normalized Difference Vegetation Index*), el Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI, del inglés *Soil Adjusted Vegetation Index*), el Índice de vegetación mejorado (EVI, del inglés *Enhanced Vegetation Index*), etc., son combinaciones de bandas espectrales que tienen como función realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmósfera, que pueden producir interferencias en la señal radiométrica. El uso de cocientes e índices para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. La ventaja que tiene respecto al uso de bandas espectrales individuales es que muestra una mayor correlación con parámetros ecológicos y agronómicos como biomasa, índice de área foliar (LAI, del inglés *Leaf area index*), etc.

Imágenes satelitales

Se trata de imágenes de la misión *Sentinel* (programa *Copernicus*, UE). La misión de *Sentinel-2* está compuesta por dos satélites gemelos *Sentinel-2A* y *Sentinel-2B*, separados 180 grados, esto implica que cada cinco días hay datos de todas las superficies con una alta resolución espacial. *Sentinel-2* proporciona imágenes ópticas terrestres de alta resolución para servicios terrestres (monitorización de la vegetación, cobertura del suelo y agua, vías navegables interiores y zonas costeras). *Sentinel-1* es una

¹⁷ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

¹⁸ <https://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar/segunda-cobertura>



misión radar en órbita polar capaz de tomar imágenes en cualquier condición meteorológica, de día o de noche, para estudiar la superficie de la tierra y los océanos. La descarga de las imágenes se realiza desde la aplicación abierta de la Agencia Espacial Europea (ESA, del inglés *European Space Agency*) llamada *Copernicus Open Access Hub*¹⁹.

Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 de Rivas-Martínez (1987)

Salvador Rivas Martínez desarrolló el Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 a partir de la revisión de las series de vegetación de Luis Ceballos (1941). Dicho trabajo de síntesis lo realizó en 1981 y lo revisó en 1987. Delimitó las áreas de las series de vegetación en un mapa nacional a escala 1:400.000. Todas las series de vegetación de España quedaron distribuidas en tres regiones biogeográficas y en 14 pisos bioclimáticos. Esta información se encuentra disponible en el Banco de Datos de la Naturaleza (BDN), en la página web del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)²⁰ desde donde es posible descargar una capa de las series de vegetación para la península ibérica e islas Baleares, otra capa para las islas Canarias y un archivo denominado 'Diccionario de datos.xls' donde se describen las características de la base de datos de las capas. El diccionario de datos que acompaña a las capas de las series de vegetación indica los pisos bioclimáticos existentes, la codificación con la que aparecen en las capas y el clima que lo define. La región biogeográfica eurosiberiana es posible dividirla a su vez en dos: la región alpina y la región atlántica. El *shapefile* que las contiene se descarga también de la página web del MITECO²¹. Estas capas se van a usar con asiduidad como un primer parámetro de control para definir el AOI de los distintos tipos de hábitat estudiados, puesto que el piso bioclimático en el que se desarrollan es característico de cada uno de ellos.

Atlas y manual de los tipos de hábitat naturales y seminaturales españoles

El Atlas y manual de los tipos de hábitat naturales y seminaturales españoles es una guía sobre los tipos de hábitat de interés comunitario (THIC), en la que se pueden encontrar las fichas individuales de los presentes en España, con una descripción de cada uno de ellos e información sobre su área de distribución, sus requerimientos ecológicos básicos y sus especies características. Las capas de cada tipo de hábitat, de cuadrícula 10 x 10 km, se van a utilizar para comparar el área de distribución que contienen para cada prado o pastizal con el obtenido por la metodología propuesta, tal y como se explica en el apartado 4.2.1. sobre delimitación del área de interés. Toda esta información está disponible en la página web del MITECO²².

Las capas de los THIC enviadas por España a la Comisión Europea en el último informe sexenal (periodo 2013-2018) del artículo 17 de la Directiva Hábitats se pueden descargar del repositorio central de datos de EIONET (*European Environment Information and Observation Network*)²³.

¹⁹ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

²⁰ https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx

²¹ <https://www.miteco.gob.es/app/descargas/descargafichero.aspx?f=RegionesBio.zip>

²² https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/red-natura-2000/rn_tip_hab_esp_tipos_habitat_IC.aspx

²³ <https://cdr.eionet.europa.eu/es/eu/art17/envxrm14a/>



Fotografía aérea 3D

En algunos casos es conveniente conocer el relieve de las formas, ya que su volumen permite delimitar correctamente la extensión de un determinado tipo de hábitat. Es preciso entonces disponer de la visión tridimensional o estereoscópica de la fotografía aérea. Estas fotografías aéreas pueden resultar muy útiles como apoyo en los momentos en que sea necesario realizar fotointerpretación. Se pueden descargar fotografías aéreas en 3D de distintos repositorios autonómicos; su visionado necesita del uso de un estereoscopio. Se puede utilizar también el visor 3D del IGN²⁴, que da acceso a fotografías aéreas 3D de todo el territorio nacional y cuya visión requiere únicamente de unas gafas 3D anaglíficas.

Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Grassland

Forman parte del componente paneuropeo de *Copernicus*, junto con *CORINE Land Cover* (del inglés, *Coordination of Information on the Environment*) y otros productos derivados. Cada *High Resolution Layer* (HRL) se produce a partir de imágenes satelitales, a través de una combinación de procesamiento automático y clasificación basada en reglas interactivas. Los temas disponibles son: el nivel de suelo sellado (impermeabilidad), la densidad de la cubierta arbórea y el tipo de bosque, los pastizales, la humedad y el agua. El más interesante para este trabajo es el '*HRL Grassland 2018*', que incluye las siguientes capas: '*Grassland*' (GRA), '*Grassland Vegetation probability Index*' (GRAVPI) y '*Ploughing Indicator*' (PLOUGH). GRA es la capa principal de '*HRL Grassland*' y consiste en una clasificación binaria de pastizal/no pastizal. Da información básica de vegetación herbácea y no leñosa que incluye todo tipo de pastizales, los gestionados, los seminaturales y los supraforestales. Este producto define los pastizales como la vegetación herbácea con al menos un 30% de cobertura del suelo de la cual al menos un 30% son gramíneas. También puede incluir especies no leñosas como líquenes, musgos y helechos, y árboles y arbustos dispersos ocupando un máximo del 10% de la superficie. Está disponible en dos resoluciones de píxel de 10 y 100 m. PLOUGH y GRAVPI son mapas complementarios realizados ambos con un tamaño de píxel de 10 m. El primero indica los años (de 1 a 6) que hace desde la última vez que el terreno fue arado, mientras que GRAVPI proporciona una medida de la fiabilidad de la clasificación (rango de 1 a 100). *HRL Grassland 2018* se encuentra disponible y se puede descargar en el portal de *Copernicus*²⁵.

En lo que incumbe a este trabajo, la capa '*Grassland*' puede resultar útil para realizar el cartografiado, la comprobación de la 'verdad-terreno' o los resultados de los modelos. Sin embargo, este mismo objetivo, discernir las áreas que son o no pastizales, se puede conseguir mediante el uso de las capas SIGPAC, las cuales se han priorizado en este trabajo frente a la capa '*Grassland*', por dos razones principales. La primera es que el SIGPAC recoge los cambios anualmente mientras que GRA presenta una imagen estática de un año de referencia, 2018 en este caso, por lo que no representa la situación actual del territorio. La segunda, es que en la capa GRA quedan excluidas de la categoría pastizal las áreas con una cobertura de arbolado mayor al 10%, por lo que muchos prados y pastizales *sensu lato* que prosperan bajo arbolado, como los pastizales de las dehesas, no se clasifican como tales. Por el contrario, en el SIGPAC, entre las clases del campo 'Uso_SIGPAC' existen tres para los pastos: el 'Pastizal' (PS), el 'Pasto con arbolado' (PA) y el 'Pasto arbustivo' (PR); clasificación que resulta muy interesante para el objetivo

²⁴ <http://www.ign.es/3D-Stereo/>

²⁵ <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland>



de este trabajo. La clase PA incluye las superficies cubiertas de árboles dispersos y con un estrato herbáceo bien desarrollado, en las que han sido eliminada gran parte de la vegetación arbustiva y cuya superficie cubierta por árboles es como mínimo del 5% y, como máximo, del 60%. Por tanto, el SIGPAC sí que incluye los pastizales que se desarrollan con arbolado como las dehesas, fundamentales en el paisaje español y más en zonas mediterráneas donde el arbolado puede retrasar el agostamiento del pastizal y dar sombra al ganado.

Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios

El Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA) es una aplicación que publica y difunde información geográfica procedente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), y desarrollada a iniciativa de la Subdirección General de Cultivos Herbáceos e Industriales adscrita a la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios del Ministerio. Entre la información que permite consultar el SIGA destacan, por su interés para este trabajo, los mapas temáticos sobre variables agroclimáticas y, en concreto, la información sobre pluviometría media anual y el período seco o árido. Se puede consultar la información en el portal SIGA²⁶. En dicho portal no es posible descargar las capas, pero sí que se pueden solicitar las mismas al Ministerio.

Igualmente de interés resultan las capas ráster del Atlas Climático Ibérico²⁷, en el que se cuenta con los valores de las temperaturas del aire y precipitación. Estas capas tampoco están disponibles para su descarga directa, pero es posible solicitarlas a la Agencia Española de Meteorología (Aemet).

Bases de datos con inventarios florísticos

Las bases de datos de inventarios florísticos, como sPlot (*The Global Vegetation Database*)²⁸; EVA (*European Vegetation Archive*)²⁹; GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*)³⁰, SIVIM (Sistema de Información de Vegetación Ibérica y Macaronésica)³¹, ANTHOS (Sistema de información sobre las plantas de España)³², se consideran de gran utilidad para refrendar los resultados obtenidos o comprobar ubicaciones concretas de los tipos de hábitat. Sin embargo, para utilizarse de manera generalizada con el objetivo de estimar el parámetro 'Superficie ocupada' por los prados y pastizales, sería necesario depurar y sistematizar sus registros previamente. Se considera muy interesante realizar un esfuerzo para mejorar la calidad de estos inventarios ya que sus datos pueden ser una fuente de datos futura muy valiosa con la que corroborar la calidad y superficie de los distintos tipos de hábitat.

²⁶ <https://sig.mapama.gob.es/siga/>

²⁷ [http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos en linea/publicaciones y estudios/publicaciones/detalles/Atlas-climatologico](http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos%20en%20linea/publicaciones%20y%20estudios/publicaciones/detalles/Atlas-climatologico)

²⁸ <https://www.idiv.de/en/splot.html>

²⁹ <http://euroveg.org/eva-database>

³⁰ <https://www.gbif.org/es/>

³¹ <http://www.sivim.info/sivi/>

³² <http://www.anthos.es/>



4. ESTIMACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS Y PASTIZALES *SENSU LATO*

4.1. Consideraciones previas para delimitar el parámetro 'Superficie ocupada'

Los prados y pastizales *sensu lato* engloban una amplia diversidad de ecosistemas y tipos de hábitat caracterizados por un gran dinamismo y una dependencia del tipo de sustrato, del clima y del manejo. Además, en muchas ocasiones esas condiciones varían a escala microtopográfica, lo que provoca que los prados y pastizales aparezcan de forma fragmentada y/o en mosaico.

En la Figura 2 se muestra el esquema de la clasificación de todos los prados y pastizales con los que se va a trabajar, incluyendo los factores discriminantes para cada uno de los grupos.

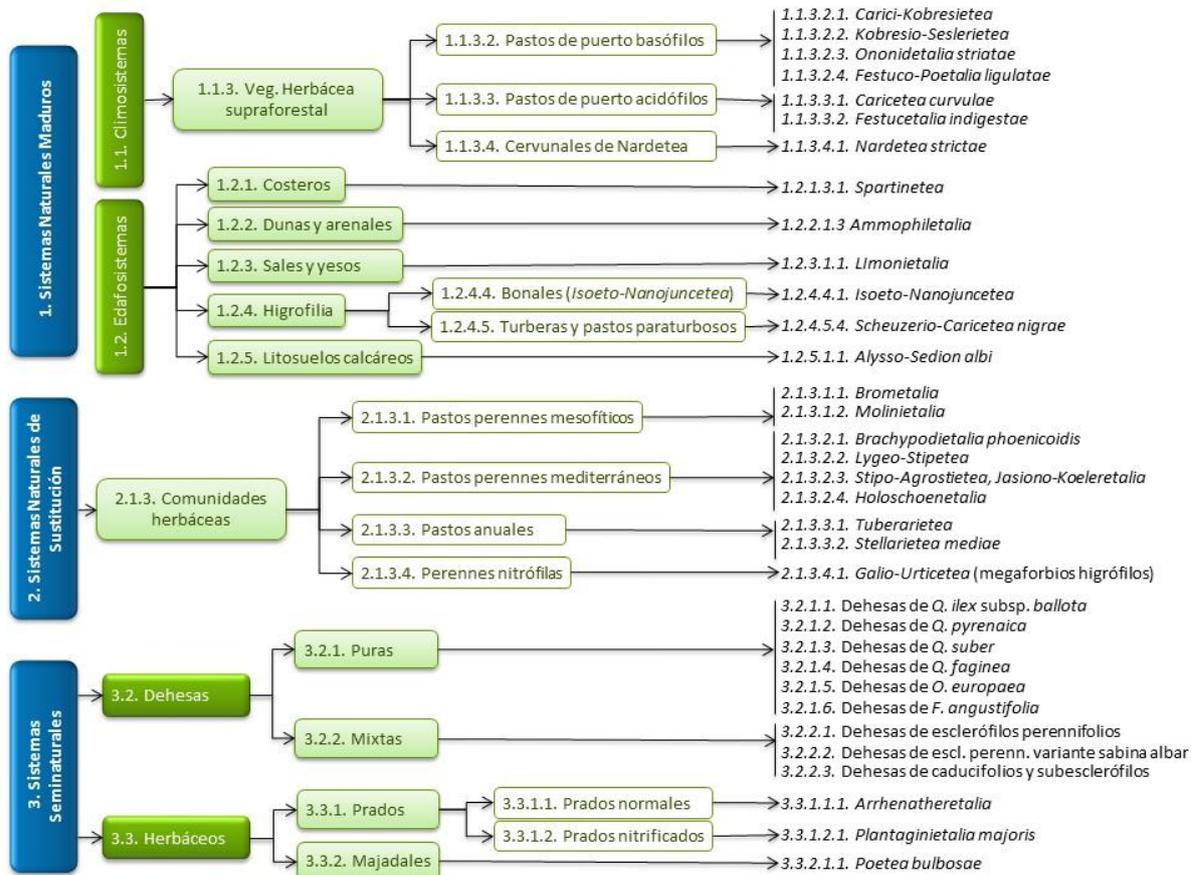


Figura 2 Diagrama discriminante de la clasificación de los tipos de hábitat de prados y pastizales *sensu lato*. Fuente: extraída de San Miguel (2019).

Así mismo, en la Tabla 1 se incluye la clasificación de los prados y pastizales *sensu lato* con los que se va a trabajar, agrupándolos por su tipología e indicando su correspondencia con la nomenclatura europea EUNIS (*European Nature Information System*) y con la terminología de los THIC empleada en la Directiva Hábitats.



La gran variabilidad de los prados y pastizales *sensu lato* hace que sea tremendamente difícil establecer una metodología común para todos ellos, puesto que la escala de trabajo y la respuesta a la detección con sensores remotos es muy heterogénea. Sin embargo, entre los tipos de hábitat que se pretende estudiar sí hay dos grupos claramente diferenciados: los sistemas naturales maduros, por una parte, y los sistemas naturales de sustitución y los sistemas seminaturales, por otra. La escala de trabajo y la respuesta diferencial a la detección con sensores remotos es netamente diferente entre unos y otros, lo que obliga a proponer dos metodologías distintas. Asimismo, el método que se utilizará para calcular el parámetro 'Superficie ocupada' de cada uno de los prados y pastizales también variará dentro de cada grupo.

La primera parte de la metodología se centrará en los sistemas naturales maduros, los cuales constituyen la vegetación permanente. Este tipo de ecosistemas solo se presenta en los lugares donde las condiciones ecológicas son extremas e impiden la existencia de vegetación leñosa, lo que ocurre en la alta montaña y en enclaves costeros, de dunas y arenales, o halófilos. Pueden clasificarse, a su vez, en climosistemas o comunidades zonales caracterizadas principalmente por el clima, y en edafosistemas o comunidades azonales caracterizadas por motivos edáficos.

En principio, al menos desde un punto de vista teórico, es esperable que los climosistemas y los edafosistemas sean susceptibles de ser evaluados mediante el empleo de técnicas de teledetección, en combinación con cartografía temática (cuando exista), modelos digitales del terreno y técnicas de aprendizaje automático. En este primer grupo se integrarían, pues, las comunidades incluidas en la Tabla 2.

La segunda parte de la metodología se centrará en los sistemas naturales de sustitución y los sistemas seminaturales. La gran extensión, la falta de especificidad en sus atributos espectrales y/o la falta de cartografía temática de estos sistemas, provoca que deban ser utilizadas técnicas de muestreo de campo que permitan identificar, sin ningún género de dudas, a qué prados y pastizales pertenece cada unidad cartográfica. No obstante, es obvio que el uso de cartografía de diferente índole (MFE, SIGPAC, mapas temáticos de atributos litológicos, propiedades edáficas, etc.) resulta de gran ayuda para el diseño de un muestreo operativo y eficiente. En este segundo grupo se incluirían las comunidades representadas en la Tabla 3.



Tabla 1 Prados y pastizales *sensu lato* ordenados por grupos y con sus correspondencias con el sistema europeo EUNIS y los tipos de hábitat de interés comunitario (THIC).

Fuente: elaboración propia.

Nota: la denominación de los THIC puede consultarse en el Anexo I. Los THIC que se señalan con un asterisco (*) son considerados prioritarios.

Grupo	Código	Nombre	Correspondencia EUNIS	Correspondencia THIC	Descripción
1. Pastos climatófilos de alta montaña	1.1.3.2.1	<i>Carici-Kobresietea</i>	E4.42	6170	Pastos de puerto basófilos, quionófilos, alpinos, con cobertura completa, dominados por gramíneos. <i>Kobresia myosuroides</i>
	1.1.3.2.2	<i>Kobresio-Seslerietea</i>	E4.41	6170	Pastos de puerto basófilos, algo quionófilos, con cobertura completa
	1.1.3.2.3	<i>Ononidetalia striatae</i>	E4.43	6170	Pastos de puerto eurosiberianos basófilos, a menudo crioturbados. <i>Festuca scoparia</i> , <i>F. spadicea</i>
	1.1.3.2.4	<i>Festuco-Poetalia ligulatae</i>	E1.53	6170	Pastos de puerto mediterráneos basófilos, crioturbados, quionófilos, con cobertura incompleta. <i>Festuca hystrix</i> , <i>Poa ligulata</i>
	1.1.3.3.1	<i>Caricetea curvulae</i>	E4.33	6140	Pastos de puerto eurosiberianos acidófilos, sin freatismo. <i>Festuca eskia</i> , <i>Festuca airoides</i>
	1.1.3.3.2	<i>Festucetalia indigestae</i>	E4.36	6160	Pastos de puerto mediterráneos acidófilos, sin freatismo. <i>Festuca indigesta</i> , <i>F. pseudoeskia</i> , <i>F. clementei</i>
2. Pastos seriales de alta y media montaña	1.1.3.4.1	<i>Nardetea strictae</i>	E4.31, E1.7, E1.83	6230*	Cervunales y pastos mesofíticos acidófilos de <i>Festuca rubra</i> , <i>Nardus stricta</i> , <i>Agrostis capillaris</i> , <i>Danthonia decumbens</i>
	2.1.3.1.1	<i>Brometalia</i>	E1.26	6210	Pastos perennes mesofíticos basófilos, sin freatismo: <i>Bromus erectus</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Trifolium montanum</i> , etc.
3. Pastos perennes mediterráneos	2.1.3.2.1	<i>Brachypodietalia phoenicoidis</i>	E1.2A		Pastizales perennes mediterráneos basófilos, agostantes. <i>Brachypodium phoenicoides</i> , <i>Elytrigia</i>
	2.1.3.2.2	<i>Lygeo-Stipetea</i>	E1.3, E1.4, E1.5	1510* (albardinales) y 6220* cerverales (<i>Brachypodium retusum</i>)	Pastizales basófilos mediterráneos xerófilos: <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Lygeum spartium</i> , <i>Brachypodium retusum</i> , <i>Hyparrhenia</i> , <i>Stipa</i> spp., etc.
	2.1.3.2.3	<i>Stipo-Agrostietea</i> , <i>Jasiono-Koeleretalia</i>	E1.8, E2.41 (<i>Agrostion</i>)		Pastizales mediterráneos perennes acidófilos de talla alta: <i>Stipa gigantea</i> , <i>Festuca elegans</i> , <i>Agrostis castellana</i> , <i>Festuca ampla</i> etc.

Continúa en la siguiente página ►



Grupo	Código	Nombre	Correspondencia EUNIS	Correspondencia THIC	Descripción
4. Pastos de anuales	2.1.3.3.1	<i>Tuberarietea</i>	E1.91 (<i>Tuberarietalia</i>); E1.313 (<i>Brachypodietalia distachyae</i>), E1.A1 (<i>Malcolmietalia</i>)	6220* (basófilos: <i>Trachynietalia: Brachypodietalia distachyae</i>)	Pastos anuales sin salinidad, encharcamiento u otras situaciones especiales
	2.1.3.3.2	<i>Stellarietea mediae</i>	E1.6 (<i>Thero-Brometalia</i>) E5.1		Comunidades anuales nitrófilas: ruderales, arvenses y otras
	3.3.2.1.1	<i>Poetea bulbosae</i>	E1.32	6220*	Majadales de <i>Poa bulbosa</i>
	1.2.5.1.1	<i>Alysso-Sedion albi</i>	H3.6	6110*	Comunidades basófilas de crasifolios
5. Dehesas		Dehesas puras de <i>Quercus ilex</i> subsp <i>ballota</i>	E7.3	6310	Dehesas puras de <i>Quercus ilex</i> subsp <i>ballota</i>
		Dehesas puras de <i>Q. pyrenaica</i>	E7.3		Dehesas puras de <i>Quercus pyrenaica</i>
		Dehesas puras de <i>Q. suber</i>	E7.3		Dehesas puras de <i>Quercus suber</i>
		Dehesas puras de <i>Q. faginea</i>	E7.3		Dehesas puras de <i>Quercus faginea</i>
		Dehesas puras de <i>O. europaea</i>	E7.3		Dehesas puras de <i>Olea europaea</i>
		Dehesas puras de <i>F. angustifolia</i>	E7.3		Dehesas puras de <i>Fraxinus angustifolia</i>
		Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios en ambientes secos	E7.3		Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encina, alcornoque y olivo) en ambientes secos
		Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios en ambientes secos. Variante basófila con sabinas albares	E7.3	9560*	Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encina, alcornoque y olivo) en ambientes secos. Variante basófila con sabinas albares
	Dehesas mixtas de caducifolios y subesclerófilos en fondos de valle	E7.3		Dehesas mixtas de caducifolios (frenos) y subesclerófilos (melojos y quejigos) en fondos de valle. También pueden aparecer encinas y alcornoques	
6. Prados	3.3.1.1.1	<i>Arrhenatheretalia</i>	E2.1 (diente), E2.2 (siega)	6510 (<i>Arrhenatherion</i>) y 6520 (<i>Trisetum-Polygonion</i>)	Prados normales de diente o de siega
	3.3.1.2.1	<i>Plantaginietalia majoris</i>	E2.11		Prados nitrificados

Continúa en la siguiente página ►



Grupo	Código	Nombre	Correspondencia EUNIS	Correspondencia THIC	Descripción
7. Prados encharcados/ Pastos higróturbosos	1.2.4.5.4	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>	D	7110, 7130, 7140, 7150, 7230	Tremedales y ciénagas higróturbosas
	2.1.3.1.2	<i>Molinietalia</i>	E3.16, E3.4, E3.51	6410	<i>Molinietas</i> , prados juncuales con freatismo permanente. <i>Molinia caerulea</i>
	2.1.3.2.4	<i>Holoschoenetalia</i>	E3.1	6420	Juncuales mediterráneos y pastizales mediterráneos con freatismo temporal (tempohigrófilos). <i>Scirpoides holoschoenus</i>
8. Espartinales	1.2.1.3.1	<i>Spartinetea</i>	A2.5	1320	Espartinales marítimos, desembocaduras y estuarios
9. Vegetación ligada a dunas	1.2.2.1.3	<i>Ammophiletalia</i>	B1.3	2120	Dunas interiores fijadas, menos salinas, donde destaca el barrón (<i>Ammophila arenaria</i>)
10. Estepas salinas	1.2.3.1.1	<i>Limonietalia</i>	E6.1	1510*	Estepas pioneras salinas mediterráneas
11. Bonales	1.2.4.4.1	<i>Isoeto-Nanojuncetea</i>	C3.5, E2.42 (<i>Agrostion pourretii</i>)	3170*	Bonales de invierno, pastizales inundados agostantes
12. Megaforbios	2.1.3.4.1	<i>Galio-Urticetea</i>	E5.41	6430	Megaforbios eutróficos higrófilos



Tabla 2 Prados y pastizales *sensu lato* cuya superficie ocupada es susceptible de ser evaluada mediante sensores remotos. Fuente: elaboración propia.

Sistemas naturales maduros	Tipo	Grupo	Nombre vulgar	Nombre fitosociológico
Climosistemas	Vegetación herbácea supraforestal	1. Pastos climatófilos de alta montaña	Pastos de puerto basófilos	<i>Carici-Kobresietea</i>
				<i>Kobresio-Seslerietea</i>
				<i>Ononidetalia striatae</i>
				<i>Festuco-Poetalia ligulatae</i>
		2. Pastos seriales de alta y media montaña	Cervunales de <i>Nardetea</i>	<i>Caricetea curvulae</i>
				<i>Festucetalia indigestae</i>
Edafosistemas	Costeros	8. Espartinales		<i>Spartinetea</i>
	Dunas y arenales	9. Dunas		<i>Ammophiletalia</i>
	Sales y yesos	10. Estepas salinas		<i>Limonietalia</i>
	Higrofilia	11. <i>Isoeto-Nanojuncetea</i>	Bonales de invierno	<i>Isoeto-Nanojuncetea</i>
		7. Encharcados / Pastos higroturbosos	Turberas y pastos paraturbosos	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>
	Litosuelos calcáreos	4. Pastos de anuales		<i>Alyso-Sedion albi</i>



Tabla 3 Prados y pastizales *sensu lato* en las que es necesario realizar muestreo de campo. Fuente: elaboración propia.

Sistema	Tipo	Grupo	Nombre fitosociológico
Sistemas naturales de sustitución	Pastos perennes mesofíticos	2. Pastos seriales de alta y media montaña	<i>Brometalia</i>
		7. Prados encharcados / Pastos higroturbosos	<i>Molinieta</i>
	Pastos perennes mediterráneos	3. Pastos perennes mediterráneos	<i>Brachypodietalia phoenicoidis</i>
			<i>Lygeo-Stipetea</i>
			<i>Stipo-Agrostietea, Jasiono-Koeleretalia</i>
	Pastos anuales	4. Pastos de anuales	<i>Tuberarietea</i>
			<i>Stellarietea mediae</i>
Megaforbios eutróficos higrófilos	12. Megaforbios	<i>Galio-Urticetea</i>	
Sistemas seminaturales	Dehesas puras	5. Dehesas	Dehesas puras de <i>Quercus ilex</i> subsp <i>ballota</i>
			Dehesas puras de <i>Quercus pyrenaica</i>
			Dehesas puras de <i>Quercus suber</i>
			Dehesas puras de <i>Quercus faginea</i>
			Dehesas puras de <i>Olea europaea</i>
			Dehesas puras de <i>Fraxinus angustifolia</i>
	Dehesas mixtas	5. Dehesas	Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encina, alcornoque y olea) en ambientes secos
			Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encina, alcornoque y olea) en ambientes secos. Variante basófila con sabinares albares
			Dehesas mixtas de caducifolios (frenos) y subesclerófilos (melojos y quejigos) en fondos de valle. También pueden aparecer encinas y alcornoces.
	Prados normales	6. Prados	<i>Arrhenatheretalia</i>
Prados nitrificados	<i>Plantaginieta</i>		
Majadales	4. Pastos de anuales	<i>Poetea bulbosae</i>	



4.2. Sistemas naturales maduros

Con el objetivo de simplificar el trabajo de recolección de datos, se ha tratado de homogeneizar metodologías comunes para el seguimiento de los sistemas naturales maduros, los cuales engloban a los climosistemas y los edafosistemas. El procedimiento para estimar el parámetro 'Superficie ocupada' para este grupo se fundamenta en el uso de cartografía temática (propiedades edáficas, clima, etc.), modelos digitales del terreno, respuesta espectral, y técnicas de aprendizaje automático o *machine learning*. El esquema general del método a seguir se articula en las siguientes fases, que deben aplicarse independientemente para cada prado o pastizal (Figura 3).

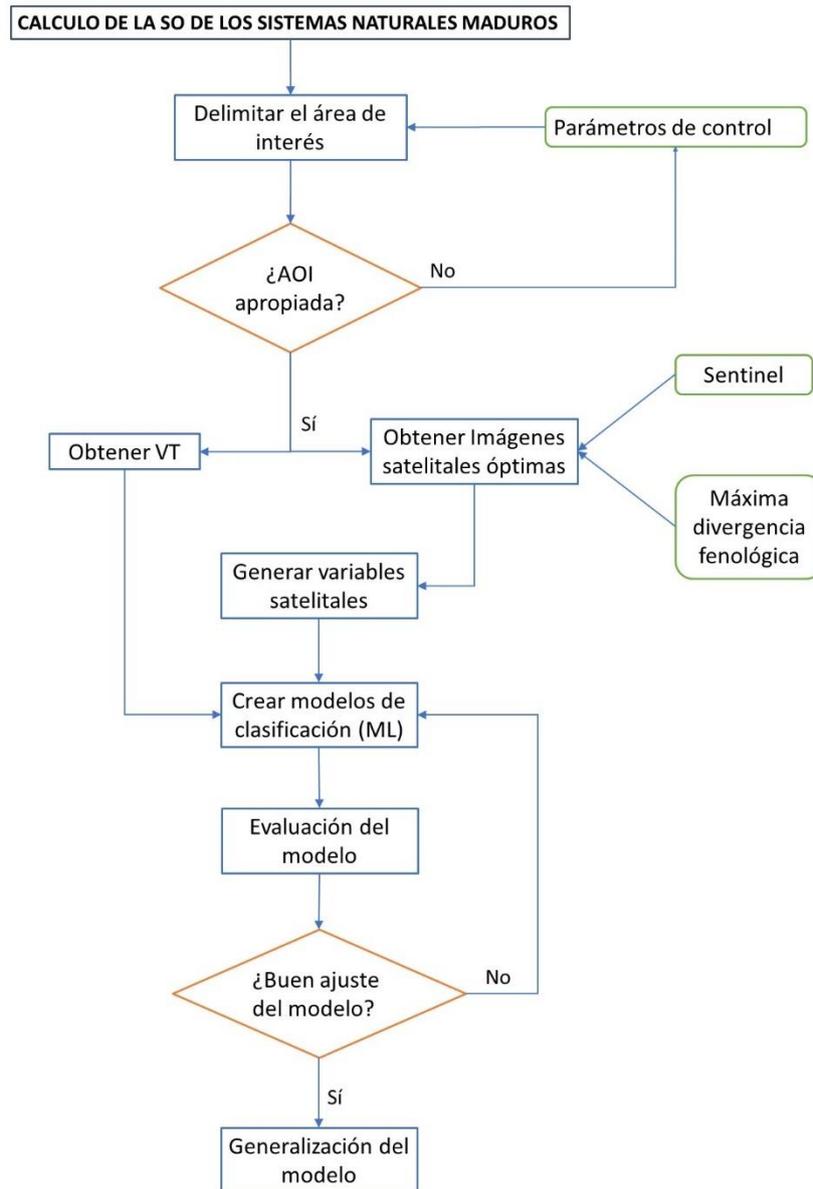


Figura 3 Pasos para delimitar el parámetro 'Superficie ocupada' de los sistemas naturales maduros. Fuente: elaboración propia.

Nota: SO= superficie ocupada; AOI= área de interés; ML= *machine learning* o aprendizaje automático; VT= 'verdad-terreno'.



A continuación, se describen detalladamente las fases que componen el procedimiento.

4.2.1. Delimitación del área de interés

Esta delimitación se apoya en los parámetros de control que cada prado o pastizal *sensu lato* en evaluación presenta, pudiendo tratarse tanto de los factores biofísicos que los caractericen como de otro tipo de parámetros no físicos. La metodología para la delimitación del AOI, según el parámetro que se proponga, se expone en el apartado 4.4. Así, por ejemplo, si un prado o pastizal *sensu lato* se caracteriza por ocupar laderas empinadas de solana sobre sustrato básico, se emplearán modelos digitales del terreno (para establecer el umbral de pendiente y exposición) y la capa ráster de parámetros edáficos (*SoilGrids*) correspondiente al pH en agua de los 30 cm superficiales.

Dado que en fases posteriores no se procesará ninguna información fuera del AOI, es fundamental establecer un margen de seguridad en los umbrales de los atributos ambientales definidores de esta área. Para el caso hipotético anterior, si el rango de pH 'científicamente aceptado' para el prado o pastizal es de 6-8, resultará razonable establecer el umbral de pH en unos 5,5-8,5, por ejemplo.

Por otro lado, con el objetivo de mejorar la precisión de los modelos y de reducir el esfuerzo de procesado, podrá ser de utilidad (dependiendo del prado o pastizal en estudio) extraer del AOI las zonas arboladas identificadas a partir de la información LiDAR o los recintos SIGPAC que no indiquen el 'Uso_SIGPAC' establecido para dicho prado o pastizal (cuando este tenga una alta especificidad).

En las primeras aproximaciones de la determinación del parámetro 'Superficie ocupada', una vez que se haya establecido el AOI se realizará una comparación entre el AOI obtenida y el AOI existente para el mismo prado o pastizal en la cartografía de los THIC de España. Deberá comprobarse que las cuadrículas (10 x 10 km) de la cartografía oficial de los THIC están dentro del AOI establecida. Si no fuera así, se recomienda recalcular el AOI ampliando los rangos establecidos para los parámetros utilizados (por ejemplo, aumentando los límites de los valores de pH), y posteriormente volver a comparar ambas cartografías. El objetivo de realizar este proceso iterativo es el de no dejar ninguna superficie fuera del AOI, ya que en los procesos posteriores se trabajará exclusivamente con la información que esta contenga. Este procedimiento se utilizará únicamente en las primeras delimitaciones del AOI, dejándose de utilizar en procedimientos posteriores, cuando los datos disponibles para la 'verdad-terreno' y los modelos de clasificación mediante técnicas de aprendizaje automático se autoalimenten y sean adecuados.

4.2.2. Obtención de la 'verdad-terreno'

Este punto es clave para el éxito del procedimiento. Como en cualquier proceso de modelización, la calidad y representatividad de las observaciones con las que se entrene y valide el modelo predictivo resulta determinante. Por ello, se emplearán todas las fuentes de datos disponibles, tanto puntuales (localizaciones o parcelas) como teselares (polígonos de cartografía de vegetación), siempre que estas últimas sean de escala suficiente. Se estima que el mínimo debería ser 1:10.000, o bien 1:25.000 si dentro de cada tesela se proporciona de alguna manera la pureza del tipo de hábitat incluido en ella. Otro aspecto a tener en cuenta es la fecha en la que se obtuvieron los datos de campo, con el fin de evaluar su validez a día de hoy (sobre todo para las más antiguas, lógicamente).

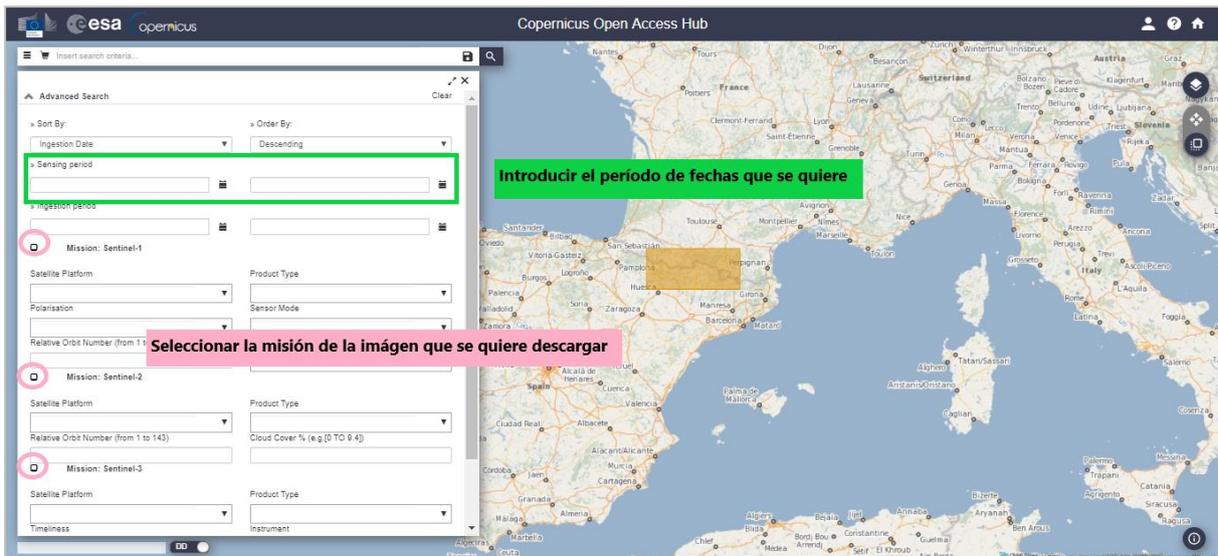


Figura 5 Portal de la ESA, indicando el lugar donde se introduce la fecha de la imagen y la misión deseada. Fuente: elaboración propia a partir del portal de la ESA.

Una vez seleccionado el periodo de fechas y la misión de las imágenes, aparecen en la izquierda todas las imágenes disponibles. Según se pasa el cursor por cada imagen aparecen cuatro símbolos, de los cuales el cuarto es el de descarga (ver Figura 6), y la imagen se descargará automáticamente.

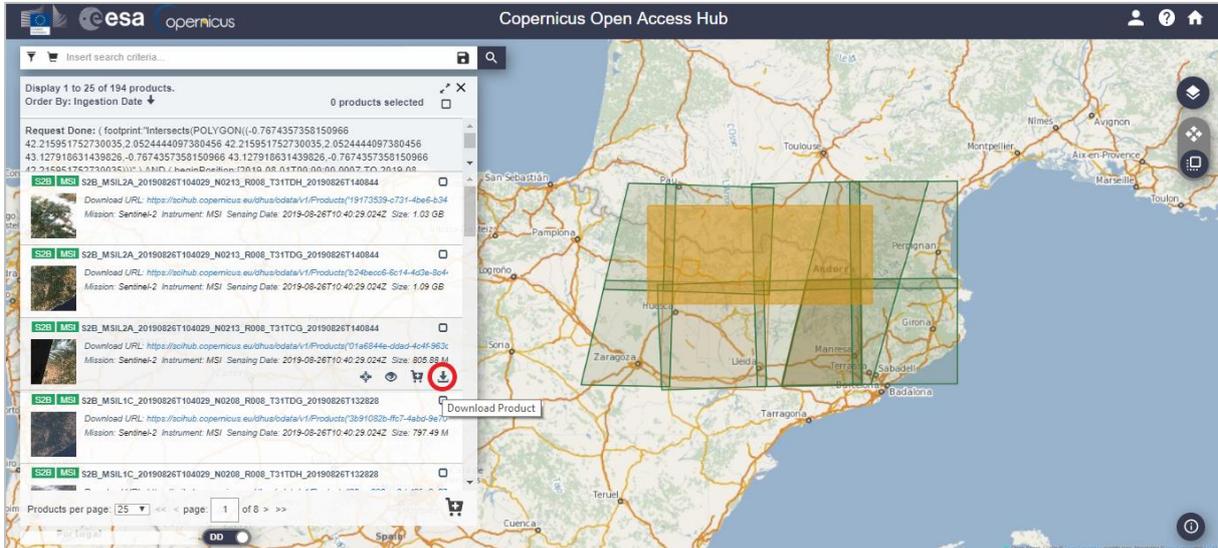


Figura 6 Portal de la ESA, mostrando el listado de imágenes disponibles para descarga. Fuente: elaboración propia a partir del portal de la ESA.



4.2.4. Generación de variables satelitales

A partir de los mosaicos (unión espacial de varias imágenes satelitales de una misma fecha) libres de nubes y nieve (en el caso de que no se necesite) generados para cada AOI, se calculará un grupo de variables satelitales que podrán ser diferentes para cada prado o pastizal estudiado, y que integrarán tanto bandas en bruto (rojo, verde, azul, infrarrojo o IR, e infrarrojo cercano o NIR) como índices espectrales de vegetación (NDVI, EVI, SAVI, etc.). Estas variables podrán ser utilizadas bien a nivel de píxel o de objeto (tesela) mediante estadísticos zonales, dependiendo de la 'verdad-terreno' disponible.

Además de las variables satelitales, en la identificación de pastos, se podrán utilizar otras variables de gran utilidad, como puede ser el LiDAR, variables fisiográficas y las ortofotografías del PNOA de actualidad (desde el 2004), las ortofotografías históricas del PNOA y las imágenes del vuelo americano, entre otras.

4.2.5. Modelos de clasificación mediante técnicas de aprendizaje automático o *machine learning*

Los términos 'aprendizaje automático' o '*machine learning*' hacen referencia a las técnicas computacionales que son capaces de aprender de los datos que se le proporcionan, y a partir de los cuales realizan una tarea específica por medio del análisis de grandes cantidades de casos (muestras u observaciones) sin necesidad de asunciones o de programación paso a paso de todas las sub tareas que son necesarias para alcanzar la tarea global. De ello se deduce, una vez más, que el tamaño y la calidad de la muestra que se proporcione al sistema para su entrenamiento es un aspecto crucial para lograr los objetivos perseguidos.

Dentro de las diferentes categorías de técnicas de aprendizaje automático, las de interés para evaluar la tasa de cambio de la superficie ocupada de cada prado o pastizal *sensu lato* son las técnicas de clasificación, ya que se persigue predecir qué tipo de prado o pastizal se encuentra en una cierta localización. En concreto, las técnicas denominadas de 'clasificación supervisada' son las de mayor interés para esta tarea, ya que al sistema se le proporciona una muestra en la que se conoce a qué clase, de las que se pretenden identificar, pertenece cada observación.

Otro aspecto clave en el proceso de modelización mediante aprendizaje automático lo constituye la exploración y limpieza de los datos disponibles. Dado que el propósito de este proceso de aprendizaje automático consiste en predecir qué tipo de prado o pastizal existe en una determinada localización (y de ahí deducir su superficie) a partir de información remota, las variables de entrada o de entrenamiento serán todas las variables satelitales, topográficas, LiDAR, etc. disponibles. Así pues, la eliminación de ruido, imágenes con nubes, errores de las alturas elipsoidales en los retornos LiDAR, etc., resulta de vital importancia para un entrenamiento satisfactorio. En definitiva, tras el proceso de limpieza e integración de fuentes de datos se contará con una base de datos en la que para cada registro se conoce tanto el tipo de prado o pastizal real ('verdad-terreno') como cada una de las variables de entrenamiento.

Para una misma zona geográfica no resulta operativo tratar de identificar una única clase objetivo frente al resto ya que, al ser este 'resto' muy heterogéneo, al sistema le costará mucho aprender a clasificar correctamente. En el extremo opuesto, si se desea clasificar una gran variedad de tipos de vegetación con una muestra dada, será necesario un enorme número de observaciones para entrenar al sistema ya que, como cifra orientativa, son necesarias en torno a 40-50 observaciones de cada clase a identificar.



Una vez que se cuenta con una muestra suficiente en calidad y cantidad, esta debe dividirse aleatoriamente en dos submuestras, una de entrenamiento y otra de prueba (una ratio orientativa puede ser 70/30%). La primera se utiliza para que el sistema aprenda la tarea que debe realizar (predecir el tipo de prado o pastizal que se encuentra en una localización dada), mientras que la segunda se destina a la fase de evaluación del modelo.

Durante la fase de entrenamiento, la submuestra homónima se subdivide, a su vez, en una muestra de entrenamiento en sentido estricto y otra muestra de validación (normalmente las propias funciones implementadas en las librerías más utilizadas en los paquetes estadísticos realizan esta subdivisión sin necesidad de intervención del usuario). Esta división se realiza múltiples veces hasta encontrar el modelo que, a igualdad de error en la muestra de entrenamiento, presenta un mínimo de error en la muestra de validación (ver siguiente fase para las métricas). Sea cual sea el algoritmo empleado (redes neuronales artificiales o ANN, del inglés *Artificial neural networks*, *Support Vector Machine* con kernel radial o SVMR, *Support Vector Machine* con kernel lineal o SVM, *Random Forest*), este procedimiento es vital para evitar el sobreajuste del modelo, es decir, que funcione muy bien con la muestra disponible pero que lo haga pobremente con nuevas observaciones (generalización del modelo).

4.2.6. Evaluación del modelo

En esta fase se aplica el modelo o los modelos seleccionados a la submuestra de prueba, calculándose a continuación la matriz de confusión, en la que se recoge el número de observaciones en cada clase predicha para cada clase observada. De esta manera, se pueden calcular diferentes métricas para analizar el comportamiento del modelo, entre las que se encuentran: la sensibilidad, la especificidad, la precisión, *recall*, F1, exactitud global e índice kappa. Una explicación detallada de cada una de estas métricas (entre otras) puede encontrarse en la documentación de la librería '*caret*' de R³⁴. Además, estas métricas deben aplicarse igualmente a la matriz de confusión resultante de la fase de entrenamiento con el objetivo de elegir entre los distintos modelos generados.

Es necesario hacer notar que las técnicas de aprendizaje automático son procesos fuertemente iterativos por lo que, llegados a este punto del análisis, puede ser necesario repetir fases previas; por ejemplo, si se detecta que el modelo funciona, en general, de manera satisfactoria pero falla en alguna de las clases, o confunde ciertas clases entre sí, puede ser necesario recoger una nueva 'verdad-terreno' de esas clases en particular y volver a entrenar al modelo.

4.2.7. Generalización del modelo

Finalmente, el modelo seleccionado se aplicará a todo el AOI teniendo en cuenta que si las unidades de clasificación han sido objetos (grupos de píxeles contiguos con respuesta espectral parecida), será preciso generar previamente algún tipo de segmentación del AOI. Para ello, serán de utilidad no solo variables satelitales como las antes mencionadas, sino también las derivadas de la información LiDAR, en particular las relativas a la altura de la vegetación y al porcentaje de cobertura del suelo.

Una vez generada la cartografía ocupada por un prado o pastizal *sensu lato*, resulta trivial el cálculo de su superficie. Dicha cartografía se considerará como el mapa de referencia para ese prado o pastizal y

³⁴ <https://cran.r-project.org/web/packages/caret/caret.pdf> (pág. 23)



el cálculo de la tasa de cambio se realizará con una periodicidad ajustada a la que requiere la aplicación de la Directiva Hábitats (6 años). Intervalos anuales no son recomendables puesto que el error en la estimación puede ser mayor que el porcentaje umbral a partir del cual se considera que un tipo de hábitat está en estado de conservación desfavorable (1%).

En todo caso, el desarrollo de un GIS que determine la superficie ocupada por los distintos prados y pastizales, debe complementarse con una adecuada fotointerpretación y con salidas al campo que complementen y validen los datos obtenidos a partir de los modelos. Además, los datos recogidos en campo serían una fuente directa de información que se puede usar a su vez como 'verdad-terreno' y como puntos de seguimiento de los distintos tipos de hábitat.

4.3. Sistemas seriales: sistemas naturales de sustitución y sistemas seminaturales

La presencia de los sistemas naturales de sustitución es la respuesta a perturbaciones, generalmente antrópicas, de los sistemas naturales maduros. En el caso de los sistemas seminaturales dicha perturbación, humana o pastoral, es continua e intensa.

En estos sistemas, las características del sustrato litológico desempeñan un papel esencial a la hora de determinar las características estructurales y la composición de los pastos naturales. No obstante, dado el gran dinamismo de esas comunidades, la influencia del sustrato suele resultar considerablemente menos intensa que la debida al clima y, sobre todo, a la gestión pastoral (Roig 1999). Las interacciones entre el suelo y el ganado son múltiples, aunque destaca el importante vector de fertilidad que el ganado supone a través de sus deyecciones. Estas se concentran en las zonas con más querencia por el ganado, que suelen ser sitios altos y de topografía convexa o en las proximidades de apriscos, abrevaderos y pesebres. Por ello, es habitual que, bajo un mismo clima y tipo de sustrato litológico, aparezcan diversos tipos de pastos naturales.

El hecho de que el pastoreo sea determinante para identificar el tipo de prado o pastizal *sensu lato* establecido en una zona, complica la determinación del parámetro 'Superficie ocupada'. No es posible identificar qué áreas están siendo pastadas si no es con visitas periódicas a las zonas susceptibles de pastoreo, siendo además muy complejo identificar su intensidad o periodicidad. Además, la ausencia de mapas precisos de vegetación impide tener una 'verdad-terreno' de alta calidad que posibilite la utilización de modelos de clasificación mediante técnicas de aprendizaje automático.

Por ello, se considera necesaria la elaboración de mapas de vegetación que permitan la evaluación, seguimiento y protección de estos prados y pastizales. También, en este mismo sentido, resulta necesario disponer de parcelas de seguimiento de puntos concretos representativos de cada tipo de hábitat.

La falta de 'verdad-terreno' hace que para los prados y pastizales sea imprescindible el empleo de técnicas de muestreo en campo. Dado que el objetivo es el seguimiento a largo plazo de la evolución de estos ecosistemas (no solo en cuanto a su superficie ocupada, sino también a su estructura y función y a las amenazas que se ciernen sobre ellos), se propone establecer una red de parcelas coherentes con las del Inventario Forestal Nacional (IFN), aunque mucho más reducida en número, y que sirva tanto para evaluar la tasa de cambio de la superficie ocupada como su estructura y función.



Para ello se plantea establecer como marco de muestreo una red de cuadrículas de 500 m de lado, centradas en la malla de coordenadas kilométricas UTM (del inglés *Universal Transverse Mercator*) del datum ED50 (*European Datum 1950*), en el que se estableció la malla original del IFN. Las aproximadamente 506 000 cuadrículas resultantes deben de ser estratificadas en función de la superficie ocupada por algunos de los prados y pastizales en estudio.

Dado que precisamente este trabajo trata de evaluar la superficie ocupada por dichos prados y pastizales, no se cuenta con la información necesaria para realizar dicha estratificación. Sin embargo, una manera de salvar este escollo es utilizar la cartografía SIGPAC, de actualización anual, seleccionando los recintos cuyo campo 'Uso_SIGPAC' (ver apartado 3 relativo a fuentes de información) esté etiquetado como PA ('Pasto con arbolado'), PR ('Pasto arbustivo') o PS ('Pastizal'), que son los que se asignan a la superficie ocupada por prado o pastizal. Posteriormente, esos recintos se cruzan con la malla y se calcula la superficie ocupada por estos tipos de hábitat dentro de cada cuadrícula, descartando, a continuación, todas las cuadrículas sin superficie catalogada como prado o pastizal (Figura 7).



Figura 7 Simulación de localización de diversos recintos SIGPAC susceptibles de ser seleccionados como estaciones de seguimiento (flechas rojas). Fuente: elaboración propia.

Tras haber determinado el conjunto de cuadrículas, en gabinete se seleccionarán, dentro de ellas, en torno a 50-60 recintos (estaciones de seguimiento) para cada uno de los prados o pastizales a evaluar. Previamente, se empleará toda la información disponible para predecir qué recintos pertenecen a cada prado o pastizal, para lo que se utilizarán los parámetros de control definitorios de cada uno. Se determinará un AOI de forma análoga a como se ha hecho para los sistemas naturales maduros (ver apartado 4.2.1).

Para cada prado o pastizal, se comparará el AOI obtenida mediante los parámetros de control con el de las cuadrículas de la cartografía de los THIC. En el caso de que haya cuadrículas fuera del AOI, se modificarán los parámetros de control, ampliando sus rangos y repitiendo el proceso tantas veces como sea necesario, hasta que todas las cuadrículas (o prácticamente todas) queden dentro del AOI.



Para el grupo de prados y pastizales seminaturales arbolados serán de gran utilidad las capas de dehesas puras y mixtas (Cartografía de los Tipos de Hábitat Forestales de España a escala 1:50.000) que recientemente se han elaborado para tipos de hábitat forestales (Sánchez de Dios *et al.* 2019) a partir de los datos del MFE. En este caso es altamente recomendable que el recinto escogido para establecer la estación de seguimiento incluya dentro de él la parcela del IFN correspondiente.

Una vez constituida la red de estaciones de seguimiento se recomienda visitar cada una de ellas en una primera ocasión con dos objetivos primordiales: a) corroborar que pertenecen al prado o pastizal asignado y, de no ser así, localizar otro recinto que pueda sustituirlo, y b) determinar si todo el recinto pertenece al prado o pastizal asignado y, de no ser así, delimitar *in situ*, sobre ortofotografía, la extensión real de este, la cual constituirá, en lo sucesivo, la estación de seguimiento. En dicha estación de seguimiento se practicarán también las mediciones establecidas para el seguimiento de los parámetros 'Estructura y función' y 'Perspectivas futuras'.

Aunque la periodicidad del seguimiento que requiere la aplicación de la Directiva Hábitats es de 6 años, se recomienda no evaluar todas las estaciones de cada prado o pastizal cada 6 años, sino hacerlo anualmente en aproximadamente un sexto de las estaciones, escogidas aleatoriamente para todo el sexenio. Es decir, una vez segmentada la muestra en seis submuestras, evaluar cada año una de ellas de tal manera que se vuelva a cada submuestra cada seis años. De esta manera, se podrán detectar tendencias a corto plazo que de otro modo quedarían ocultas, sin comprometer el seguimiento a medio y largo plazo, ya que el sexto de estaciones evaluadas cada año ha de ser representativo del conjunto de la muestra. Cada vez que se vuelva a evaluar una estación no solo se analizará si sigue perteneciendo al prado o pastizal asignado, sino que se delimitarán sus límites *in situ* sobre ortofotografía, de tal manera que el cálculo de la tasa de cambio de la superficie ocupada resultará ya trivial mediante GIS.

Por añadidura, el colectivo de estaciones de seguimiento constituirá una fuente extraordinariamente valiosa de 'verdad-terreno' para alimentar modelos de clasificación mediante aprendizaje automático (tal y como se ha detallado en el anterior apartado para el caso de climosistemas y edafosistemas) que permitirán, a medio plazo, evaluar también estos sistemas seriales mediante técnicas basadas en sensores remotos, lo cual redundará en una mayor precisión y un menor coste de seguimiento.

Por último, se propone la generación de mapas de distribución de los prados y pastizales y su probabilidad de ocurrencia basados en modelos de distribución, tal y como se utiliza para el caso de especies individuales. Para la modelización de la adecuación de una estación a un determinado prado o pastizal se pueden usar algoritmos que empleen únicamente datos de presencia, como por ejemplo *Maxent* (Phillips *et al.* 2006) o *Moderforest* (López-Senespleda *et al.* 2015). Esta metodología ayudará a identificar posibles localizaciones de prados y pastizales infrarrepresentadas por su pequeño tamaño y/o alta fragmentación.



4.4. Metodología para delimitar el área de interés

En este apartado se definen los parámetros de control que caracterizan cada prado o pastizal *sensu lato* que, en última instancia, permitirá calcular el AOI apta de cada uno de ellos. Se determinará un área apta y un área no apta para cada uno de los parámetros de control. El AOI final será aquella en la que coincidan todas las áreas aptas de los distintos parámetros analizados.

Cada prado o pastizal tendrá unos parámetros de control concretos, según las características intrínsecas de su tipo de vegetación. Solo se utilizarán los parámetros que sean altamente representativos o específicos de cada uno de estos tipos de hábitat.

Los parámetros de control que permiten acotar el AOI y que es posible determinar mediante herramientas GIS, son los siguientes:

- A. Área apta en función de los pisos bioclimáticos en los que se desarrollan
- B. Área apta en función del pH del sustrato
- C. Área apta según la pendiente
- D. Área apta según la duración del periodo seco o árido
- E. Área apta según la insolación
- F. Área apta según el campo 'Uso_SIGPAC' más frecuentemente asignado
- G. Área apta según la innivación
- H. Área apta según la altura de la vegetación (LiDAR)
- I. Área apta según el coeficiente de retrodispersión: zonas freáticas

A continuación, se indica la metodología a seguir para seleccionar el AOI apta de cada uno de los parámetros de control que van a utilizarse en este trabajo. Toda la metodología se propone mediante la utilización del GIS de código libre Quantum GIS (QGIS), así como los paquetes *caret*, *VSURF*, *e1071*, *tree*, *party*, *Random Forest*, *rfUtilities*, *neuralnet* y *NerualNetTools* de *R*. Para la segmentación de la imagen se ha utilizado *Orfeo Toolbox* que permite crear segmentos con un grupo de píxeles de las mismas características del ráster o rásteres de entrada y, así, definir los segmentos en forma vectorial.

Todos los procedimientos propuestos pueden realizarse de una manera muy similar en otros GIS como ArcMap o gvSIG, o con otros paquetes estadísticos. La propuesta de las aplicaciones usadas se apoya en que son de uso libre, de código abierto, y con una abundante y activa comunidad de usuarios que permite una continua corrección de errores de *software* o *bugs* y generación de actualizaciones con nuevas herramientas.

Para llevar a cabo la metodología propuesta se requieren conocimientos altos sobre teledetección, procesado y análisis de imágenes. Especialmente complejas son las metodologías de trabajo con RADAR (*Radio Detection And Ranging*), LiDAR o técnicas de aprendizaje automático en las que se llevan a cabo varios pasos previos y donde se maneja gran cantidad de información, que hace necesaria la automatización del proceso.



4.4.1. Área apta en función de los pisos bioclimáticos en los que se desarrollan

La fitoclimatología es una ciencia que estudia las relaciones existentes entre el clima y los vegetales y que resulta imprescindible en el estudio de la tipología, la estructura y el funcionamiento de los pastos naturales. En España, los conceptos fitoclimáticos más ampliamente utilizados se deben a Rivas-Martínez (1987).

Los pisos bioclimáticos pueden venir determinados por parámetros térmicos y ómbricos; sin embargo, los que se utilizan habitualmente en España suelen coincidir con los termotipos, que serán los que se utilizarán también en este trabajo. Los pisos bioclimáticos de Rivas-Martínez (1987) se encuentran en formato *shapefile* en el mapa de series de vegetación de España³⁵, que divide el territorio en tres regiones biogeográficas y 14 pisos bioclimáticos (Figura 8).

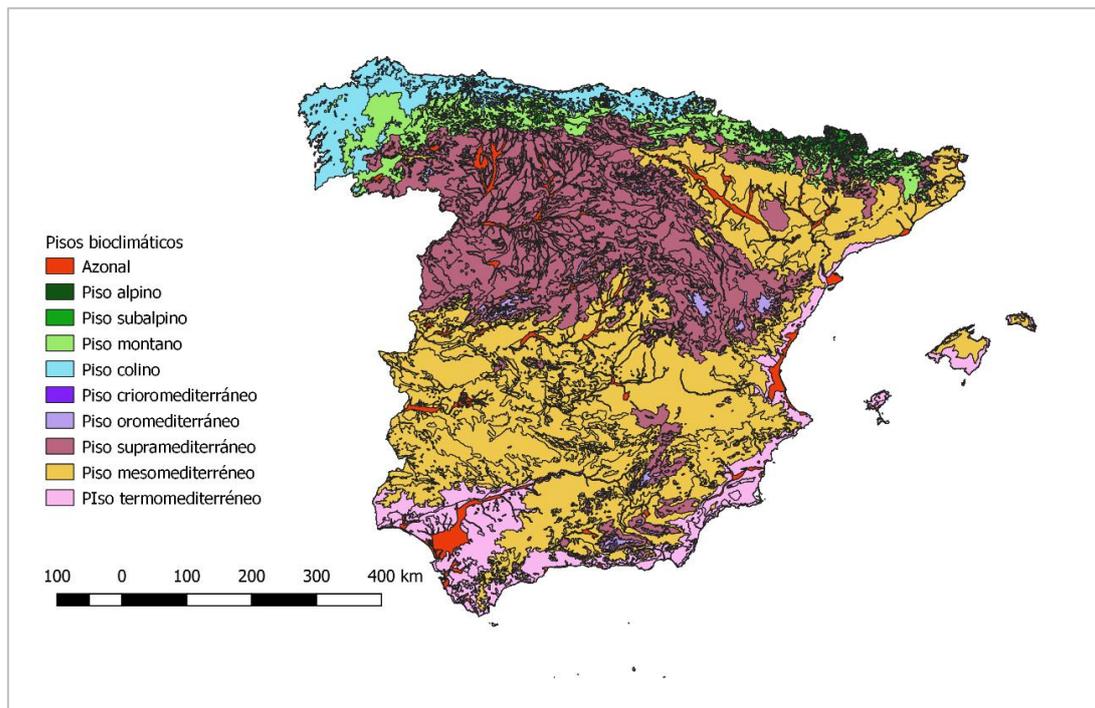


Figura 8 Clasificación de España según los pisos bioclimáticos de Rivas-Martínez (1987). Fuente: elaboración propia a partir del mapa de series de vegetación de España 1:400.000 (Rivas-Martínez 1987).

Es posible descargarse una capa que recoge las series de vegetación para la península ibérica y las islas Baleares, otra capa para las islas Canarias, así como el archivo 'Diccionario de datos.xls'.

Una vez abierta la capa de las series de vegetación en el QGIS, se procederá a clasificar la capa por sus pisos bioclimáticos. Para ello, se entra en 'Propiedades de capa' > 'Simbología', y se elige la opción de clasificar la capa categóricamente mediante el campo 'Piso', utilizando las clases de la Tabla 4.

³⁵ https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx



Tabla 4 Nomenclatura de los pisos bioclimáticos. Fuente: elaboración propia.

Piso	Definición piso
A	Piso alpino
B	Piso subalpino
C	Piso montano
D	Piso colino
E	Piso crioromediterráneo
F	Piso oromediterráneo
G	Piso supramediterráneo
H	Piso mesomediterráneo
I	Piso termomediterráneo
K	Piso orocanario
L	Piso supra-canario
M	Piso mesocanario
N	Piso termocanario
O	Piso infracanario

Posteriormente, se elegirán los pisos bioclimáticos que correspondan al prado o pastizal con el que se esté trabajando. Por ejemplo, *Nardetea strictae* se desarrolla en los pisos bioclimáticos montano, subalpino y alpino de la región eurosiberiana, y en los supramediterráneo, oromediterráneo y crioromediterráneo de la región mediterránea. Por tanto, se seleccionarán los pisos indicados y se creará con ellos una nueva capa que constituirá el AOI apta para los pisos bioclimáticos de *Nardetea strictae* (Figura 9).

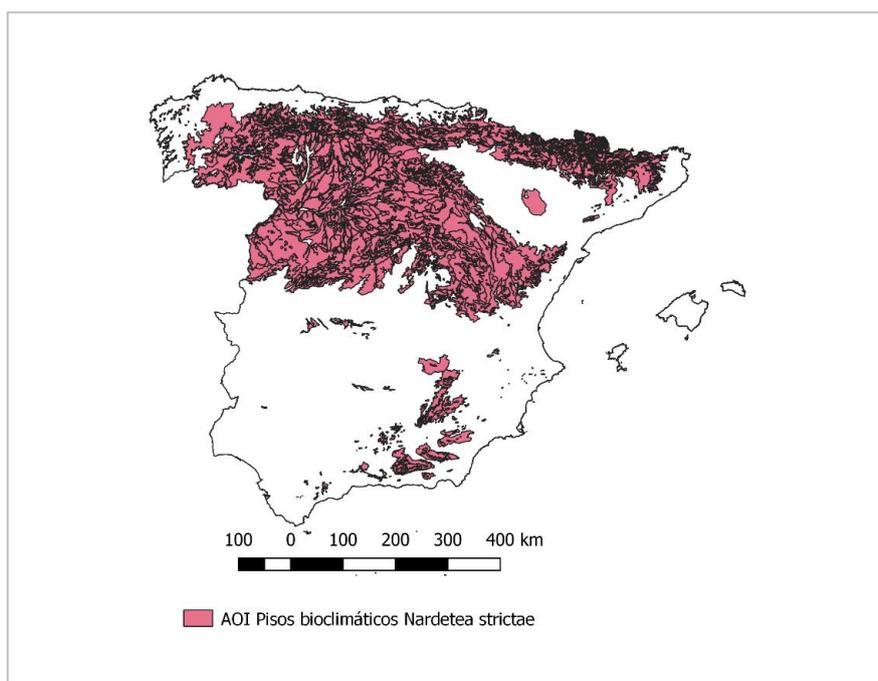


Figura 9 Área de interés (AOI) de *Nardetea strictae* para el parámetro de control biofísico de los pisos bioclimáticos en los que se desarrolla. Fuente: elaboración propia a partir del mapa de series de vegetación de España 1:400.000 (Rivas-Martínez 1987).



La región biogeográfica eurosiberiana es posible dividirla a su vez en dos: la región alpina y la región atlántica. Esta división es importante en el caso de la delimitación del AOI de los pastos de puerto, ya que algunos aparecen únicamente en una de las dos regiones, aunque estas compartan el mismo piso bioclimático. Por esta razón, para algunos tipos de hábitat será necesario cortar el AOI con la región que corresponda. El *shapefile* de las regiones bioclimáticas españolas está disponible y es descargable a través de la página web del MITECO³⁶.

4.4.2. Área apta en función del pH del sustrato

El pH también se usará como una máscara que permita recortar el AOI a las zonas aptas para cada prado o pastizal *sensu lato* estudiado. Es importante conocer el grado de especificidad de cada uno de estos tipos de hábitat para el pH del sustrato y utilizarlo únicamente en aquellos en que dicha especificidad sea alta.

Los ráster de pH que se van a utilizar para delimitar el AOI son los que se pueden consultar en la página web de *SoilGrids*³⁷, donde se pueden encontrar mapas de suelos de todo el mundo a resoluciones espaciales de 1 km y 250 m, creados mediante técnicas de aprendizaje automático o *machine learning*. La información se puede consultar a profundidades de 0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm. La precisión de estos mapas es bastante baja; sin embargo, su resolución de 250 m es la mejor que se puede encontrar en la actualidad de manera exhaustiva para España. Para solventar esta falta de precisión siempre se establecerá un margen de seguridad en los umbrales del pH apto para el prado o pastizal.

Desde el portal de *SoilGrids* hay que descargar el ráster correspondiente al pH eligiendo la profundidad que se indique en las tablas de los parámetros de control de cada prado o pastizal. Dicho ráster se puede descargar siguiendo la siguiente ruta: '*Layer options*' > '*Chemical soil properties*' > '*Soil pH x 10 in H2O*'.

Posteriormente, desde la opción '*Download data*' (Figura 10), se pueden comenzar a descargar los ráster. Es importante subrayar que en este punto hay que elegir la precisión con la que se desea obtener el ráster: 1 km o 250 m. Para la precisión de 250 m, que será la que se debe usar en este caso, las descargas únicamente pueden realizarse para superficies que abarquen como máximo 5° de longitud y 5° de latitud. Para España es necesario realizar cinco descargas para poder disponer del ráster del país completo. Los ráster descargados se pueden unir en un único ráster mediante QGIS ('Ráster' > 'Miscelánea' > 'Combinar'), que será con el que se seguirá trabajando.

³⁶ <https://www.miteco.gob.es/app/descargas/descargafichero.aspx?f=RegionesBio.zip>

³⁷ <https://soilgrids.org>

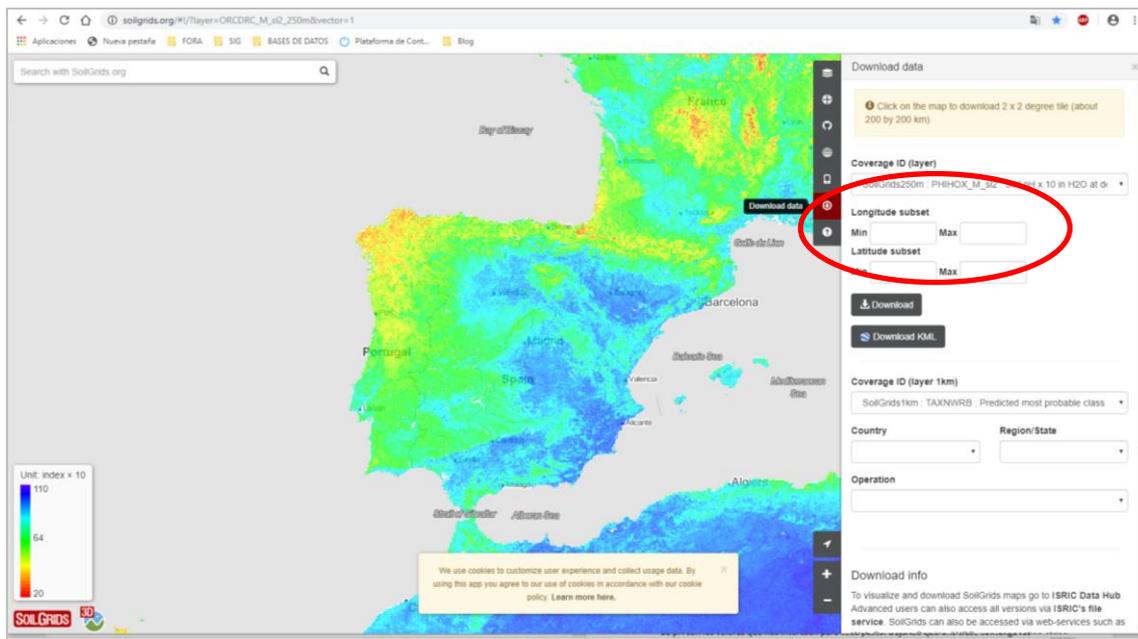


Figura 10 Portal de *SoilGrids*, indicando cómo se realizan las descargas de rásters. Fuente: elaboración propia a partir del portal de *SoilGrids*.

Con la herramienta de GRASS '*r.reclass*', en QGIS, se clasificará el ráster de pH en tantas clases como interese, según las características propias de cada prado o pastizal. Por seguridad, y dado que en fases posteriores no se va a trabajar con ningún área que quede fuera del intervalo establecido como apto para cada prado o pastizal, siempre se introducirá un *buffer* de seguridad de 0,5 puntos en los umbrales superior e inferior del intervalo de pH asignado a cada prado o pastizal.

Por ejemplo, para un prado o pastizal (*Nardetea strictae*) que prospera en sustratos ácidos en superficie, con pH situado entre 3,5 y 6, se descargará el ráster '*Soil pHx10 in H2O*' a una profundidad de 5 cm. Por tanto, se realizará la reclasificación del ráster de pH indicando tres clases: valores inferiores a pH 3 (donde se ha incluido el *buffer* de 0,5 puntos); valores comprendidos entre 3 y 6,5 (límite superior apto con *buffer* de 0,5 puntos); y valores superiores a 6,5. La expresión que habrá que introducir en la caja de diálogo de la herramienta '*r.reclass*' es la siguiente:

- 0 thru 30 = 1
- 30 thru 65 = 2
- 65 thru 1000 = 3

Posteriormente con la herramienta de QGIS ráster a vectorial ('Ráster' > 'Conversion' > 'Poligonizar') se convertirá el ráster en vectorial. La última fase será crear una capa que contenga únicamente el área con el rango de pH apropiado para este tipo de hábitat, consiguiendo en formato vectorial el AOI de pH apto (Figura 11).

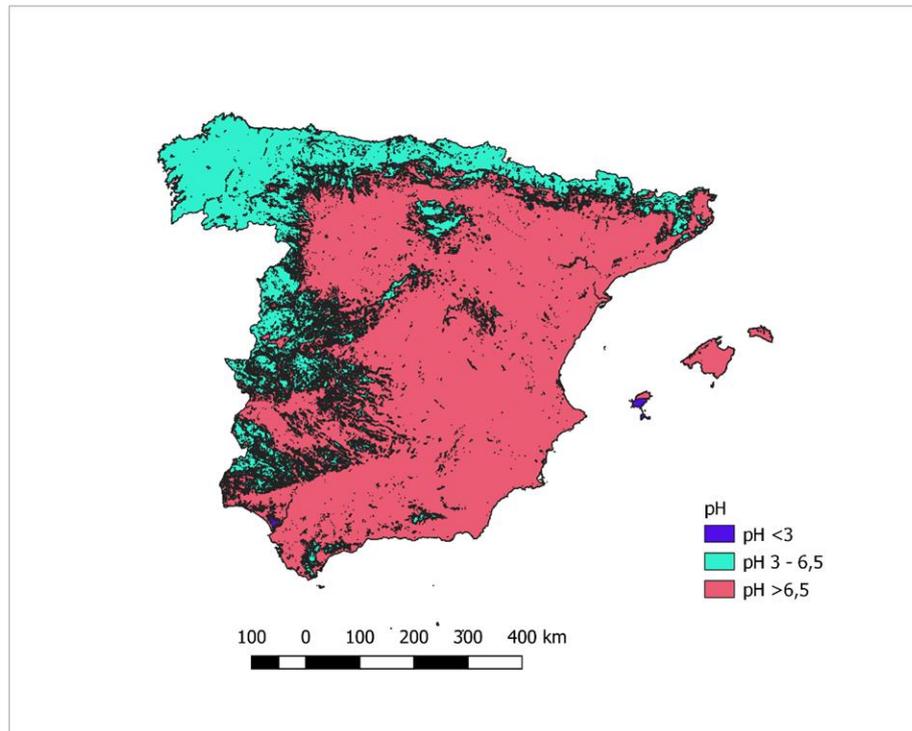


Figura 11 Capa vectorial con el pH clasificado en tres categorías: menos de 3, entre 3 y 6,5 y mayor de 6,5. Fuente: elaboración propia a partir del portal de *SoilGrids*.

4.4.3. Área apta según la pendiente

El objetivo es obtener los polígonos en los que la pendiente es la adecuada para que prospere un determinado prado o pastizal. Para ello, se deberá descargar el Modelo Digital del Terreno con paso de malla de al menos 25 m (MDT25), desde el Centro de Descargas del CNIG³⁸.

Y en el *software* QGIS:

- unir los ráster descargados para trabajar con una única capa, mediante el proceso 'Ráster' > 'Miscelanea' > 'Combinado';
- obtener el ráster de pendiente mediante 'Ráster' > 'Análisis' > 'Pendiente';
- reclasificar el ráster de pendiente, mediante el proceso '*r.reclass*'. Se seguirá el mismo procedimiento que el indicado para reclasificar el ráster de pH;
- y convertir el ráster reclasificado a vector mediante 'Ráster' > 'Conversion' > 'Poligonizar'.

³⁸ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>



4.4.4. Área apta según la duración del periodo seco o árido o pluviometría

Tanto el Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA)³⁹ como el GeoPortal⁴⁰ del MAPA y del MITECO permiten consultar, a través de su árbol de servicios, bastantes índices de caracterización agroclimática. Destacan por su utilidad en este trabajo, el 'período seco o árido' y la 'pluviometría media anual'. El periodo seco o árido es definido por el propio SIGA como "Modelo de duración media del periodo seco o árido (número de meses con falta de agua –diferencia entre la evapotranspiración potencial y la real–), elaborado con métodos de interpolación geoestadística (*kriging*) a partir de los datos de 1803 estaciones pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología", y permite delimitar las áreas de España según los meses de sequía que soportan. La capa de pluviometría media anual clasifica el país en áreas con el mismo rango de precipitación.

El inconveniente de ambos visores es que sus capas solo están disponibles a través del servicio WMS⁴¹. No es posible descargarlas, lo que impide trabajar con ellas, aunque sí es factible solicitar los datos al Ministerio para emplearlos en trabajos como este. Otro inconveniente es que la serie de datos termométricos y pluviométricos es bastante antigua (1960-1996), lo que deja fuera de la serie de datos los años 2000, caracterizados por altas temperaturas y periodos largos de sequía. Por todo lo expuesto, se considera que ambas capas son muy útiles para las necesidades de este trabajo, pero sería recomendable que se actualizara su serie de datos y se facilitara la descarga pública de capas en formato ráster.

Si en el SIGA o en el GeoPortal se activa la capa 'período seco o árido', la cual indica la duración del periodo seco en meses, y se clasifica en intervalos de un mes, España quedaría dividida tal y como se observa en la Figura 12.

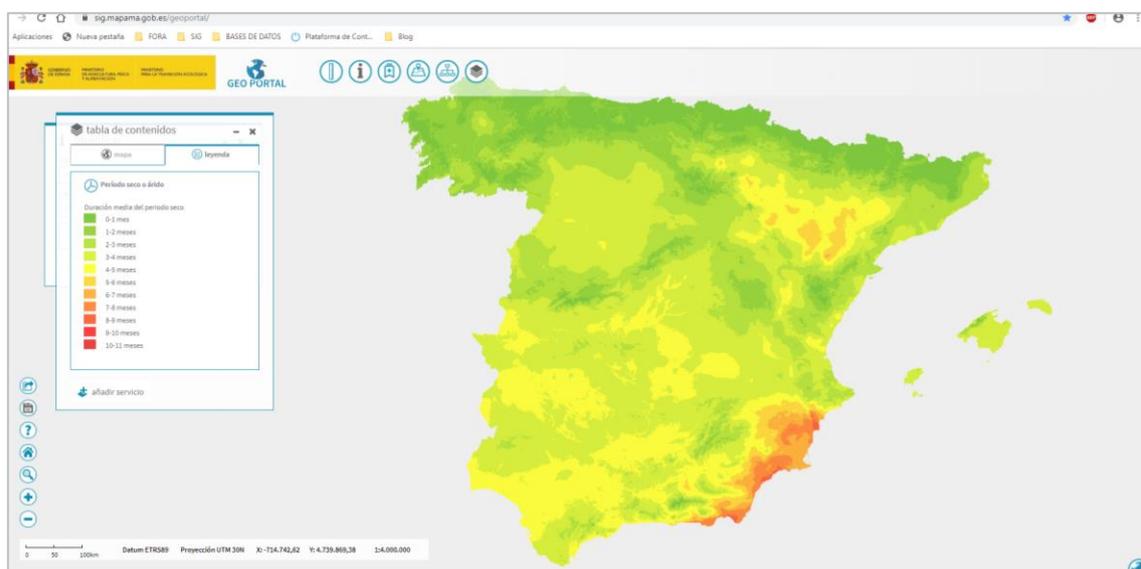


Figura 12 GeoPortal donde se puede consultar el 'período seco o árido' de cualquier punto de España. Fuente: elaboración propia a partir de GeoPortal del Ministerio.

³⁹ <https://sig.mapama.gob.es/siga/>

⁴⁰ <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>

⁴¹ <http://wms.mapama.es/sig/Agricultura/CaractAgroClimaticas/wms.aspx>



Así, si se dispone de la capa en formato vectorial ('Prsedume.shp') (Figura 13), es sencillo seleccionar el área apta para el desarrollo del prado o pastizal con el que se esté trabajando. Por ejemplo, si se quiere delimitar el AOI apta en función del periodo de sequía para *Brometalia* (THIC 6210 Pastos herbáceos basófilos seminaturales de *Festuco-Brometalia*), que se caracteriza por ocupar zonas sin sequía, se seleccionarán las áreas que presenten el menor periodo de sequía (i.e. aquellas que la capa identifica con una duración media del periodo seco inferior a un mes). Sin embargo, con el propósito de no dejar ningún área potencial del tipo de hábitat fuera de la zona seleccionada como apta, y teniendo en cuenta de que la serie de datos es antigua, se aplicará siempre un *buffer* de seguridad que en este caso será la inclusión en el área potencial de un mes más de sequía. Es decir, para los prados y pastizales que se desarrollen en zonas sin sequía se seleccionarán las áreas cuya duración media del periodo seco sea menor de dos meses. O, por ejemplo, en el caso de los prados y pastizales terofíticos, en los que la documentación indique que su periodo seco es superior a 4 meses, en vez de seleccionar las áreas cuya duración del periodo seco sea mayor a 4-5 meses, se seleccionarán las que tengan periodos mayores a 3-4 meses, con el objetivo de ampliar siempre en un mes el periodo seleccionado.

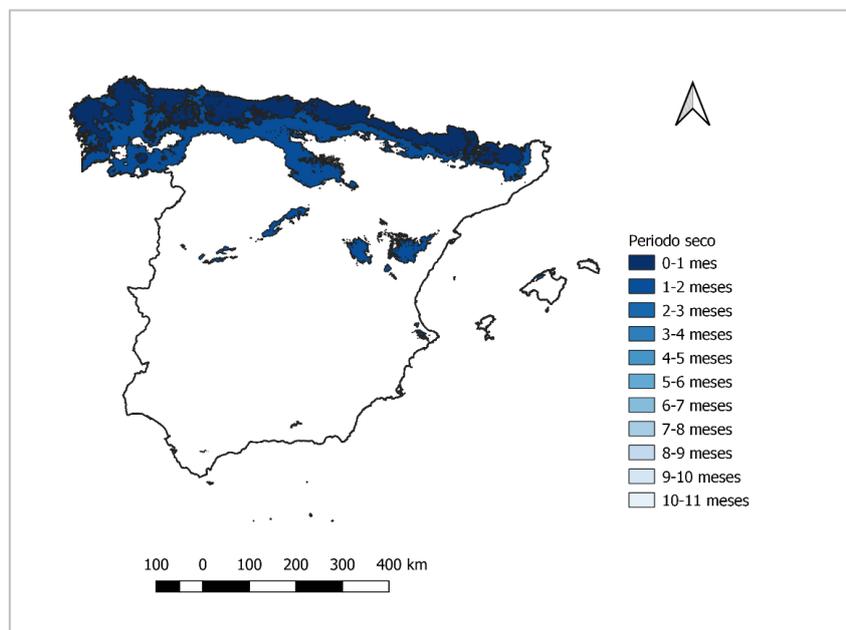


Figura 13 Capa vectorial con las áreas cuyo periodo seco es menor de 2 meses seleccionadas. Fuente: elaboración propia a partir de la capa 'Prsedume.shp' facilitada por el SIGA.

La forma de trabajo con la capa de 'pluviometría media anual' ('Plumed.shp') sería análoga a la propuesta para el periodo seco o árido.

Otra opción es emplear las capas ráster del Atlas Climático Ibérico (ver apartado 3 sobre fuentes de información) o cualesquiera otras disponibles con datos de precipitación y temperaturas mensuales, para alimentar la herramienta 'Calculadora climática' incluida en la aplicación *Moderforest* (López-Senespleda *et al.* 2015), con la que pueden extraerse una batería de índices climáticos de interés (precipitaciones y temperaturas estacionales, evapotranspiración potencial, duración e intensidad de la sequía, índice de Martonne, etc.).



4.4.5. Área apta según la insolación

Para seleccionar áreas del terreno según su insolación se propone emplear el parámetro termotopográfico (TTG) definido por Gandullo (1997). Este parámetro define los conceptos de solana y de umbría, desde un punto de vista térmico, utilizando los datos de pendiente, orientación y latitud.

Para calcular este parámetro es necesario haber obtenido los ráster de pendiente y orientación del terreno a partir del MDT. Posteriormente mediante la calculadora de ráster, y aplicando la fórmula propuesta por Gandullo (1997), se obtiene el parámetro buscado (ver Anexo II para más detalles).

4.4.6. Área apta según el uso SIGPAC más frecuentemente asignado

Se utilizará la capa de recintos de SIGPAC (denominada 'RECFE.shp') más actual posible (se actualiza anualmente) como una máscara que determine las áreas consideradas de pastos. Cada uno de los recintos tiene asignado un uso único, siendo los relacionados con los prados y pastizales: PS ('Pastizal'), PR ('Pasto arbustivo'), PA ('Pasto con arbolado') e IM ('Improductivos').

Se utilizará el AOI definida por el SIGPAC únicamente en aquellos sistemas naturales en los que el grado de especificidad del prado o pastizal respecto a su uso SIGPAC más frecuente asignado sea alto.

La manera de proceder será similar a la expuesta para el caso de los pisos bioclimáticos. En primer lugar, se procederá a clasificar la capa categóricamente a partir del campo 'Uso_SIGPAC'. Posteriormente, se elegirá el uso que define al prado o pastizal con el que se está trabajando y se creará una nueva capa que incluya únicamente los recintos del 'Uso_SIGPAC' en cuestión. Esta nueva capa contendrá las superficies aptas en la que se puede localizar el prado o pastizal.

4.4.7. Área apta según la innivación

La frecuencia de la cobertura de nieve en invierno es uno de los factores que caracteriza a los pastos de puerto, y constituye un parámetro íntimamente relacionado con la posición topográfica que estos ocupan.

Para determinar el área apta, una vez obtenidas las imágenes satelitales, se distinguirá la nieve con la propia clasificación de usos del suelo que proporciona *Sen2Cor*⁴² en la corrección atmosférica de la misma imagen. Además, la nieve es fácil de identificar por su alta respuesta espectral en los histogramas de las distintas bandas disponibles.

Creando una serie temporal de imágenes se puede lograr discriminar las áreas que están frecuentemente cubiertas de nieve (quionófilas) y las áreas que pierden pronto la nieve (quionófobas). Eso permitirá discriminar las AOI de los dos grupos de pastos de puerto basófilos.

⁴² <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/>



4.4.8. Área apta según la altura de la vegetación (LiDAR)

Se utilizarán los datos LiDAR (hojas LAZ de los vuelos PNOA más recientes para la zona de interés) con el fin de generar un modelo digital de altura de la vegetación (MDAV) y, a partir de este, eliminar aquellas zonas pobladas por matorral o arbolado. La generación del MDAV (y el procesado de la información LiDAR en general) puede hacerse con el *software* FUSION⁴³, desarrollado por el *Forest Service* del USDA y distribuido sin *copyright* y, por lo tanto, de uso libre.

Un aspecto crítico a este respecto es la precisión altimétrica de los retornos de las nubes de puntos LiDAR. En la página web del proyecto PNOA-LiDAR (primera cobertura⁴⁴ y segunda cobertura⁴⁵) pueden consultarse las fechas de vuelo para cada área geográfica, los sensores utilizados, así como la densidad media de puntos y los errores cuadráticos medios, tanto planimétricos como altimétricos. Estos últimos oscilan entre los 20-40 cm para la primera cobertura LiDAR y entre los 15-20 cm para la segunda (Figura 14). Por lo tanto, parece razonable establecer distintos umbrales mínimos en el MDAV según la cobertura LiDAR que se esté empleando y el tipo de prado o pastizal estudiado. Como es lógico, siempre se utilizará la información más reciente y se prescindirá de la información LiDAR si tiene más de 2-3 periodos vegetativos de antigüedad.

Para disponer de los archivos LAZ del PNOA se puede acceder al Centro de Descargas del CNIG⁴⁶ (IGN), y haciendo clic en 'Buscar' se puede elegir la zona de interés tanto por unidad administrativa, como por hoja del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN50), o incluso por coordenadas o referencia catastral, así como el producto deseado (en este caso, LIDAR 1ª o 2ª cobertura) (Figura 15).

Una vez realizada la búsqueda se pueden descargar uno a uno los archivos deseados, ya sea haciendo clic en 'Descargar' o, mejor, clicando en 'Añadir' en cada uno de ellos, para que se vayan agregando a la 'Cesta de descargas' (Figura 16).

Cuando se haya terminado de añadir ficheros, clicando en la 'Cesta de descargas' ya se pueden guardar los archivos en el equipo desde el que se esté accediendo al Centro de Descargas del CNIG. Se recomienda hacer clic en 'Descargar todos los ficheros' (Figura 17), tras lo cual se generará un archivo *jspx* que, al ser ejecutado, descargará en un único bloque todos los archivos añadidos a la cesta. Para ello es necesario tener actualizada la aplicación *Java*.

⁴³ <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>

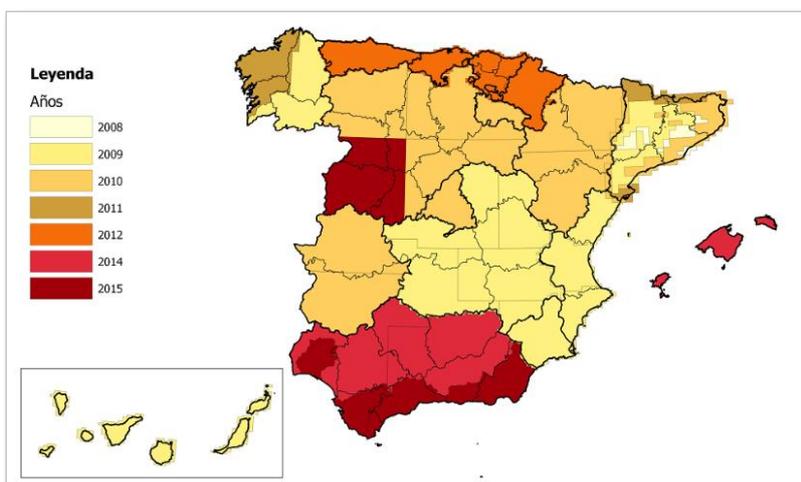
⁴⁴ <https://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar/primera-cobertura>

⁴⁵ <https://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar/segunda-cobertura>

⁴⁶ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>



a) PNOA 1 (0,5 pt/m²)



b) PNOA 2 (1 pt/m²)

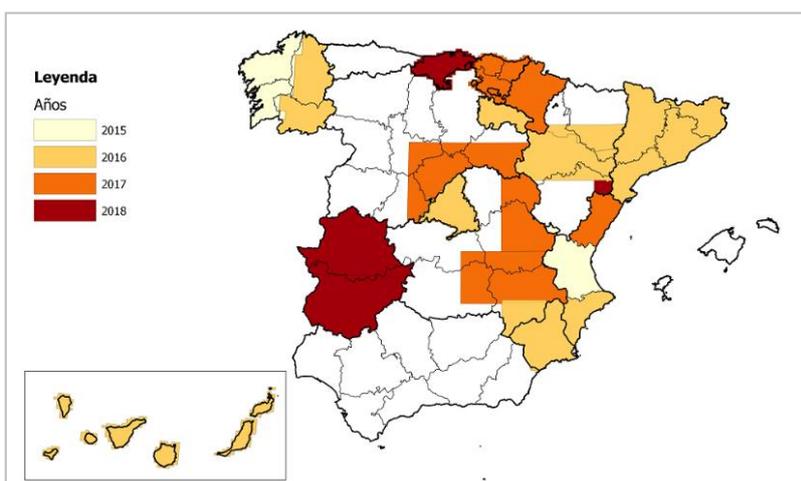


Figura 14 Localización y fechas de inicio de vuelo de los distintos lotes de (a) la primera y (b) segunda cobertura LiDAR del programa PNOA. Fuente: extraída de la página web del PNOA (IGN).

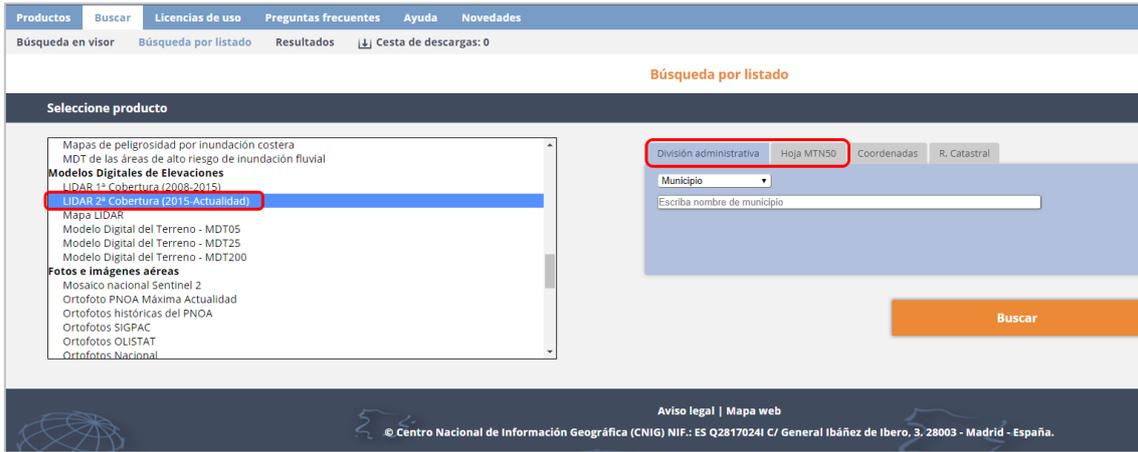


Figura 15 Página de descarga de archivos LAZ del PNOA. Fuente: elaboración propia a partir del Centro de Descargas del CNIG.

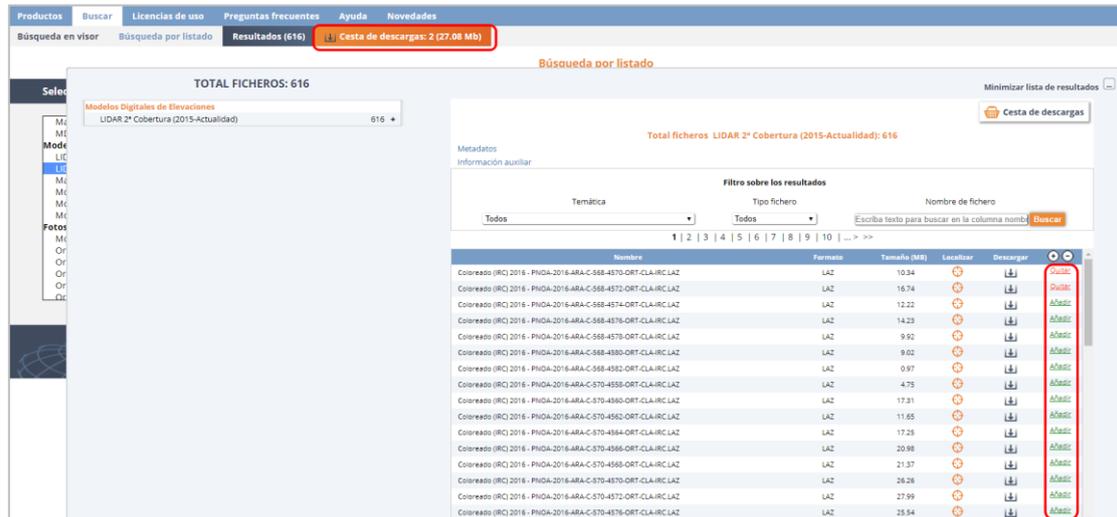


Figura 16 Archivos añadidos a la 'Cesta de descargas'. Fuente: elaboración propia a partir del Centro de Descargas del CNIG.



Figura 17 Página para proceder a la descarga de los archivos que se han seleccionado. Fuente: elaboración propia a partir del Centro de Descargas del CNIG.



4.4.9. Área apta según el coeficiente de retrodispersión: zonas freáticas

Los sensores RADAR emiten y captan energía, siendo capaces de penetrar en la atmósfera en casi cualquier situación (nubes, humo, lluvia fina, etc.), registrando información nocturna y diurna. Para la obtención de imágenes RADAR el sensor emite un haz energético que, posteriormente, recoge tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar (Chuvieco 2010). El sistema registra la intensidad de la señal de retorno (radiación retrodispersada) y el retardo en tiempo entre la transmisión y la recepción de cada pulso de energía, el cual se relaciona con la distancia de los objetos o superficies observados. La magnitud física medida directamente por el sensor es la intensidad de la radiación retrodispersada, que depende del coeficiente de retrodispersión o *backscattering* de cada superficie. Este coeficiente relaciona la energía retrodispersada con la recibida por unidad de área en la dirección del alcance terrestre (Marchionni & Cavayas 2014).

El coeficiente de retrodispersión o *backscattering* es sensible a las características de la superficie de la Tierra, incluida la constante dieléctrica y la rugosidad superficial del suelo, además de a las propiedades geométricas de la vegetación (contenido de agua de la vegetación, forma, orientación, etc.), a la frecuencia y a la polarización de la onda (Bhagat 2017). La constante dieléctrica influye en la capacidad de los materiales para absorber, reflejar y transmitir la energía de las microondas, por lo que la presencia de humedad contribuye a aumentarla, alterando significativamente la señal de retorno. Así, la respuesta de las superficies observadas por el RADAR aumentará en proporción al contenido de agua de esta superficie (Marchionni & Cavayas 2014).

Una vez conocido el coeficiente de retrodispersión de las zonas de estudio y con análisis temporales estacionales, dicho coeficiente puede ayudar a identificar qué tipo de pasto se encuentra en cada lugar. Por un lado, permite discriminar, por ejemplo, los pastos seriales y el grupo de prados encharcados/pastos higroturbosos, al diferenciar entre suelos con freatismo, con alta y persistente humedad edáfica, y altos valores del coeficiente de retrodispersión, y, por otro, identificando, con series temporales estacionales, zonas con una fuerte bajada de humedad en verano.

5. FACTORES DIAGNÓSTICO DE LOS TIPOS DE HÁBITAT DE PRADOS Y PASTIZALES *SENSU LATO*

5.1. Sistemas naturales maduros

5.1.1. Climosistemas

Entre los prados y pastizales *sensu lato* de carácter permanente se encuentra la vegetación herbácea supraforestal, los denominados pastos de puerto, que se asientan en las áreas más altas de las montañas españolas constituyendo la vegetación más evolucionada que puede aparecer en ese medio. Son comunidades de carácter relicto y se caracterizan por prosperar en ambientes con condiciones climáticas muy frías y húmedas, donde prácticamente puede helar todos los meses. El periodo de sequía o no existe o es breve, y el periodo vegetativo se concentra en verano y es corto, de entre 3 y 6 meses. (San Miguel 2001).

Como consecuencia de la elevada altitud, las precipitaciones son abundantes y buena parte de ellas se producen en forma de nieve que es redistribuida por el viento. Esto provoca que algunas zonas queden



casi desprovistas de ella (crestas, topografía convexa, barlovento), mientras que en otras se acumula (topografías cóncavas, sotavento). La innivación es un factor ecológico de gran importancia para estas comunidades puesto que determina en gran medida las características estructurales y funcionales del sustrato y, por ende, la distribución de los pastos.

Las zonas donde la nieve desaparece más rápidamente están sometidas a fuertes oscilaciones térmicas, lo que provoca fenómenos de crioturbación y, como consecuencia, el establecimiento de pequeñas bandas de vegetación que se alternan con otras descubiertas. Estos fenómenos dan lugar a la formación de una especie de 'olas' o 'gradines' muy características de este tipo de comunidades (San Miguel 2001) (Figura 18). Esta fragmentación dificulta extraordinariamente su cartografiado basado en teledetección, provocando que su fiabilidad sea escasa. Para mejorar dicha fiabilidad sería necesaria una gran precisión espacial, mayor que la disponible en la actualidad.

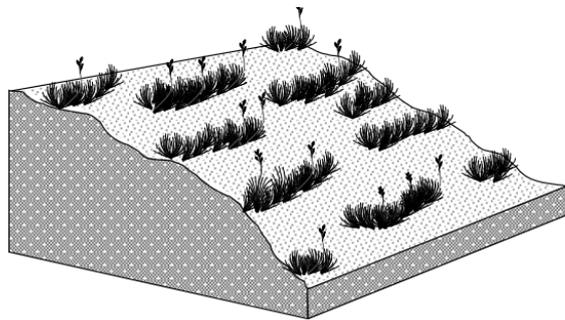


Figura 18 Distribución en bandas o 'gradines'. Fuente: extraída de San Miguel (2001).

Por otro lado, en las zonas de acumulación de nieve se producen procesos de lavado muy intensos que provocan la decarbonatación y descalcificación del suelo. Esto hace que, en extensiones muy reducidas de terreno, los distintos grados de acumulación de nieve den lugar a mosaicos de zonas con valores de pH y disponibilidad de nutrientes muy variables y que se formen mosaicos de pastos donde entran en contacto unos con otros. Así, por ejemplo, en el piso subalpino, sobre sustratos ricos en bases, los pastos de *Ononidetalia-striatae* forman mosaico con los de *Kobresio-Seslerietea*, *Caricetea curvulae* (*Festucion eskiae*) y *Nardetea* (*Nardion*) (San Miguel 2001; **Figura 19** 19). En muchas ocasiones el área que ocupa un determinado tipo de hábitat es tan pequeña que no resulta posible cartografiarlo y/o detectarlo con los sistemas de teledetección habituales.

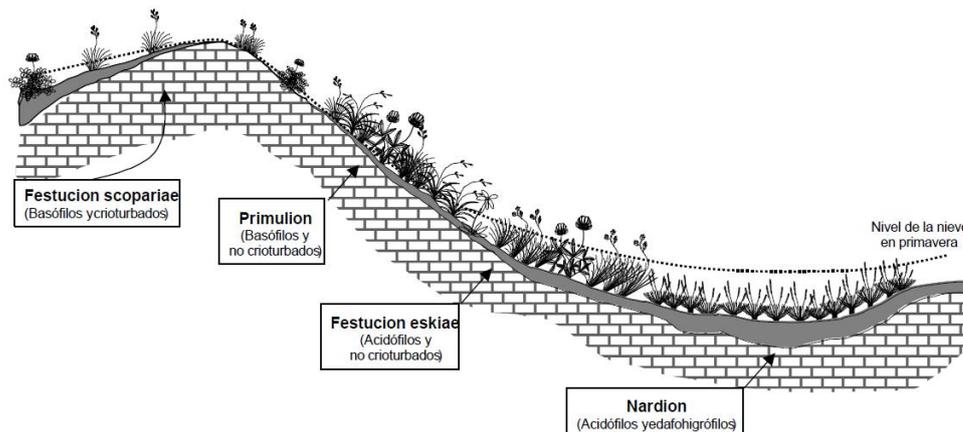


Figura 19 Zona con un mosaico de prados y pastizales *sensu lato* provocado por la diferente acumulación de nieve. Fuente: extraída de San Miguel (2001).

Una posible manera de solventar este problema (la gran heterogeneidad estructural de los pastos supraforestales) y poder diferenciar los distintos tipos de pastos que aparecen en mosaicos de pequeñas dimensiones, podría ser la utilización de los índices espectrales. En un trabajo realizado por Campo *et al.* (2004) donde se estudiaron las relaciones entre el NDVI, las variables topográficas y la vegetación en pastos supraforestales, se comprobó que el índice NDVI mostraba relaciones significativas con todas las variables ensayadas (altitud, orientación, pendiente e insolación), pero la que mejor determinaba su variabilidad era la altitud, con la que presentó una alta correlación inversa. Este resultado encaja relativamente bien con lo que se conoce de las características productivas de la vegetación en la alta montaña, donde la altitud es el principal factor ecológico que determina los cambios cualitativos y cuantitativos de la vegetación. La altitud impone un gradiente decreciente de temperatura y creciente de pluviometría con el consiguiente acortamiento del período vegetativo. Por otro lado, aunque algunas comunidades presentaron una respuesta espectral diferente a la de otras, en muchos casos los NDVI no fueron capaces de distinguir entre comunidades. El NDVI de octubre es el que mostró una mayor capacidad discriminadora. En esas fechas comienza la senescencia de muchas especies vegetales y la heterogeneidad de la materia seca y verde es mayor. La posible mayor capacidad discriminadora del NDVI del mes de octubre para las diferentes comunidades de pastos supraforestales puede ser útil para realizar las clasificaciones automáticas a partir de imágenes de satélite.

Esto denota que, aunque estos tipos de hábitat presentan características comunes y están muy relacionados entre sí, es necesario identificar las características intrínsecas de cada uno y definir parámetros particulares inequívocos con los que llevar a cabo una diferenciación.

Los prados y pastizales *sensu lato* con los que se va a trabajar son los que aparecen en la Figura 20 y se describen a continuación.

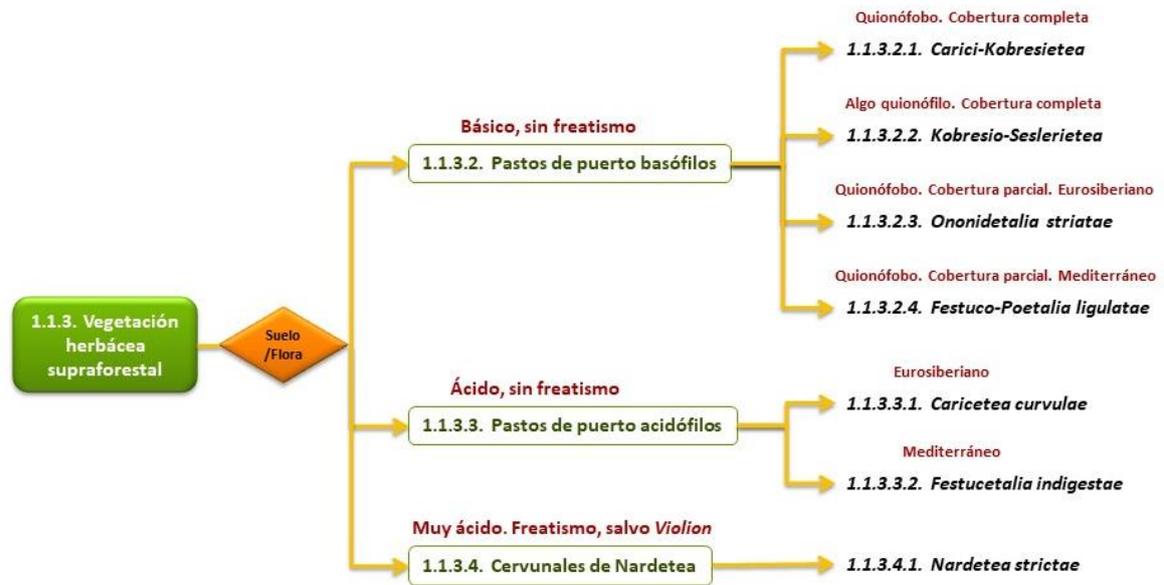


Figura 20 Diagrama con factores discriminantes de los climosistemas. Fuente: extraída de San Miguel (2019).

Tipo de hábitat 1.1.3.2.1. *Carici-Kobresietea*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6170 Pastos basófilos de alta montaña.

Parámetros de control (Tabla 5)

- Basófilos. Se sitúan sobre sustratos básicos totalmente descarbonatados y parcialmente descalcificados por la acción del deshielo, por lo que su pH suele ser neutro o ligeramente ácido.
- Zonas cacuminales más o menos llanas por lo que tienen carácter quionóforo. No se acumula mucha nieve, aunque tampoco suelen verse desprovistos de ella por completo, por lo que no sufren crioturbación. Su periodo de innivación es muy largo, de 8 a 10 meses, aunque dado su carácter quionóforo la nieve desaparece antes que en otras comunidades próximas.
- Se sitúan en posiciones topográficas de mesa o rellano, siempre con pendiente escasa o nula, o en crestas de exposición norte.
- En ambos casos su extensión suele ser reducida. La crioturbación y, sobre todo, la escasez de áreas con condiciones topográficas adecuadas, limitan las posibilidades de expansión de estas comunidades.



Tabla 5 Parámetros de control de *Carici-Kobresietea*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Alpino
pH	Basófilo pH > 6,6-7,8, a 5 cm de profundidad
Posición topográfica	Pte < 25%
Precipitación	Húmedo- ultrahiperhúmedo: P > 1000
SIGPAC	Eliminar los recintos que no sean IM
Altura de la vegetación	Para la segunda cobertura LiDAR, eliminar la vegetación mayor de 50 cm. Si se usa la primera cobertura eliminar la vegetación mayor de 70 cm

Tras la clasificación, la capa de series de vegetación para la España peninsular e islas Baleares quedará tal y como se muestra en la Figura 8.

Consideraciones sobre el aprendizaje automático

Este tipo de hábitat aparece en minúsculos islotes de vegetación que destacan entre las grandes superficies desnudas del piso alpino (Remón *et al.* 2009a). Su presencia es tan escasa y puntual que es difícilmente cartografiable como polígonos, por lo que en este caso solo sería viable si se cuenta con cartografía de gran detalle espacial como la que se puede obtener del vuelo de un dron.

Tipo de hábitat 1.1.3.2.2. *Kobresio-Seslerietea*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6170 Pastos basófilos de alta montaña.

Parámetros de control (Tabla 6)

- Largos periodos de innivación (7 a 10 meses) que se prolongan por su moderado carácter quionófilo.
- La cubierta de nieve desaparece justo cuando las temperaturas empiezan a ser suficientemente altas como para que se inicie el periodo vegetativo de las plantas, por lo que su temporada productiva es similar a la de los pastos crioturbados y superior a la de los cervunales, de carácter más quionófilo. No sufren crioturbación.
- Las precipitaciones son elevadas: ombroclima húmedo-ultrahiperhúmedo.
- Los pastos de *Seslerietalia* se ubican en posiciones topográficas de ladera y en situaciones de perfil recto o ligeramente cóncavo, donde la nieve puede permanecer acumulada, aunque sin llegar a provocar encharcamientos prolongados en verano.



Tabla 6 Parámetros de control de *Kobresio-Seslerietea*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Subalpino y parte inferior del alpino
pH	De moderadamente ácido a basófilo: pH > 5,6-8,4, a 5 cm de profundidad
Posición topográfica	Pendiente baja o media: Pte = 0-25%, perfil recto o ligeramente cóncavo
Innivación	Alta frecuencia de cobertura de nieve. Innivación prolongada
Precipitación	Ombroclima de húmedo a hiperhúmedo: P > 1000
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM
Altura de la vegetación	LiDAR: eliminar vegetación de altura superior a 30 cm para la segunda cobertura y a 50 cm para la primera.

Consideraciones sobre el aprendizaje automático

Su cartografiado en base a teledetección es de fiabilidad dudosa dada la fragmentación que suele tener y, por tanto, la precisión espacial que se necesita. Posiblemente, también sea de gran ayuda conjugar imágenes de distintas fechas, ya que la fenología es un factor *a priori* importante para su discriminación frente a otros tipos de vegetación herbácea.

Tipo de hábitat 1.1.3.2.3. *Ononidetalia striatae*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6170 Pastos basófilos de alta montaña.

Parámetros de control (Tabla 7)

- Aparece en crestas, espolones, zonas cacuminales y laderas muy expuestas al viento.
- Frecuentes procesos de crioturbación, cobertura de la vegetación del 10 al 40%.
- Los suelos, que habitualmente pueden describirse como litosoles o cambisoles, suelen ser poco profundos y de reacción neutra.

Tabla 7 Parámetros de control de *Ononidetalia striatae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Montano, subalpino y mitad inferior del alpino Exclusivamente región biogeográfica alpina
pH	Basófilo pH > 7,4-7,8 a 5 cm de profundidad
Posición topográfica	Pendiente media-alta 5-40%
Innivación	Baja frecuencia de cobertura de nieve. Quionóforo.
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM
Altura de la vegetación	LiDAR: eliminar vegetación de altura superior a 30 cm para la segunda cobertura y a 50 cm para la primera



Tipo de hábitat 1.1.3.2.4. *Festuco-Poetalia ligulatae*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6170 Pastos basófilos de alta montaña.

Parámetros de control (Tabla 8)

- Su óptimo climático es mediterráneo, con una clara sequía estival. También se presentan en la región eurosiberiana dentro de la cordillera Cantábrica, aunque siempre en situaciones de topografía convexa o llana (crestas, espolones, parameras), donde el efecto del viento, el sol y el frío es intenso y donde la humedad procedente de las precipitaciones se pierde con rapidez, tanto por escurrimiento del agua como por redistribución de la nieve por el viento; por ello en esta región poseen un fuerte carácter continental.
- Se extienden por la alta montaña caliza mediterránea: pisos supra y oromediterráneo, en las cordilleras Béticas, sistema Ibérico en sentido amplio y altas montañas calizas castellanocantábricas. También se presentan en la alta cordillera Cantábrica (alianza *Festucion burnatii*), ya dentro del círculo de vegetación eurosiberiano.

Tabla 8 Parámetros de control de *Festuco-Poetalia ligulatae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Subalpino y alpino de la región biogeográfica atlántica (provincia orocantábrica) Supra y oromediterráneo en la región mediterránea
pH	Basófilo pH > 6-7 a 5 cm de profundidad
Posición topográfica	Pendiente media – baja 0-35%
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM
Altura de la vegetación	LiDAR: eliminar vegetación de altura superior a 30 cm para la segunda cobertura y a 50 cm para la primera.

Tipo de hábitat 1.1.3.3.1. *Caricetea curvulae*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6140 Pastos pirenaicos de *Festuca eskia*

Parámetros de control (Tabla 9)

- Ocupa los pisos bioclimáticos subalpino y alpino con distribución pirenaica, aunque con disyunciones orocantábricas, en España.
- Los pastos de *Caricetea curvulae* ocupan posiciones topográficas de ladera con orientaciones de solana y zonas cacuminales más o menos llanas, aunque pueden llegar a ocupar zonas de pendientes muy fuerte. Suelen situarse a altitudes superiores a 1800 m.
- Prosperan sobre sustratos que presentan reacción ácida en superficie, bien porque la litología es silíceo o porque estando asentados sobre sustratos básicos, la acumulación de nieve y su posterior deshielo permiten la descarboxilación y descalcificación del suelo. Este fenómeno se da con mucha frecuencia en laderas situadas a sotavento y posiciones de topografía cóncava



del Pirineo calizo, a veces en áreas muy reducidas de pocos metros. Por ello, los pastos de *Caricetea curvulae* llegan a contactar con los psicroxerófilos calizos de *Festuco-Seslerietea*, los cervunales de *Nardion* e incluso los crioturbados de *Festucion scopariae*.

Tabla 9 Parámetros de control de *Caricetea curvulae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Pisos subalpino y alpino
pH	Acidófilo: pH = 5-6, medido a 5 cm de profundidad
Posición topográfica	Laderas y zonas cacuminales más o menos llanas: Pte = 0-100%
Orientación	Solana
Innivación	Quionófilo. 6-10 meses de innivación
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM
Altura de la vegetación	LiDAR: eliminar vegetación de altura superior a 60 cm para la segunda cobertura y a 80 cm para la primera.

Consideraciones sobre el aprendizaje automático

Aparece formando característicos 'gradines' en las laderas. Cuando se sitúa en topografías llanas su cobertura es completa. El establecimiento de un modelo para determinar el área de distribución de este tipo de hábitat mediante procedimientos de teledetección es bastante complejo. Esto se debe a que puede aparecer en mosaico con otros pastos o lo hace en 'gradines' en superficies individuales muy pequeñas, haciendo muy difícil su separación de otros pastos y/o suelo desnudo mediante los sensores si la muestra de entrenamiento no es de suficiente precisión geográfica.

Tipo de hábitat 1.1.3.3.2. *Festucetalia indigestae*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6160 Pastos orófilos mediterráneos de *Festuca indigesta*.

Parámetros de control

- Los pastos de *Festucetalia indigestae* ocupan posiciones topográficas cacuminales o de ladera, a altitudes superiores a los 2100 – 2200 m.
- Piso crioromediterráneo (también oromediterráneo en el sudeste peninsular) de las altas montañas silíceas de la región mediterránea y, de forma empobrecida, también en el subalpino y alpino de la orocantábrica.
- Climas de alta montaña con periodos de innivación mayores de 5 meses.
- Ombroclima de húmedo a ultrahiperhúmedo.
- Desde el punto de vista climático, se diferencian de las comunidades de *Caricetea curvulae* por presentar habitualmente un periodo de sequía estival, lo que, unido a la fuerte insolación, confiere a la vegetación un fuerte carácter continental y un xerofitismo mucho más acusado que el de los pastizales psicroxerófilos alpinos.



Tabla 10 Parámetros de control de *Festucetalia indigestae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Pisos crioro y oromediterráneo de la región biogeográfica mediterránea Pisos alpino y subalpino de la región biogeográfica atlántica exclusivamente
pH	Acidófilo, pH = 3,5-6, medido a 20 cm de profundidad
Posición topográfica	Cacuminal o de ladera: Pte = 0-20%
Innivación	Quionófilo. Más de 5 meses de innivación.
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM
Altura de la vegetación	LiDAR: eliminar vegetación de altura superior a 30 cm para la segunda cobertura y a 50 cm para la primera.

Consideraciones sobre el aprendizaje automático

Aparece formando característicos 'gradines' en las laderas.

Tipo de hábitat 1.1.3.4.1. *Nardetea strictae*

Este tipo de hábitat se corresponde con el THIC 6230* Cervunales y otras comunidades herbáceas acidófilas con *Nardus stricta*⁴⁷.

Se incluyen a continuación los cervunales que, aunque también pueden ser encuadradas en los sistemas naturales de sustitución, tienen su máxima representación dentro de los pastos de puerto (supraforestales).

Parámetros de control

- Pastos herbáceos mesofíticos o de puerto, cerrados y densos, muy acidófilos. A menudo asentados sobre suelos con freatismo y difícil mineralización del humus. En esos casos suelen estar dominados por *Nardus stricta* (cervuno).
Los cervunales son comunidades edafohigrófilas (azonales); por ello, el clima no es para ellos un factor de importancia tan trascendental como para otros tipos de pastos. Seguramente, su característica más destacable sea el frío, que, asociado a la humedad edáfica, dificulta y ralentiza la humificación de la materia orgánica.
- En zonas de alta montaña, donde tienen el carácter de comunidades permanentes, los cervunales poseen un fuerte carácter quionófilo; es decir, se sitúan en zonas llanas o depresiones donde la nieve se acumula y tarda mucho tiempo en deshacerse.

⁴⁷ Los tipos de hábitat de interés comunitario que se señalan con un asterisco (*) son considerados prioritarios.



Tabla 11 Parámetros de control de *Nardetea strictae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Montano, subalpino, alpino Supramediterráneo, oromediterráneo y crioromediterráneo
pH	Ácido: pH = 4,5-6
Posición topográfica	Llanuras y depresiones a sotavento, en áreas con tendencia a acumular nieve
Innivación	Quionófilo
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PS
Altura de la vegetación	LiDAR. Eliminar vegetación de altura superior a 30 cm para la segunda cobertura y a 50 cm para la primera.

5.1.2. Edafosistemas

Los edafosistemas, muy frecuentes en España, son producto de ciertos factores ambientales locales o particulares determinantes de pequeñas singularidades que comunican 'mosaicidad' al paisaje. El carácter maduro de los edafosistemas viene impuesto fundamentalmente por singularidades litológicas como saladares, arenales, yesares, encharcamientos, etc. (Sainz-Ollero & Sánchez de Dios 2011). En el caso de los prados y pastizales *sensu lato* no condicionados al clima sino ligados a procesos físicos naturales muy dinámicos y variables, se les suele denominar azonales o intrazonales.

No obstante, el límite entre lo estrictamente climático ('climático') y lo que está condicionado por humedad edáfica, litología o caracteres estructurales de los sustratos, es a menudo gradual, difuso y difícil de precisar. Con frecuencia, es extraordinariamente discutible dada la dificultad para determinar cuál es el factor predominante que explica la presencia de cada una de las comunidades (Sainz-Ollero & Sánchez de Dios 2011).

Idealmente, para poder realizar el seguimiento de la superficie ocupada por estos ecosistemas de manera precisa, se debería tener identificados geográficamente todos los factores que provocan la presencia de los mismos (p. ej. litosuelos calcáreos, freaticismos, etc.). Sin embargo, no se cuenta con dicha información o esta es muy precaria o está disponible a escalas muy poco precisas para el objetivo de este trabajo. Una vía para intentar solventar la falta de dicha información es el uso de sensores remotos o teledetección, pero cabe resaltar que, para los edafosistemas que ocupen áreas muy reducidas, estas metodologías no serán válidas o sus resultados serán poco precisos.

Entre los prados y pastizales se contemplan diversos edafosistemas, cuyo diagrama y factores discriminantes de cada uno de ellos, se exponen en la Figura 21. A continuación, se ofrece una descripción de los diferentes edafosistemas con los que se va a trabajar.

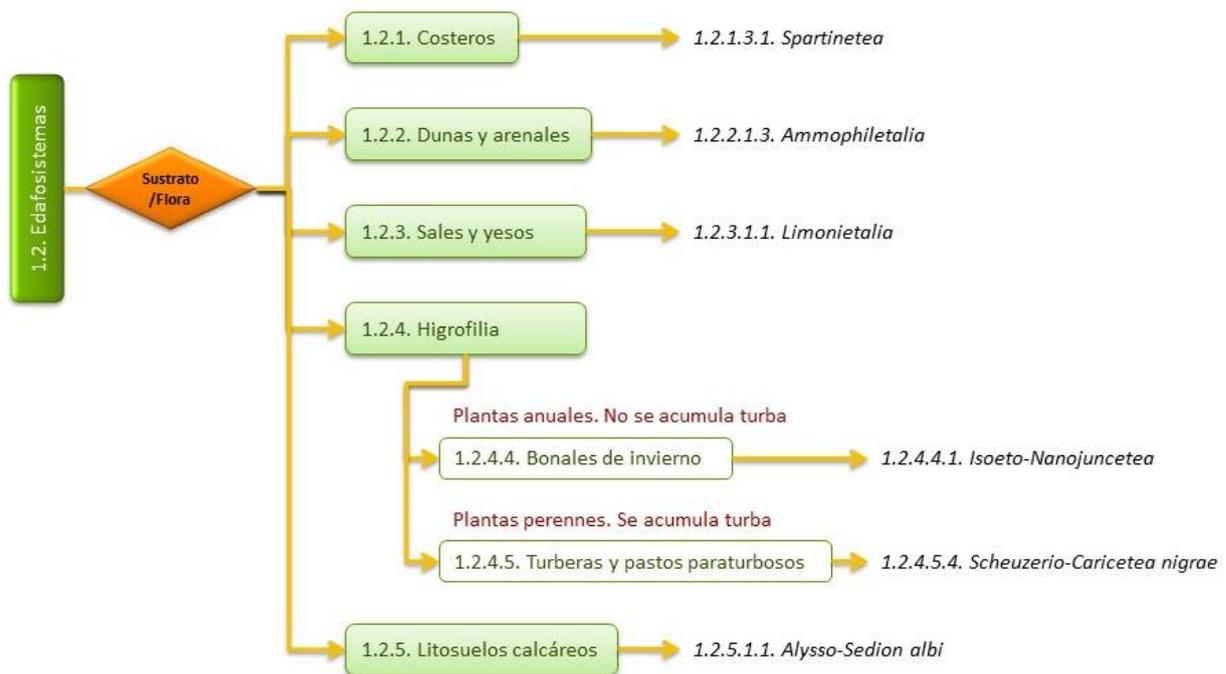


Figura 21 Diagrama con los factores discriminantes de los edafosistemas pertenecientes a los prados y pastizales *sensu lato*. Fuente: extraída de San Miguel (2019).

Tipos de hábitat 1.2.1.3.1. *Spartinetea*; 1.2.2.1.3. *Ammophiletalia*; 1.2.4.5.4. *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*; 1.2.4.4.1. *Isoeto-Nanojuncetea*

El tipo de hábitat 1.2.1.3.1 *Spartinetea* (Espartinales marítimos, desembocaduras y estuarios) tiene correspondencia con el THIC 1320 Pastizales de *Spartina* (*Spartinion maritimae*) y el tipo de hábitat 1.2.2.1.3 *Ammophiletalia* (Dunas interiores fijadas, menos salinas, donde destaca el barrón (*Ammophilla arenaria*)) tiene correspondencia con el THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophilla arenaria* (dunas blancas). Ambos corresponden a ecosistemas de prados y pastizales de tipo costero y, a tal efecto, ya han sido estudiados por los equipos de trabajo de ecosistemas costeros (Gracia *et al.* 2019).

El tipo de hábitat 1.2.4.5.4 *Scheuchzerio-Caricetea nigrae* (Tremedales y ciénagas higróturbosas) tiene correspondencia con los THIC 7110* Turberas elevadas activas, THIC 7130 Turberas de cobertor, THIC 7140 Mires de transición (Tremedales), THIC 7150 Depresiones en sustratos turbosos del *Rhynchosporium* y THIC 7230 Turberas minerotróficas alcalinas. Se trata de pastizales propios de turberas y, como tales, han sido evaluados por el equipo de tipos de hábitat de turbera (Pontevedra-Pombal *et al.* 2019). Asimismo, el tipo de hábitat 1.2.4.4.1 *Isoeto-Nanojuncetea* (Bonales de invierno, pastizales inundados agostantes) tienen correspondencia con el THIC 3170* Lagunas y charcas temporales mediterráneas, y ha sido trabajado por el equipo de ecosistemas leníticos (Camacho *et al.* 2019).

En el caso de los tipos de hábitat estudiados por el grupo de trabajo de ecosistemas costeros se ha propuesto determinar el parámetro 'Superficie ocupada' mediante fotointerpretación e inspecciones de campo. En el trabajo desarrollado se profundiza en los criterios necesarios para realizar una fotointerpretación adecuada para cada uno de los tipos de hábitat.



El equipo de trabajo de turberas (Pontevedra-Pombal *et al.* 2019) dedica todo su trabajo al tipo de hábitat 1.2.4.5.4. *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*, profundizando en los criterios para discernir la superficie ocupada por los distintos THIC que engloba este tipo de hábitat y los criterios específicos que determinan la superficie de la unidad funcional. Una vez que las turberas son localizadas y georreferenciadas, la medición de la superficie ocupada se realiza mediante fotointerpretación apoyada en trabajo de campo, series cartográficas históricas y modelos digitales del terreno elaborados a partir de modelos digitales de elevaciones o datos LiDAR.

Por otro lado, para determinar el parámetro 'Superficie ocupada' por los bonales, en el estudio realizado por el equipo de ecosistemas leníticos (Camacho *et al.* 2019) se propone una batería de opciones metodológicas que permiten determinar la superficie cubierta por vegetación helofítica en zonas húmedas: fotointerpretación mediante el uso de ortofotografías históricas o de *Google Earth Pro*, procesado de imágenes satélite o mediante SWOS (*Satellite-based Wetland Observation Service*).

La metodología y los procedimientos propuestos en los trabajos antes mencionados se han comprobado y validado. Los métodos basados en fotointerpretación se consideran adecuados para los tipos de hábitat para los que exista un inventario de los mismos y con localizaciones muy concretas y de escasa superficie, como los edafosistemas. Sin embargo, no se considera extrapolable al resto de prados y pastizales *sensu lato* ya que, al tratarse de un procesado manual, es una metodología lenta que puede hacer la labor inviable cuando se tiene que trabajar sobre grandes superficies, como es el caso de la mayoría de los ecosistemas de prados y pastizales.

Para identificar las localizaciones de estos edafosistemas las capas del SIOSE pueden resultar de gran utilidad, en concreto las siguientes coberturas simples: estuarios ('AES-522') para el tipo de hábitat *Spartinetea*; playas, dunas y arenales ('PDA-331') para el tipo de hábitat *Ammophiletalia*; turberas ('HTU-412') para el tipo de hábitat *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*; y lagos y lagunas ('ALG-513') para el tipo de hábitat *Isoeto-Nanojuncetea*. Además, para este último tipo de hábitat existe una enumeración que incluye los lagos, lagunas y humedales que tienen declarada su presencia en Camacho *et al.* (2009).

Tipo de hábitat 1.2.3.1.1. *Limonietalia*

El tipo de hábitat 1.2.3.1.1 *Limonietalia* (Estepas pioneras salinas mediterráneas) tiene correspondencia con el THIC 1510* Estepas salinas mediterráneas. Prospera sobre depresiones salinas raramente encharcadas y también aparece en bordes elevados de teselas de suelos salinos. Aparece muchas veces de manera puntual o lineal, lo que complica el uso de métodos sencillos de teledetección y modelización.

La existencia de este tipo de hábitat está condicionada por la presencia de suelos salinos, fundamentalmente *Solonchacks* (De la Cruz 2009), por lo que la manera más efectiva de localizar estos pastizales es determinando la ubicación de dichos suelos. Lo ideal sería disponer de una capa de sustratos con la que poder trabajar, sin embargo, las fuentes de datos disponibles son escasas y la escala de las existentes no es aplicable a las necesidades de este trabajo.

Por todo lo descrito anteriormente, y como también indica De la Cruz (2009), la determinación del área ocupada, el área potencial y la superficie de referencia de este tipo de hábitat es muy problemática. Se considera que el método más apropiado para determinar su superficie ocupada puede ser partir de la adición de varias superficies relacionadas con los suelos salinos. Posteriormente, mediante



fotointerpretación sobre ortofotografías a escala 1:10.000 o inferior, se podría ir determinando la superficie ocupada por el tipo de hábitat.

Así pues, su AOI se creará a partir de la unión de varias cartografías y de sus superficies asociadas:

- a) Superficie de las capas que definen la presencia de los tipos de hábitat halófilos incluidos en la cartografía de los THIC. Son los siguientes:
 - 1410 Pastizales salinos mediterráneos (*Juncetalia maritimi*)
 - 1420 Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (*Sarcocornetea fruticosi*) o, simplemente, matorrales halófilos
 - 1430 Matorrales halonitrófilos (*Pegano-Salsoletea*) o, simplemente matorrales halonitrófilos
 - 1510* Estepas salinas mediterráneas
- b) Teselas del MFE25, que en el campo 'Format' o 'Format2' contengan una de las siguientes formaciones arbustivas:
 - 283 – Matorrales halohidrófilos (suelos ricos en sal: marismas, litorales)
 - 284 – Matorrales haloxerófilos (suelos ricos en sal: zonas áridas). Contienen sisallares (*Salsona vermiculata*) y otros matorrales haloxerófilos
- c) Áreas del SIOSE con dos códigos relacionados con áreas salinas (identifican únicamente salinas encharcadas, lo que no cubre todas las áreas potenciales para este tipo de hábitat), con los siguientes códigos:
 - Salinas continentales 'HSA-413'
 - Salinas (marinas) 'HSM-422'

Consideraciones sobre el trabajo de campo

El trabajo de campo es clave para el reconocimiento de estos pastizales cuyas áreas, en muchos casos, son de pequeño tamaño, difusas y difícilmente interpretables mediante teledetección. Además, el trabajo de campo permitiría corroborar la fotointerpretación realizada en gabinete y/o determinar los límites entre distintos ecosistemas.

Tipo de hábitat 1.2.5.1.1. *Alysso-Sedion albi*

El tipo de hábitat 1.2.5.1.1 *Alysso-Sedion albi* (Comunidades basófilas de crasifolios) se corresponde con el THIC 6110* Comunidades rupícolas basófilas pioneras de crasuláceas de *Alysso-Sedion albi*.

Se trata de un tipo de hábitat azonal cuyo principal condicionante para su presencia es la falta de sustrato. Es propio de protosuelos y litosuelos calcáreos o muy ricos en bases, con escasa materia orgánica y humedad.



Parámetros de control (Tabla 12)

- AOI. Áreas con sustratos calizos. Pueden identificarse mediante la cartografía vectorial de la Síntesis Litológica de España seleccionando los registros con la etiqueta '1' en el campo 'CALIZO', debiendo ser refinada, a continuación, la consulta por tipos de litología en el campo 'DESCRIPCIO'.
- Son comunes los caméfitos suculentos del género *Sedum*, siendo *Sedum album* la especie característica de la alianza. Para obtener los datos de ocurrencias georreferenciadas de *Sedum album* se puede utilizar la información disponible en GBIF. Los datos se obtienen en formato CSV desde la web de GBIF, pero resulta más práctico hacerlo desde el 'plugin GBIF Occurrences' de QGIS puesto que los resultados aparecen directamente como una capa de puntos (Figura 22).

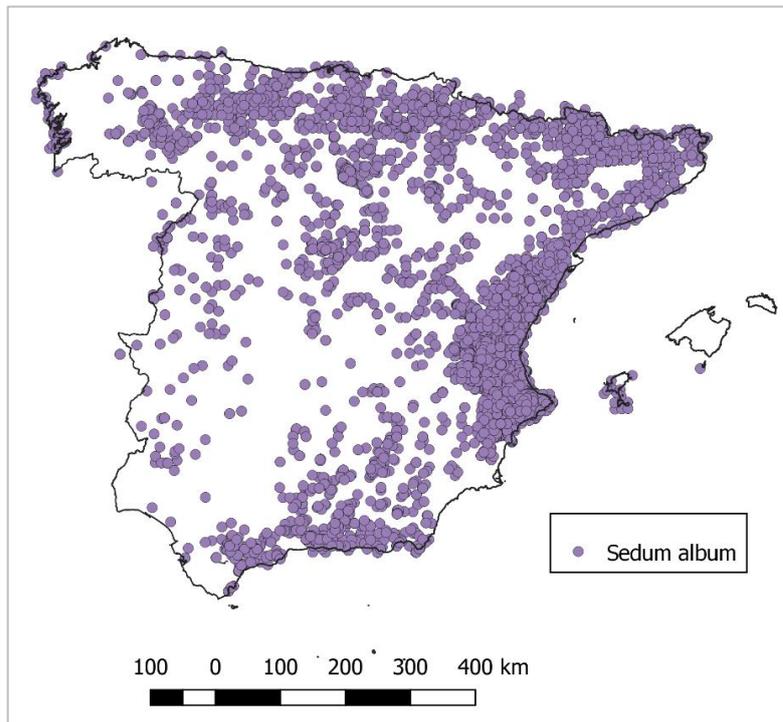


Figura 22 Presencia de *Sedum album* obtenida mediante la herramienta 'plugin GBIF Occurrences' de QGIS. Fuente: elaboración propia a partir del uso de QGIS.

Esta capa con la presencia de *Sedum album* puede utilizarse como una capa de máscara que ayude a determinar el AOI o como una capa de apoyo en la validación o ajuste de los modelos.

Tabla 12 Parámetros de control de *Alyso-Sedion albi*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
pH	Básico: pH > 7
Altura de la vegetación	Pasto de talla corta. Se eliminará la vegetación superior a 0,30 cm para la segunda cobertura y a 0,50 cm para la primera.



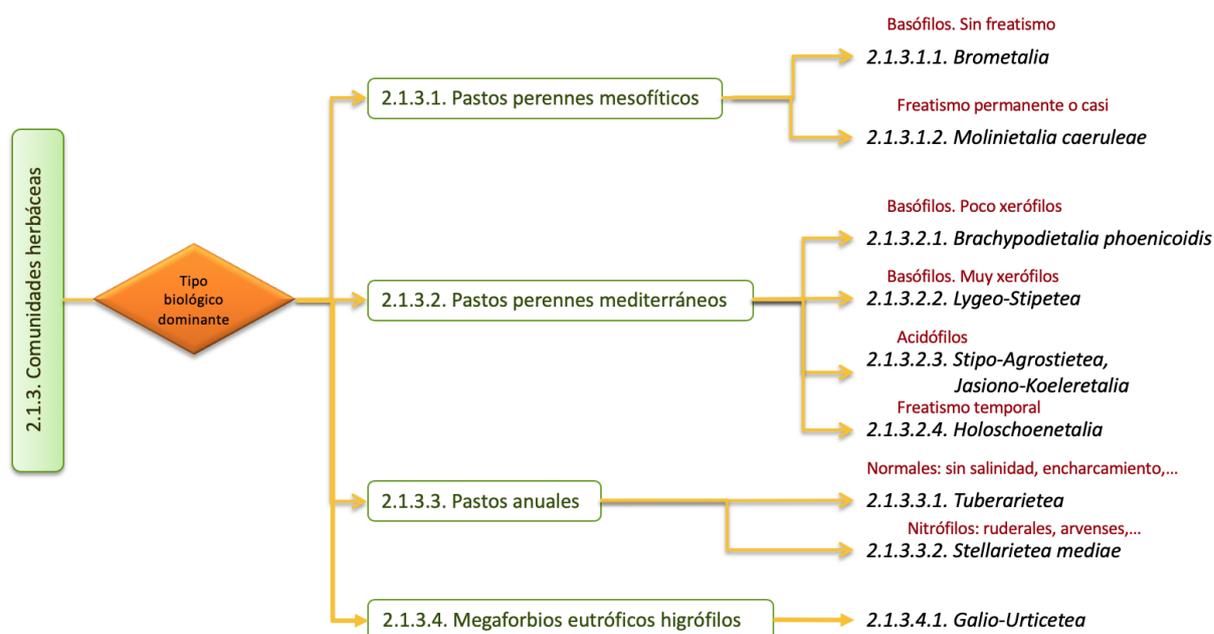
Consideraciones sobre el aprendizaje automático

Según Ríos & Salvador (2009) estas comunidades ocupan entre el 0,01–1% de los territorios con zonas rocosas y se asientan sobre áreas muy pequeñas de 0,25 m² a excepcionalmente grandes de 20 m², mostrando un recubrimiento de más del 60%. Es inviable cartografiar sistemáticamente mediante sensores remotos estos tipos de hábitat tan pequeños, fragmentarios y dispersos.

5.2. Sistemas naturales de sustitución. Comunidades herbáceas

En este grupo se incluyen las comunidades herbáceas que constituyen etapas de sustitución de formaciones vegetales leñosas (bosques, arbustados, matorrales). Para que existan, es necesario que haya perturbaciones (pastoreo, siega, fuego, laboreo, etc.) que hayan hecho desaparecer la vegetación leñosa y perpetúen la herbácea. Se diferencian de los sistemas seminaturales porque, en este caso, la intensidad y la persistencia de las perturbaciones no es muy elevada.

Los tipos de hábitat que se van a analizar dentro de este grupo son los incluidos en el siguiente diagrama (Figura 23), que muestra además los factores discriminantes de los mismos.



Nota: la clase *Nardetea*, que ha sido incluida en 1.1.3.3., porque ahí se concentra su representación más abundante, también incluye pastos perennes mesofíticos acidófilos (alianzas *Violion caninae* y *Campanulo-Nardion*, en parte). Los prados de *Arrhenateretalia elatioris* y *Plantaginietalia majoris*, que también son pastos herbáceos perennes mesofíticos, se han incluido en la clase 3 (Sistemas seminaturales), porque requieren una gestión intensa y continuada.

Figura 23 Diagrama con factores discriminantes de los sistemas naturales de sustitución. Fuente: extraída de San Miguel (2019).

Tal y como se comprueba en el anterior diagrama, las comunidades herbáceas objeto de este trabajo se pueden clasificar en los siguientes grupos según su tolerancia a la sequía:



- Pastos perennes mesofíticos: los que no sufren o casi no sufren sequía estival. Son dominados por especies herbáceas vivaces poco o nada xerófilas.
- Pastos xeromesofíticos, con vivaces y anuales: con sequía estival pero dominados por especies vivaces más o menos xerófilas y terófitos.
- Pastos terofíticos: con larga sequía estival y dominados por especies anuales.

Por tanto, el periodo más o menos largo de sequía estival caracteriza las áreas en las que pueden prosperar un tipo u otro de prado o pastizal y permitirá acotar el AOI.

5.2.1. Pastos perennes mesofíticos

Los pastos perennes mesofíticos se caracterizan porque viven en medios donde no hay periodo seco o este es muy corto. Este hecho, será uno de los factores que permitirán acotar el AOI de los pastos, limitándola a las áreas que se ajustan a las necesidades de los prados y pastizales.

A continuación, se presentan los tipos de hábitat que pertenecen a este grupo.

Tipo de hábitat 2.1.3.1.1. *Brometalia*

Se trata de pastos perennes mesofíticos y xeromesofíticos basófilos, sin freatismo: *Bromus erectus*, *Festuca rubra*, *Trifolium montanum*, etc.

Parámetros de control del AOI (Tabla 13)

- En el caso del tipo de hábitat 2.1.3.1.1 *Brometalia* (con correspondencia con el THIC 6210 Pastos herbáceos basófilos seminaturales de *Festuco-Brometalia*), se considera que su óptimo se encuentra en las zonas que no son extremadamente frías y que no sufren sequía (Yera & Ascaso 2009). Se considera como área potencialmente apta, según su periodo seco, aquella donde la duración media del periodo seco sea igual o inferior a 1-2 meses, habiendo aplicado un margen de seguridad de un mes aproximadamente.
- Regiones biogeográficas eurosiberiana y mediterránea. Pisos mesotemplado y supratemplado de la región eurosiberiana, aunque pueden llegar al subalpino. También puede aparecer en la región mediterránea en los pisos supra y oromediterráneo y en situaciones topográficas favorables como depresiones, vaguadas o fondos de valle, siempre en ombroclimas, como mínimo, húmedos.
- Sustratos calcáreos, ricos en bases, descarbonatados o ligeramente ácidos. Pueden identificarse mediante la cartografía vectorial de la Síntesis Litológica de España seleccionando los registros con la etiqueta '1' en el campo 'CALIZO', refinándose a continuación la consulta por tipos de litología en el campo 'DESCRIPCIO'.
- Prospera en zonas de pendientes bajas, generalmente menores a un 10%.



Tabla 13 Parámetros de control del AOI de *Brometalia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Sequía	Se considera que su sequía es inferior a un mes. Se seleccionará como periodo seco o árido la sequía inferior a 1-2 meses, para contar con un margen de seguridad.
pH	Básico: pH > 6-8,5, a 30 cm de profundidad
Pisos bioclimáticos	Mesotemplado y supratemplado (puede llegar al orotemplado). Supra y oromediterráneo.
Pendiente	Escasa o media: Pte < 15%

Consideraciones para el muestreo

- Se extienden por los Pirineos, cornisa Cantábrica, montañas Castellano-Leonesas y sistema Ibérico, aunque aparecen puntualmente en otras zonas montañosas de sustratos eutróficos de la España mediterránea e incluso de Galicia (Serra do Courel). También, de forma esporádica, pueden presentarse en las sierras calizas del centro y sur de la península Ibérica, siempre en superficies pequeñas y en posiciones topográficas favorables que garantizan la ausencia de sequía (San Miguel 2001).
- Dos hechos dificultan el cartografiado de estos pastos. El primero radica en que su área de distribución potencial depende del grado y tipo de presión antrópica que se ejerza sobre ellos, ya que la mayoría son pastos establecidos en áreas de fitocenosis arbóreas o de matorral. El segundo tiene que ver con sus límites y la superficie que ocupan, ya que existen zonas ecotónicas, de difícil atribución fitosociológica, con las fitocenosis vecinas (Yera & Ascaso 2009).
- Si se aprovechan por siega o pastoreo intenso, evolucionan con rapidez hacia comunidades de *Arrhenatherethalia* (sistemas seminaturales).

Tipo de hábitat 2.1.3.1.2. *Molinietalia*

El tipo de hábitat *Molinietalia* (con correspondencia con el THIC 6410 Prados-juncales de *Molinion caeruleae* y *Juncion acutiflori*) forma prados y juncales de talla media-alta que prosperan sobre suelos con freatismo permanente y frecuente acumulación de materia orgánica. La alta y persistente humedad edáfica de las áreas donde habitan es el principal condicionante de la existencia de este tipo de hábitat. Por tanto, el filtrado de su área potencial identificando las zonas con freatismo es el factor clave en la delimitación del AOI de este tipo de hábitat.

Ocupa, por lo general, superficies reducidas (decenas o unas pocas centenas de m²) y aparece fragmentado en el paisaje, por sus requerimientos topográficos y, principalmente, de humedad edáfica. Además, su amplia distribución y aparición entremezclada con otros pastos, provocan que la determinación de su superficie ocupada sea una tarea difícil y costosa.



Parámetros de control del AOI

- Vegetación poco o nada agostante, caracterizada por prosperar en áreas con condiciones de humedad superiores a las estrictamente climáticas, zonas con freatismo permanente o casi (vaguadas, zonas encharcadas, etc.). Se determinarán las zonas freáticas con RADAR.
- Formaciones herbáceas con aspecto denso y talla elevada, de 50-100 cm (130 cm) pero sin arbolado (Marinas *et al.* 2009). Se eliminará, mediante procesado de los datos LiDAR, toda la vegetación de altura superior a 1,50 cm para la segunda cobertura y a 1,70 cm para la primera.
- Gran parte del área potencial de estas comunidades se encuentra en la actualidad ocupada por cultivos, por lo que resulta imprescindible eliminar todas las parcelas cuyo 'Uso_SIGPAC' sea TA ('Tierras arables').
- Sustratos ricos en materia orgánica, con un valor mayor de 10 g/kg medido a 5 cm de profundidad.
- Aunque se extiende en zonas llanas, preferentemente por la mitad norte de la península Ibérica, puede colonizar laderas pendientes con suelos impermeables que rezuman agua. En general, aparece en zonas con pendiente baja, pero se da también en algunas áreas con pendiente.

Tabla 14 Parámetros de control del AOI de *Molinietalia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Freatismo	Sensor RADAR. Zonas con humedad superior a la climática.
Altura de la vegetación	Pasto de talla elevada (50-100 cm). Se eliminará la vegetación superior a 1,50 cm para la segunda cobertura y a 1,70 cm para la primera.
Pisos bioclimáticos	Piso montano y la parte baja del subalpino o bien del supramediterráneo
Topografía	Llanos principalmente: Pte < 25%
Materia orgánica	Capa de <i>SoilGrids</i> a 5 cm de profundidad: Valor > 10 g/kg
SIGPAC	Eliminar las parcelas con 'Uso_SIGPAC' TA

Consideraciones para el muestreo

- La presencia de *Molinia* es una característica sencilla y eficaz de delimitar el tipo de hábitat pero teniendo en cuenta que esta especie puede aparecer en otros humedales (Marinas *et al.* 2009).
- Estas comunidades pueden presentarse aisladas o intercaladas entre otros pastos mesofíticos de suelos menos húmedos (p. ej. prados de siega o diente de *Arrhenatheretalia*). De hecho, sus características climáticas son similares a las de *Arrhenatheretalia*.
- Su estructura es heterogénea según la alianza de la que se trate.



5.2.2. Pastos perennes mediterráneos

Tipo de hábitat 2.1.3.2.1. *Brachypodietalia phoenicoidis*

El tipo de hábitat 2.1.3.2.1 *Brachypodietalia phoenicoidis* incluye pastizales perennes mediterráneos basófilos, agostantes, denominados fenalares. Se trata de comunidades vegetales herbáceas perennes dominadas por gramíneas altas y duras (lastones), como *Brachypodium phoenicoides*, *Elytrigia intermedia* (*Agropyrum intermedium*) y otras.

Parámetros de control del AOI (Tabla 15)

- Según la bibliografía disponible, los pastos de *Brachypodietalia phoenicoides* se asientan sobre sustratos litológicos ricos en bases (calizas y margas, sobre todo), de textura arcillosa o arcilloso-limosa (San Miguel 2001).
- Su periodo de sequía es menor de 2-3 meses. Según San Miguel (2001), los pastos de *Brachypodietalia phoenicoidis* se sustentan sobre sustratos más o menos húmedos durante todo o casi todo el año, bien directamente por las precipitaciones o bien indirectamente por compensación: vaguadas, laderas y otras situaciones con fenómenos de freatismo o afloramientos de capas impermeables en ladera. Se estimará el área potencial seleccionando el área con sequía inferior a 2-3 meses. Posteriormente, en el área que ha quedado fuera, mediante RADAR, se determinarán las zonas freáticas para añadirlas al AOI.
- Su especificidad es alta en el 'Uso_SIGPAC' PS, por lo que se acotará su área seleccionado únicamente ese uso entre las parcelas que compongan su área potencial.
- Se eliminan las áreas con arbolado mediante LiDAR.

Tabla 15 Parámetros de control del AOI de *Brachypodietalia phoenicoidis*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
pH	Basófilo: pH > 6,5, a 30 cm de profundidad
Sequía	Inferior a 2-3 meses, para contar con un margen de seguridad
Freatismo	Sensor RADAR en el área con sequía superior a 2-3 meses
SIGPAC	PS (especificidad 3)
Altura de la vegetación	Pasto alto. Usando la cobertura LiDAR, se eliminará la vegetación superior a 0,50 cm para la segunda cobertura y a 0,70 cm para la primera.

Consideraciones para el muestreo

- Vegetación con estructura bien definida y bastante homogénea y extensiones grandes, lo que facilita el trabajo de campo y su cartografiado. Además, una vez determinada una buena 'verdad-terreno', es esperable que se puedan ajustar modelos de aprendizaje automático de alta calidad.



Tipo de hábitat 2.1.3.2.2. *Lygeo-Stipetea*

El tipo de hábitat 2.1.3.2.2. *Lygeo-Stipetea* (con correspondencia con el THIC 1510* Estepas salinas mediterráneas y el THIC 6220* Pastizales mediterráneos de talla baja de vivaces y anuales) forma comunidades vegetales dominadas por gramíneas vivaces, duras, xerófilas y, generalmente, de porte elevado, que se asientan sobre suelos ricos en bases.

Parámetros de control del AOI (Tabla 16)

- Las comunidades de *Lygeo-Stipetea* se desarrollan sobre suelos ricos en bases y frecuentemente de carácter margoso o incluso margoso-yesífero. Como las precipitaciones que reciben son escasas, el lavado del suelo es pequeño, los procesos de descarbonatación muy ligeros, y los procesos de descalcificación casi inexistentes. Como consecuencia, el pH es básico, y ello ocasiona problemas de asimilabilidad en muchos nutrientes esenciales, como el fósforo o el hierro (San Miguel 2001).
- Tipo de hábitat muy xerófilo, con sequía larga e intensa.
- Los pisos bioclimáticos óptimos para este tipo de hábitat son los meso y supramediterráneo, aunque también aparecen en el oro e incluso en el termomediterráneo.

Tabla 16 Parámetros de control del AOI de *Lygeo-Stipetea*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
pH	Basófilo: pH > 6, a 30 cm de profundidad
Sequía	Muy xerófilo: sequía superior a 3 meses
Pisos bioclimáticos	Termo, meso, supra y oromediterráneo
Precipitación	P < 600 mm

Consideraciones para el muestreo

- En muchas ocasiones, estos pastos aparecen dentro de zonas con arbolado.
- Si en algún momento se comienzan a realizar técnicas de aprendizaje automático es posible que tuvieran que hacerse a nivel de alianza.

Tipo de hábitat 2.1.3.2.3. *Stipo-Agrostietea, Jasiono-Koeleretalia*

El tipo de hábitat 2.1.3.2.3. *Stipo-Agrostietea, Jasiono-Koeleretalia* se corresponde con el THIC 6220* Pastizales mediterráneos de talla baja de vivaces y anuales.

Parámetros de control del AOI (Tabla 17)

- Las comunidades de *Stipo-Agrostietea* de la alianza *Agrostion castellanae*, se asientan sobre sustratos litológicos pobres en bases, generalmente silíceos. El pH del suelo es moderadamente ácido.



- Xeromesofítico, sequía estival tardía, inferior a 2-3 meses. En el caso de *Stipo-Agrostietea* puede compensar la humedad por fenómenos freáticos. Por ello, en las áreas con sequía superior a 2-3 meses se medirán con el sensor RADAR las áreas freáticas y se añadirán al AOI.
- Pueden aparecer con matorrales o arbolado.

Tabla 17 Parámetros de control del AOI de *Stipo-Agrostietea*, *Jasiono-Koeleretalia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
pH	Acidófilo: pH = 5-7, a 5 cm de profundidad
Sequía	Xeromesofítico: sequía < 2-3 meses
Freatismo	Con el sensor RADAR, estimar las zonas freáticas en el área con sequía superior a 2-3 meses
Pisos bioclimáticos	Oro, supra y mesomediterráneo

Consideraciones para el muestreo

- Los pastos de *Stipo-Agrostietea* comprenden tres alianzas: *Agrostion castellanae*, *Agrostio castellani-Stipion giganteae* y *Festucion elegantis*.
- En los pastos de *Jasiono-Koeleretalia* son frecuentes pequeñas matas, como tomillos o cantuesos. Aparecen entre jarales de *Cisto-Lavanduletea* y piornales de *Cytisetea scopario-striati* y en bosques de encinar, rebollar o pinar de *Pinus sylvestris* o *P. pinaster*.

Tipo de hábitat 2.1.3.2.4. *Holoschoenetalia*

El tipo de hábitat 2.1.3.2.4. *Holoschoenetalia* se corresponde con el THIC 6420 Comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas de *Molinio-Holoschoenion*, y forma una comunidad azonal que aparece en vaguadas y hondonadas que acumulan agua en época de lluvias, así como en riberas de ríos, arroyos, lagos, charcas y otros humedales, donde acompañan a distintas comunidades riparias o, más genéricamente, hidrófilas (choperas, saucedas, olmedas, etc.). Padece freatismo temporal con una fuerte bajada de la humedad en verano.

Parámetros de control del AOI (Tabla 18; Marinas *et al.* 2009)

- Freatismo temporal. Variación estacional de la humedad edáfica con vegetación perenne agostante, que generalmente se seca a finales de verano.
- Gran parte del área potencial de estas comunidades se encuentra, en la actualidad, ocupada por cultivos. Se eliminarán esas superficies detrayendo del AOI las parcelas con uso TA en SIGPAC.



Tabla 18 Parámetros de control del AOI de *Holoschoenetalia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Termo, meso y supramediterráneo
Freatismo temporal	Mediante RADAR, se determina la variación estacional de la humedad edáfica
pH	Básico: pH > 6,5, a 5 cm de profundidad
SIGPAC	Eliminar del AOI las parcelas con uso TA

Consideraciones para el muestreo (San Miguel 2009b)

- Los suelos con humedad temporal y profundidad, en los que se desarrollan sus comunidades, suelen presentar buenas condiciones para el cultivo agrícola, incluso de regadío; muchos son suelos de vega. Por ese motivo, una gran parte del área potencial de esas comunidades se encuentra en la actualidad ocupada por cultivos.
- La presión de la ganadería, la agricultura y la fauna silvestre es tan fuerte sobre estas comunidades que, en algunas comarcas, sobre todo en sustratos oligotróficos, resulta difícil encontrarlas fuera de las cunetas. En los terrenos eutróficos, la principal causa de desaparición de estas comunidades es la agricultura, y las que todavía persisten se concentran en las proximidades de ríos y arroyos y en zonas de pendiente donde no se puede labrar.

5.2.3. Pastos anuales

Tipo de hábitat 2.1.3.3.1. *Tuberarietea*

El tipo de hábitat 2.1.3.3.1. *Tuberarietea* se corresponde con el THIC 6220* Pastizales mediterráneos de talla baja de vivaces y anuales, y forma comunidades vegetales de herbáceas anuales con carácter pionero y no nitrófilo, que se desarrollan sobre suelos no afectados por procesos de freatismo. Se trata de pastos terofíticos.

Parámetros de control del AOI (Tabla 19)

- Se desarrollan sobre suelos no afectados por procesos de freatismo. Se seleccionarán las áreas con un periodo de sequía superior a 4-5 meses. Posteriormente, mediante RADAR, se eliminarán del área seleccionada todas las zonas con fenómenos freáticos.
- Pisos termo, meso, supra y, ocasionalmente, oromediterráneo, y en las islas Canarias también en el inframediterráneo. En la región eurosiberiana, donde se presentan solo con carácter puntual y ligados a perturbaciones causadas por el hombre o los animales, aparecen en los pisos colino y montano.



Tabla 19 Parámetros de control del AOI de *Tuberarietea*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Sequía	Larga e intensa, superior a 4-5 meses, para aumentar el margen de seguridad se escogerá la superficie con sequía superior a 2 meses, ya que sobre litosuelos pueden darse sequías más breves.
Freatismo	En el área seleccionada, se eliminan del AOI las zonas con fenómenos freáticos, mediante RADAR.
Pisos bioclimáticos	Oro, supra y mesomediterráneo
Altura de la vegetación	Pasto de talla corta. Usando la cobertura LiDAR, se eliminará la vegetación superior a 0,30 cm para la segunda cobertura y a 0,50 cm para la primera.

Consideraciones para el muestreo

- La comunidad herbácea está básicamente constituida por terófitos (anuales) de ciclo biológico corto. La mayoría de las plantas pasan la época más difícil del año (el verano, por la sequía) en forma de semilla. Por su carácter pionero, es característica la cobertura incompleta del suelo.

Tipo de hábitat 2.1.3.3.2. *Stellarietea mediae*

Se trata de vegetación nitrófila constituida por terófitos de carácter arvense (malas hierbas de cultivos), ruderal (del medio urbano), viario (de caminos) o escionitrófilo (de sombra). La principal característica de este tipo de hábitat es su contenido en nitrógeno, superior al que habría sin alteraciones antropozoógenas apreciables. Muy amplia distribución.

Parámetros de control del AOI (Tabla 20)

- Los termotipos más favorables para estas comunidades son el termo, meso y supramediterráneo, aunque también pueden aparecer, de forma esporádica, en el colino y montano de la región eurosiberiana.
- Sin arbolado.

Tabla 20 Parámetros de control del AOI de *Stellarietea mediae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Sequía	Larga e intensa, superior a 4-5 meses; al tratarse de herbáceas anuales por laboreo o ruderalización pueden aparecer bajo climas sin apenas sequía. Para aumentar el margen de seguridad se escogerá la superficie con sequía superior a un mes.
Pisos bioclimáticos	Termo, meso y supramediterráneo, colino y montano
Altura de la vegetación	Pasto de talla corta. Usando la cobertura LiDAR, se eliminará la vegetación superior a 0,30 cm para la segunda cobertura y a 0,50 cm para la primera.



Consideraciones para el muestreo

- Desde el punto de vista edáfico, la principal característica de este orden es un contenido en nitrógeno ligeramente superior al que habría sin alteraciones antropozoógenas apreciables.

5.2.4. Megaforbios eutróficos higrófilos

Tipo de hábitat 2.1.3.4.1. *Galio-Urticetea*

El tipo de hábitat 2.1.3.4.1. *Galio-Urticetea* (con correspondencia con el THIC 6430 Megaforbios eutrofos higrófilos de las orlas de llanura y de los pisos montano a alpino) es un prado o pastizal azonal, que prospera en sustratos con humedad casi constante, ambiente fresco, sombrío y abundante materia orgánica en el suelo. La vegetación es de follaje exuberante y gran tamaño, hasta 1,5 m. Los terrenos están muy influidos por las condiciones climáticas locales, más que por el clima general.

Se diferencian cuatro subtipos de este tipo de hábitat, según el ámbito en el que prosperan:

- Megaforbios de orlas y claros forestales
- Megaforbios de pies de roquedos y cantiles
- Megaforbios de márgenes de cursos de agua
- Megaforbios de majadas alpinas y subalpinas

Parámetros de control del AOI (Tabla 21)

- Prospera en los pisos montano a alpino y en orlas de llanura. Se seleccionarán en el AOI los pisos correspondientes y, posteriormente, se sumarán todas las superficies de suelos hidromorfos que queden fuera de esta primera selección.
- Suelos húmedos, pudiendo variar desde suelos hidromorfos hasta suelos con distintos grados de humedad como en bordes de arroyos, de bosques higrófilos, de canales de riego y de prados e, incluso, formando pequeñas superficies de prados. También quedarán incluidas las áreas con corta sequía estival, seleccionadas por los pisos bioclimáticos de montano a alpino. Se añadirán al AOI seleccionada por pisos bioclimáticos, los sustratos con humedad constante mediante el uso del sensor RADAR.

Tabla 21 Parámetros de control del AOI de *Galio-Urticetea*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Supra, oro y criorotemplado
Freatismo	Añadir al área seleccionada por pisos bioclimáticos, las zonas con sustratos húmedos, mediante el sensor RADAR
Altura de la vegetación	Mediante LiDAR, seleccionar áreas con vegetación de altura comprendida entre 0,7-2,5 m



Consideraciones para el muestreo (Remón *et al.* 2009b)

- Importante no confundirlo con las comunidades de orlas nitrófilas que se desarrollan a lo largo de ríos y bordes forestales, ni con las comunidades de hierbas altas que puedan colonizar prados húmedos, barbechos, prados no segados y campos abandonados y que están constituidas por especies comunes y banales, muchas de ellas alóctonas sin un especial interés de conservación.
- La mayor parte de los megaforbios se desarrollan en zonas umbrosas, pero también en zonas de media sombra e incluso luminosas, dependiendo de la cobertura arbórea y arbustiva del entorno.
- Cobertura vegetal muy densa y, generalmente, con varios estratos verticales.

5.3. Sistemas seminaturales

La presencia de los sistemas seminaturales de sustitución es la respuesta a perturbaciones generalmente humanas o pastorales continuas e intensas. Si la perturbación cesa, revierten con cierta rapidez en la comunidad a partir de la cual se originaron y evolucionan a matorral, arbustedo o bosque, según los casos.

Dentro de los sistemas seminaturales se diferencia entre los arbolados, cuando el sistema tiene un componente arbóreo de espesura incompleta, y los herbáceos, cuando la comunidad está dominada por herbáceas.

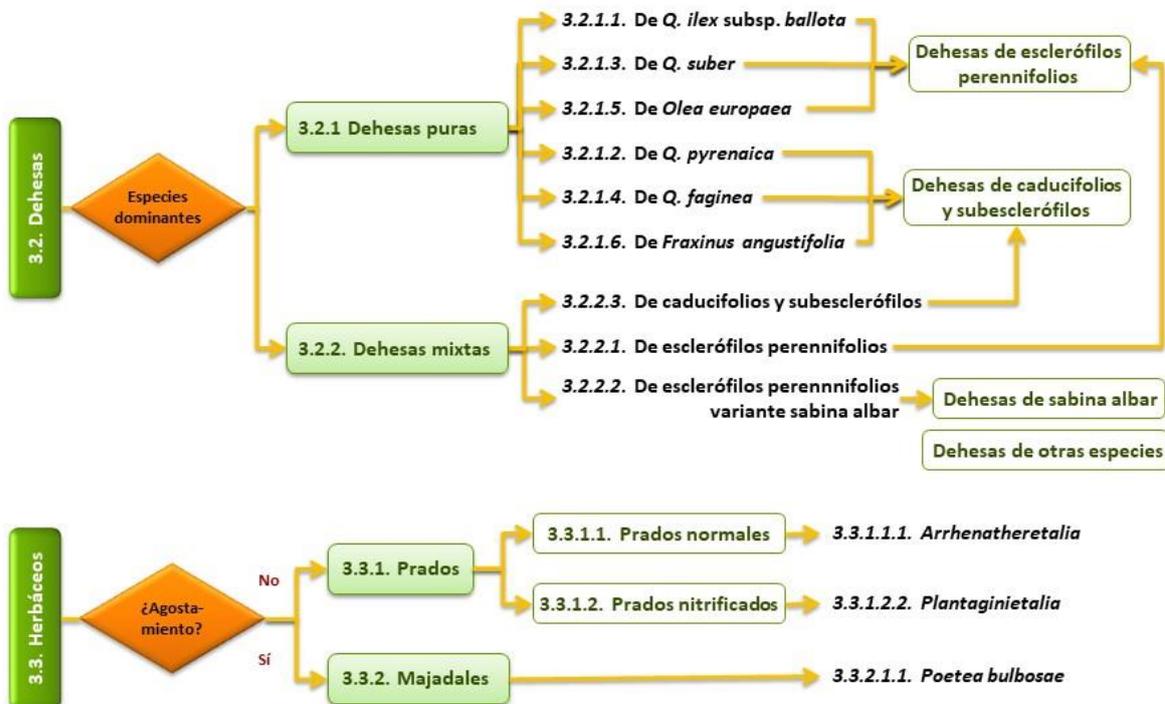


Figura 24 Diagrama con factores discriminantes de los sistemas seminaturales. Fuente: extraída de San Miguel (2019).



5.3.1. Sistemas seminaturales arbolados: Dehesas

Las dehesas representan un caso muy particular y con un gran interés natural y cultural. Son sistemas agrosilvopastorales con altísimos niveles de diversidad biológica, cuya existencia se encuentra amenazada por las transformaciones de las actividades agropecuarias. Se estructuran en un mosaico de pastizales, zonas de labor y matorrales, salpicado por árboles como encinas (*Quercus ilex*), alcornoques (*Quercus suber*) u otras especies tanto de frondosas como de coníferas, aunque las más habituales son del género *Quercus*. Los fragmentos de matorral llevan especies de *Genista*, *Cytisus*, *Retama*, *Erica*, *Cistus*, *Halimium*, etc. El desarrollo de este estrato arbustivo está condicionado por la mayor o menor presión ganadera.

Los pastizales presentes en las dehesas son diversos, en función del tipo de suelo, de la intensidad ganadera, del tipo de manejo, de la humedad edáfica, etc., pudiéndose encontrar varios de los tipos de pastos descritos en otros apartados. Entre ellos, destacan los majadales de *Poa bulbosa*, vallicares de *Agrostis castellana*, pastizales de anuales, etc. Con la metodología propuesta a continuación se va a estimar toda la superficie ocupada por prados y pastizales en las dehesas, pero no se va a diferenciar los distintos tipos de hábitat que pueden formar dicha superficie. Los distintos tipos de hábitat existentes en la dehesa se pueden determinar siguiendo la metodología propuesta para cada uno de ellos. Por tanto, la superficie del pastizal presente en las dehesas se va a determinar dos veces en este trabajo: como un tipo de hábitat concreto de prado o pastizal *sensu lato* (majadal, cervunal, etc.) y como pastizal que se desarrolla en la dehesa. La superficie ocupada por el pastizal de una dehesa será la misma que la suma de la superficie ocupada por los distintos tipos de hábitat que se desarrollan en dicha dehesa. Si se desea diferenciar los distintos tipos de prado y pastizal que prosperan en cada uno de los tipos de dehesa, bastaría con hacer un corte ('clip') entre las capas de interés.

El grupo de sistemas seminaturales arbolados está formado por nueve tipos de hábitat, seis son dehesas puras y tres son dehesas mixtas. Las especies que forman parte de la cobertura arbórea de cada uno de estos tipos de hábitat se indican en la Tabla 22.

Tabla 22 Prados y pastizales *sensu lato* que forman el grupo de sistemas seminaturales arbolados. Fuente: elaboración propia a partir de San Miguel (2019).

Dehesa	Tipo
Dehesas puras	Dehesas puras de <i>Quercus ilex</i> subsp <i>ballota</i>
	Dehesas puras de <i>Quercus pyrenaica</i>
	Dehesas puras de <i>Quercus suber</i>
	Dehesas puras de <i>Quercus faginea</i>
	Dehesas puras de <i>Olea europaea</i>
	Dehesas puras de <i>Fraxinus angustifolia</i>
Dehesas mixtas	Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encinas, alcornoques y olivos) en ambientes secos
	Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encinas, alcornoques y olivos) en ambientes secos. Variante basófila con sabinas albares.
	Dehesas mixtas de caducifolios (fresnos) y subesclerófilos (melojos y quejigos) en fondos de valle. También pueden aparecer encinas y alcornoques.



Para determinar la superficie ocupada por cada tipo de dehesa se utilizan las capas presentes en Sánchez de Dios *et al.* (2019). Son dos capas, una para las dehesas puras y otra para las dehesas mixtas, disponibles mediante solicitud al MITECO.

Una vez cargadas las capas de dehesas al proyecto de QGIS se procederá a realizar un filtrado de estas, indicando en cada caso el tipo de dehesas con el que se va a trabajar. El filtrado se puede realizar desde el 'Constructor de consultas' al que se accede desde 'Capa' > 'Filtrar', o haciendo clic derecho sobre la capa y eligiendo la opción 'Filtrar'. Ambas capas tienen un campo 'S_NAT4' (Tabla 23) que categoriza cada tipo de dehesa y que será el que se utilice para realizar el filtrado.

Tabla 23 Codificación del campo 'S_NAT4' de las capas de dehesas de la Cartografía de los Tipos de Hábitat Forestales de España a escala 1:50.000 (Sánchez de Dios *et al* 2019)

Tipo	S_NAT4
Dehesas puras de <i>Quercus ilex</i> subsp <i>ballota</i>	3.2.1.1
Dehesas puras de <i>Quercus pyrenaica</i>	3.2.1.2
Dehesas puras de <i>Quercus suber</i>	3.2.1.3
Dehesas puras de <i>Quercus faginea</i>	3.2.1.4
Dehesas puras de <i>Olea europaea</i>	3.2.1.5
Dehesas puras de <i>Fraxinus angustifolia</i>	3.2.1.6
Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encinas, alcornoques y olivos) en ambientes secos	3.2.2.1
Dehesas mixtas de esclerófilos perennifolios (encinas, alcornoques y olivos) en ambientes secos. Variante basófila con sabinas albares.	3.2.2.2
Dehesas mixtas de caducifolios (fresnos) y subesclerófilos (melojos y quejigos) en fondos de valle. También pueden aparecer encinas y alcornoques.	3.2.2.3

Las capas, una vez filtradas, pueden guardarse ('Exportar' > 'Guardar objetos como...') y contendrán únicamente la información filtrada.

Tras seleccionar el AOI con la metodología propuesta se realizará una depuración de la misma filtrando mediante LiDAR la vegetación no correspondiente al pastizal bajo arbolado. Para ello se eliminarán las superficies de matorral: toda la vegetación con una altura comprendida entre 0,30 cm y 2 m. Con esa misma información se pueden detectar, además, las zonas con vegetación arbórea con una Fracción de Cobertura Cubierta (FCC) comprendida entre el 10 y el 65%.



5.3.2. Sistemas seminaturales herbáceos

La característica común de los sistemas seminaturales herbáceos es que su clima es típicamente húmedo: sin, o prácticamente sin, periodo de sequía estival. Por tanto, la primera delimitación de su AOI será en base a su nulo o prácticamente nulo periodo de sequía.

En el MFE 1:25.000 existe la categoría 'prados' dentro del campo 'Tipo estructural'. En principio esta no se va a utilizar para delimitar el AOI porque la capa aún no se encuentra disponible para toda España y porque la clasificación de esta categoría no es igual de precisa para todas las provincias. Sin embargo, se considera que puede ser útil para utilizar como una máscara que compruebe si la delimitación del AOI es acertada o no.

Tipo de hábitat 3.3.1.1.1. *Arrhenatheretalia*

Son prados, comunidades vegetales herbáceas perennes mesofíticas creadas y mantenidas por el pastoreo o la siega, que prosperan sobre suelos relativamente bien drenados. Se diferencian dos THIC con los que tiene correspondencia:

- THIC 6510 Prados de siega de montaña (*Arrhenatherion*)
- THIC 6520 Prados de siega de montaña (*Trisetum-Polygonum bistortae*)

Parámetros de control del AOI (Tabla 25)

- Se desarrollan en lugares sin, o prácticamente sin, periodo de sequía estival, por lo que se escogerán aquellas zonas con un periodo seco igual o inferior a 1-2 meses (un mes por seguridad).
- Algunos prados de *Arrhenatheretalia* pueden ser regados. Se determinarán mediante RADAR, las zonas susceptibles de ser regadas y se añadirán al AOI, siempre que estén dentro de los pisos bioclimáticos definitorios del prado o pastizal.
- Prosperan en fondos de valle o laderas con suaves pendientes. En el pasado se encontraban también en zonas con pendientes más fuertes pero, en ese caso, debían ser segados a mano al no poder mecanizarse, razón por la cual se han abandonado y se han perdido.
- Aprovechamiento, por siega o pastoreo, intenso y continuado en el tiempo, lo que elimina la vegetación leñosa y propicia una cobertura y un grado de encespedamiento total del terreno, por lo que se detraerán de la superficie las zonas con matorral o arbolado, mediante LiDAR.



Tabla 24 Parámetros de control del AOI de *Arrhenatheretalia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Pisos bioclimáticos	Mesotemplado y supratemplado. Meso, supra y oromediterráneo
Sequía	Áreas con período seco igual o inferior a un mes
Riego	Áreas con riego, se añaden al AOI siempre que estén dentro de los pisos bioclimáticos propios del tipo de hábitat
Pendiente	Pte < 20%
Altura de la vegetación	Altura media-baja. Usando la cobertura LiDAR se detraen del AOI las superficies con vegetación mayor de 50 cm para la segunda cobertura y 70 cm para la primera.

Consideraciones para el muestreo

- Normalmente existen estructuras agrícolas anexas como vallas, muros, cercados, etc., que pueden facilitar la labor de discriminación de estas superficies.

Tipo de hábitat 3.3.1.2.1. *Plantaginietalia majoris*

Comunidades vegetales herbáceas perennes mesofíticas de suelos nitrificados (valores altos tanto de nitrógeno total como en forma de nitrato), compactados por pisoteo y, en ocasiones, con cobertura herbácea no completa también por pisoteo. Es un tipo de hábitat para el que es muy difícil estimar su superficie porque estos prados están asociados al manejo y muchas veces suponen superficies muy pequeñas.

En el caso de este tipo de hábitat, posiblemente no sea común encontrar manchas de superficie o forma suficientemente grandes como para ser cartografiables. Tampoco se estima que sea un tipo de vegetación de mínimo interés de conservación, por lo que con tener unos ejemplos de seguimiento podría ser suficiente.

Tipo de hábitat 3.3.2.1.1. *Poetea bulbosae*

El tipo de hábitat 3.3.2.1.1. *Poetea bulbosae* (con correspondencia con el THIC 6220* Pastizales mediterráneos de talla baja de vivaces y anuales) forma pastizales xeromesofíticos con especies vivaces y anuales, creados y sustentados por el pastoreo intenso y continuado. Estos pastizales están constituidos por comunidades vegetales herbáceas perennes, con anuales, de talla baja (por adaptación al pastoreo) y cobertura completa (100%), en las que suele dominar *Poa bulbosa*. Suelen recibir el nombre de majadales.

Las comunidades de partida (los pastos naturales a partir de los cuales se han formado los majadales) son todos los de carácter terofítico o xeromesofítico de España, incluidos los órdenes *Brachypodietalia phoenicoidis* y *Jasiono-Koeleretalia* y la clase *Stipo-Agrostietea* (ver Figura 25). Por todo ello, los majadales constituyen una disclímax creada por la acción de los animales y dirigida por las sociedades humanas (San Miguel 2001).

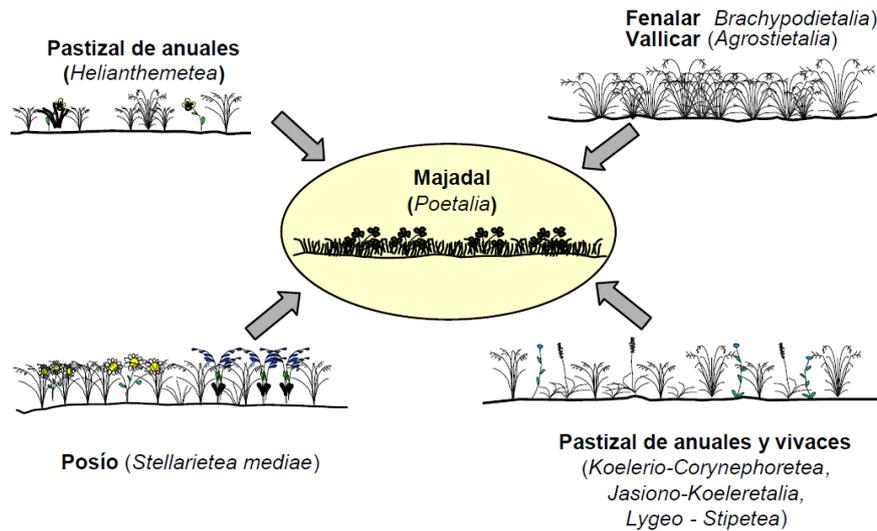


Figura 25 Esquema de la formación de majadales a partir de otras comunidades. Fuente: extraída de San Miguel (2001).

Parámetros de control del AOI (Tabla 25)

- Es un pasto con agostamiento estival y reverdecimiento otoñal.
- En ocasiones hay arbolado acompañando el pasto, por lo que no se realizará un filtrado mediante LiDAR del arbolado. Sin embargo, sí que se eliminará mediante LiDAR el matorral puesto que no habrá pasto bajo él.
- Horizonte superior rico en materia orgánica.

Tabla 25 Parámetros de control del AOI de *Poetea bulbosae*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor
Sequía	Xeromesofítico. Sequía < 2-3 meses
Pisos bioclimáticos	Termo, meso, supramediterráneo y oromediterráneo
Materia orgánica	Capa de <i>SoilGrids</i> a 5 cm de profundidad Valor de 20-150 g/kg
Altura de la vegetación	Filtrado LiDAR, eliminando el matorral con altura comprendida entre 0,30 y 2 m

Consideraciones para el muestreo

- El horizonte superior es rico en materia orgánica. Es posible que haya deyecciones animales.
- Posible presencia de infraestructuras ganaderas en la zona.
- Carácter encespedante y talla corta.
- Cuando se disponga de una buena 'verdad-terreno' es probable que se pueda realizar un cartografiado de calidad mediante técnicas de aprendizaje automático, gracias a sus caracteres definitorios como encespedamiento, talla, agostamiento estival-reverdecimiento otoñal temprano.



6. CONCLUSIONES GENERALES

La estimación de las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat de prados y pastizales *sensu lato* supone un reto de gran complejidad debido, fundamentalmente, a dos factores:

- La propia naturaleza de estos tipos de hábitat que muestran una gran variabilidad en tamaño, estructura interna y fragmentación de su área de distribución. Las formaciones herbáceas se caracterizan por un intenso dinamismo intra e interanual y su presencia, estructura, composición y funcionamiento dependen considerablemente de la actividad del ganado o de los herbívoros silvestres y, a veces, de las variaciones microtopográficas.
- La ausencia de referentes, ya que no existe un inventario detallado y geográficamente explícito de estos tipos de hábitat que ayude a establecer un punto de partida en la estimación del parámetro 'Superficie ocupada' de cada prado o pastizal *sensu lato*. Las propuestas necesitarán de la retroalimentación de su puesta en marcha para evaluar correctamente su efectividad. En otras palabras, el procedimiento ha de tener un carácter marcadamente iterativo.

Ante esta situación, se ha planteado una estrategia de estimación de la superficie ocupada que incluye las siguientes etapas:

- Delimitar el área de interés para cada tipo de hábitat y concentrar ahí los esfuerzos de observación y análisis.
- Para aquellos tipos de hábitat en que sea posible, establecer procedimientos que permitan construir modelos predictivos de estimación de la 'Superficie ocupada' a través de técnicas de aprendizaje automático (o *machine learning*).
- Para aquellos tipos de hábitat en que la construcción de modelos predictivos no sea satisfactoria, establecer parcelas de seguimiento de puntos concretos representativos de cada tipo.

La delimitación de las AOI se realiza, en la medida de lo posible, mediante el uso de sensores remotos, gracias a los factores diagnóstico que identifican las condiciones en que se desarrolla cada tipo de hábitat. Para cada uno de ellos se definen parámetros de control que permiten acotar su AOI. El grado de conocimiento de los factores que discriminan entre los diferentes tipos de hábitat y la disponibilidad de información cartográfica de dichos factores determinarán el éxito de este proceso. En el apartado 4.4 de este documento se presenta una propuesta metodológica detallada para delimitar los AOI y en el apartado 5 se abordan los factores diagnóstico y sus parámetros de control para cada tipo de hábitat.

En principio, es esperable que los tipos de hábitat de los sistemas naturales maduros sean susceptibles de ser evaluados mediante el empleo de técnicas de teledetección, en combinación con cartografía temática (cuando exista), modelos digitales del terreno y aprendizaje automático. Para entrenar y validar los modelos es necesario complementar la información disponible en las bases de datos con observaciones 'verdad-terreno' (muestreos de campo y fotointerpretación). Se presenta una propuesta detallada de cómo llevar a cabo este proceso en el apartado 4.2 de este documento.

En el caso de los sistemas naturales de sustitución y los sistemas seminaturales, su gran extensión, la falta de especificidad en sus atributos espectrales y/o la falta de cartografía temática, provoca que deban ser utilizadas técnicas de muestreo de campo para identificar sin ningún género de dudas a qué tipo de



hábitat pertenece cada unidad cartográfica. No obstante, es obvio que el uso de cartografía de diferente índole (MFE, SIGPAC, mapas temáticos de atributos litológicos, propiedades edáficas, etc.) resulta de gran ayuda para el diseño de un muestreo operativo y eficiente. En el apartado 4.3 de este documento se propone como marco de muestreo una red de cuadrículas de 500 m de lado, centradas en la malla de coordenadas kilométricas UTM del *datum* ED50 (en el que se estableció la malla original del IFN). Las cuadrículas resultantes han de ser estratificadas utilizando las AOI de los tipos de hábitat correspondientes para, finalmente, seleccionar unas 50-60 estaciones de seguimiento por cada tipo de hábitat.

Por último, para un óptimo desarrollo y aprovechamiento, es altamente recomendable que ambos procedimientos sean iterativos e interconectados, esto es, la información procedente de muestreos de campo debe servir como 'verdad-terreno' para alimentar futuras técnicas de clasificación supervisada y, en sentido contrario, las predicciones de dichas técnicas deben ser útiles para identificar áreas, quizás desechadas *a priori*, donde realizar muestreos de campo.



7. REFERENCIAS

- Bhagat V. 2017. Space borne Active Microwave Remote Sensing of Soil Moisture: A Review. *Remote Sensing of Land*. 1(1): 53-86.
- Camacho A, Borja C, Valero-Garcés B, Sahuquillo M, Cirujano S, Soria J M, Rico E, De La Hera A, Santamans A C, García De Domingo A, Chicote A & Gosálvez RU. 2009. 3170 Lagunas y charcas temporales mediterráneas (*). 87 pp. 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.
- Camacho A, Morant D, Ferriol C, Santamans A C, Doña C, Camacho-Santamans A & Picazo A. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat leníticos de interior (lagos, lagunas y humedales). Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 140 pp.
- Campo A, García-González R, Marinas A & Gartzia M. 2004. Relaciones entre el índice espectral de vegetación NDVI y la cobertura vegetal en pastos de puerto del Pirineo occidental. XLV Reunión científica de la SEEP. 304-310.
- Chocarro C. 2009. 6520 Prados de siega de montaña (*Trisetum-Polygonion bistortae*). 48 pp. 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.
- Chuvieco E. 2010. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. 592 pp.
- De la Cruz M. 2009. 1510 Estepas salinas mediterráneas (*Limonietalia*) (*). 78 pp. 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.
- Gandullo J M. 1997. Implicaciones térmicas de la topografía: ensayo de un parámetro termotopográfico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 6(1 y 2): 7-15.
- Gracia F J, Aranda M & Pérez-Alberti A. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los diferentes tipos de hábitat costeros. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 87 pp.
- López-Senespleda E, Alonso-Ponce R & Montero G. 2015. Programa MODERFOREST: una aplicación para la elección de especie y origen de la semilla en repoblaciones forestales. Smart Open Data. El valor de la información forestal y su activación socioeconómica. INIA. Madrid.
- Marchionni D S & Cavayas F. 2014. La teledetección por radar como fuente de información litológica y estructural. *GEOACTA*. 39(1): 62-89.
- Marinas A, Gómez D & García-González R. 2009. 6410 Prados-juncas con *Molinia caerulea* sobre suelos húmedos gran parte del año. 54 pp. 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.



- Phillips S J, Anderson R P & Schapire R E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*.190(3-4): 231–259.
- 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 turbera. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 33 pp.
- Remón J L, Gómez D & García-González R. 2009a. 6170 Pastos de alta montaña caliza. 80 pp. 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.
- Remón J L, Gómez D & García-González R. 2009b. 6430 Megaforbios eutrofos higrófilos de las orlas de llanura y de los pisos montano a alpino. 76 pp. 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.
- Rigueiro A, Rodríguez M A & Gómez-Orellana L. 2009. 6230 Formaciones herbosas con *Nardus*, con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de Europa continental) (*). 66 pp. 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.
- Ríos S & Salvador F M. 2009. 6110 Prados calcáreos kársticos o basófilos de *Alyso-Sedetalia* (*). 66 pp. 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.
- Rivas-Martínez S. 1987. Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España 1:400.000. ICONA - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 268 pp.
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx
- Roig S. 1999. Caracterización edáfica de los principales pastizales naturales del Valle del Paular (Madrid). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Sainz-Ollero H & Sánchez de Dios R. 2011. La diversidad de los paisajes españoles. *Memorias Real Sociedad Española de Historia Natural*. 9: 109-155.
- Sánchez de Dios R, Sainz-Ollero H & Velázquez J C. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' de los tipos de hábitat de bosque. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 80 pp.
- San Miguel A. 2001. Pastos naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora. Coedición Fundación Conde del Valle Salazar -Mundi- Prensa. Madrid. 320 pp.
- San Miguel A. 2009a. Grupo 6. Formaciones herbosas naturales y seminaturales. 7 pp. 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.



San Miguel A. 2009b. 6420 Comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas. 54 pp. 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.

San Miguel A. 2019. Establecimiento de una tipología específica de los tipos de hábitat de prados y pastizales *sensu lato*. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 77 pp.

VV.AA. 2009. 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. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/red-natura-2000/rn_tip_hab_esp_bases_eco_preliminares.aspx

Yera J & Ascaso J. 2009. 6210 Pastos vivaces mesofíticos y mesoxerofíticos sobre sustratos calcáreos de *Festuco-Brometea*. 74 pp. 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.



ANEXO I: Tipos de hábitat de interés comunitario presentes en España relacionados con los prados y pastizales *sensu lato*

Tabla I.1 Tipos de hábitat de interés comunitario (THIC) relacionados con los prados y pastizales *sensu lato* presentes en España evaluados en este trabajo. Fuente: elaboración propia.

Nota: los THIC que se señalan con un asterisco (*) son considerados prioritarios.

Tipo de hábitat de interés comunitario	
1320	Pastizales de <i>Spartina</i> (<i>Spartinion maritimi</i>).
1510*	Estepas salinas mediterráneas (<i>Limonietalia</i>), o simplemente, estepas salinas mediterráneas
2120	Dunas móviles de litoral con <i>Ammophila arenaria</i> (dunas blancas)
3170*	Estanques temporales mediterráneos, es decir, lagunas y charcas temporales mediterráneas.
6110*	Prados calcáreos cársticos o basófilos de <i>Alyso-Sedion albi</i> , es decir, comunidades rupícolas basófilas pioneras de crasuláceas de <i>Alyso-Sedion albi</i>
6140	Pastos pirenaicos silíceos de <i>Festuca eskia</i> , o simplemente, pastos pirenaicos de <i>Festuca eskia</i>
6160	Pastos ibéricos silíceos de <i>Festuca indigesta</i> , o pastos orófilos mediterráneos de <i>Festuca indigesta</i>
6170	Pastos alpinos y subalpinos calcáreos, es decir, pastos basófilos de alta montaña
6210	Prados secos semi-naturales y facies de matorral sobre sustratos calcáreos (<i>Festuco-Brometalia</i>), es decir, los pastos herbáceos basófilos seminaturales de <i>Festuco-Brometalia</i> (* parajes con notables orquídeas)
6220*	Zonas subestépicas de gramíneas y anuales del <i>Thero-Brachypodietea</i> , es decir, pastizales mediterráneos de talla baja de vivaces y anuales
6230*	Formaciones herbosas con <i>Nardus</i> , con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de la Europa continental), es decir, cervunales y otras comunidades herbáceas acidófilas con <i>Nardus stricta</i>
6310	Dehesas perennifolias de <i>Quercus</i> spp., es decir, las dehesas perennifolias de encinas o alcornoques.
6410	Prados con molinias sobre sustratos calcáreos, turbosos o arcillo-limónicos (<i>Molinion caeruleae</i>), que comprenden los prados-juncuales de <i>Molinion caeruleae</i> y <i>Juncion acutiflori</i>
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del <i>Molinio-Holoschoenion</i> , es decir, las comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas de <i>Molinio-Holoschoenion</i>
6430	Megaforbios eutrofos higrófilos de las orlas de llanura y de los pisos montano a alpino
6510	Prados pobres de siega de baja altitud (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>), es decir, prados de siega de montaña (<i>Arrhenatherion</i>)
6520	Prados de siega de montaña (<i>Trisetio-Polygonion bistortae</i>), o simplemente, prados de siega de montaña.
7110*	Turberas altas activas, o turberas elevadas activas
7130	Turberas de cobertura o turberas de cobertor (* para las turberas activas)
7140	"Mires" de transición, o tremedales
7150	Depresiones en sustratos turbosos del <i>Rhynchosporium</i>
7230	Turberas bajas alcalinas, o turberas minerotróficas alcalinas
9560*	Bosques endémicos de <i>Juniperus</i> spp., o bosques de enebros y sabinas



ANEXO II. Cálculo de tasas de cambio del parámetro ‘Superficie ocupada’ para un tipo de pastizal de ámbito climatófilo supraforestal: pastizales de *Festuca eskia*

Raquel Martínez-Rodrigo, Rafael Alonso Ponce, Libertad Juez, Sonia Roig, Juan Busqué

II.1. Introducción

Como ya se ha expuesto a lo largo de este trabajo, el gran desarrollo que han experimentado en las últimas décadas los métodos y fuentes de información cartográficos permite, en la actualidad, abordar estudios de delimitación de la superficie ocupada por diferentes tipos de comunidades o especies vegetales mediante técnicas estadísticas, sin necesidad de un exhaustivo y, por consiguiente, lento y costoso trabajo de campo y fotointerpretación.

Ello no debe hacer olvidar que el éxito de este tipo de técnicas, englobadas dentro de lo que ha venido a llamarse aprendizaje automático o, más específicamente, *machine learning* (en su acepción original en inglés), depende en gran medida de la cantidad y la calidad de los datos con los que se alimente al sistema. En otras palabras, resulta vital disponer de un conjunto de observaciones tomadas en campo (‘verdad-terreno’), bien de fuentes de datos ya existentes o de nuevas prospecciones realizadas *ad hoc*, que posean una gran calidad tanto en la identificación del sujeto a clasificar (en este caso, los prados y pastizales *sensu lato*) como en su localización y delimitación geográfica. Este último punto es especialmente relevante en el caso de los prados y pastizales, ya que la estructura espacial de estos tipos de hábitat aparece con gran frecuencia fragmentada en parches o teselas de tamaño reducido, por lo que pequeñas desviaciones en su georreferenciación conducen ineludiblemente a resultados insatisfactorios.

En el presente anexo se describe el caso práctico del cálculo de la superficie ocupada (y por tanto su tasa de cambio por comparación en dos momentos diferentes) de los pastizales de *Festuca eskia* (con correspondencia con el THIC 6140 Pastos pirenaicos de *Festuca eskia*) en una pequeña zona del Pirineo (región biogeográfica alpina). Se ha utilizado únicamente como ‘verdad-terreno’ información preexistente en las bases de datos de la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón a escala 1: 25.000 (versión 4.09; Benito-Alonso 2011), con el fin de mostrar los pasos concretos que habría que seguir para determinar el estado de conservación de este tipo de hábitat, en cuanto al parámetro ‘Superficie ocupada’.

II.2. Metodología

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para este caso práctico según la metodología general expuesta en el apartado 4.2 de este trabajo (Sistemas naturales maduros), cuyo esquema procedimental se sintetiza en la Figura 3 de dicho apartado.



II.2.1. Delimitación del área de interés

La primera etapa a cubrir consiste en determinar el AOI o, dicho de otra manera, el área en la que ‘buscar’ teselas de vegetación del prado o pastizal objetivo. Para ello, hay que apoyarse, lógicamente, en sus parámetros biofísicos de control.

Como ya se expuso en el apartado correspondiente a este tipo de hábitat (apartado 5.1.1 Climosistemas, Tipo de hábitat 1.1.3.3.1. *Caricetea curvulae*), los pastizales de *Festuca eskia* son pastos de puerto asentados sobre suelos ácidos de los pisos subalpino y mitad inferior del alpino de las regiones biogeográficas alpina (Pirineos) y atlántica (cordillera Cantábrica). Ocupan principalmente terrenos llanos o laderas con orientaciones solanas y suelos que muestran un período más o menos prolongado de sequía estival. Habitualmente se sitúan entre 1800 y 2700 m de altitud (Marinas *et al.* 2009). Así pues, para el caso concreto de los pastizales de *F. eskia* se establecen los siguientes parámetros de control (Tabla II.1).

Tabla II.26 Parámetros de control para los pastizales de *F. eskia*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Valor	Fuente de datos
Pisos bioclimáticos	Pisos subalpino y alpino	Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 de Rivas-Martínez (1987) (https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx)
pH	Acidófilo: pH = 4-7 medido a 5 cm de profundidad	Capa 'Soil pH X 10 in H2O' de SoilGrids (https://soilgrids.org)
Posición topográfica	Laderas y zonas cacuminales más o menos llanas. Pte > 15%	MDT de resolución media (25 m) (http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp)
Orientación	Solana	MDT de resolución media (25 m)
Innivación	Quionófilo: 6-10 meses de innivación	Clasificación mensual de los usos del suelo proporcionada por Sen2Cor a partir de las imágenes satelitales de Sentinel-2 (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home)
SIGPAC	Eliminar los recintos con 'Uso_SIGPAC' distinto a PA, PS, PR o IM	Capa vectorial de recintos SIGPAC (https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac-/)
Altura de la vegetación	LiDAR. Eliminar vegetación de altura superior a 60 cm para la segunda cobertura PNOA y a 80 cm para la primera.	Hojas LAZ de la primera cobertura del vuelo PNOA (http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp)



Para extraer los pisos bioclimáticos de interés se carga la capa de series de vegetación en QGIS, tras lo cual se seleccionan los polígonos mediante la expresión 'PISO'='A' o 'PISO'='B'. Dado que dichos pisos, subalpino y alpino, ocupan una enorme extensión en la región biogeográfica alpina (cerca de 300 000 ha), el análisis se centró en una pequeña zona (rectángulo azul de la Figura II.1) con el fin de reducir los tiempos de procesado. La extensión a toda el AOI no requiere ningún cambio metodológico respecto de lo expuesto; únicamente será necesario considerar el tamaño de la máquina en la que ejecutar el análisis si se opta por realizar el procesado en un único equipo de gran capacidad (*scale up*) o, mejor, paralelizar el proceso en diversos equipos (*scale out*).

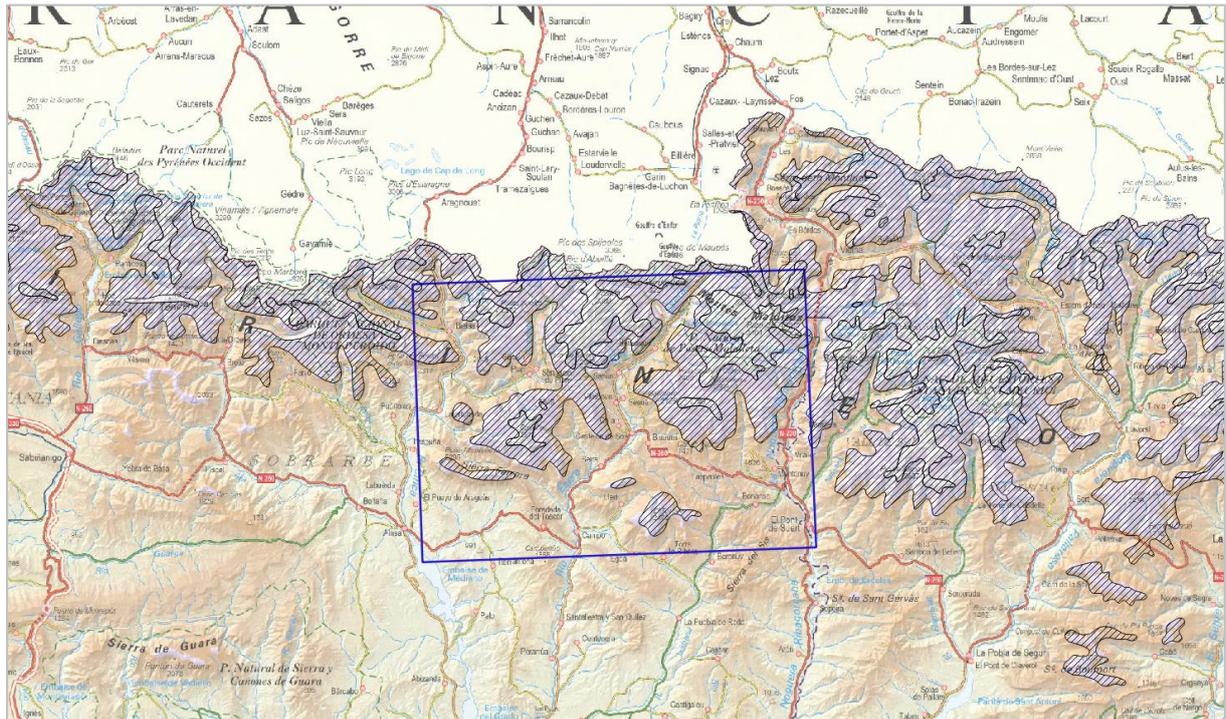


Figura II.1 Subzona seleccionada (rectángulo azul) para el caso práctico. El área rallada se corresponde con el filtro por pisos bioclimáticos. Fuente: elaboración propia a partir de Rivas-Martínez (1987).

Para el filtrado del AOI en función del parámetro biofísico pH (mediante la capa ráster 'Soil pH X 10 in H2O' a 5 cm de profundidad), se descargó dicha capa del portal de *SoilGrids*, clicando en el botón 'Descargas' y seleccionando a continuación el parámetro deseado en el panel 'Download data' de la izquierda (Figura II.2).

Una vez cargado el ráster en QGIS, es necesario reclasificarlo para convertir la variable continua (pH) en una función booleana (Sí/No) mediante la herramienta, ya incluida en QGIS, 'Reclassify values' de SAGA (del inglés *System for Automated Geoscientific Analyses*), introduciendo los valores que se muestran en la Figura II.3 en la 'Lookup table' de la herramienta. Nótese que los valores de pH aparecen multiplicados por 10. Por último, se vectoriza la capa ráster mediante la herramienta 'Ráster' > 'Conversion' > 'Poligonizar' (ráster a vector), tras lo cual ya se puede cortar el AOI con el multipolígono que tiene el valor '1' en la tabla de atributos.

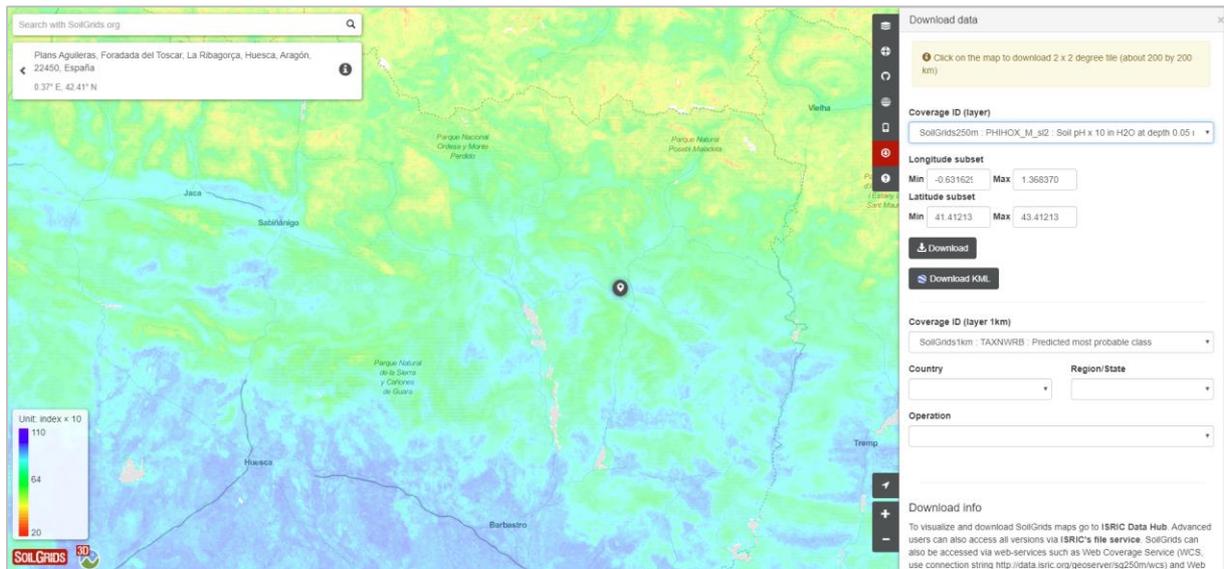


Figura II.2 Panel de descargas del portal *SoilGrids*, listo para descargar la capa de pH en agua '*Soil pH X 10 in H2O*' a 5 cm de profundidad correspondiente al AOI. Fuente: elaboración propia a partir del portal de *SoilGrids*.

	Low Value	High Value	Replace with
1	0	40	0
2	40	70	1
3	70	140	0

Figura II.3 '*Lookup table*' de la herramienta '*Reclassify values*' de SAGA en QGIS para convertir la capa ráster de pH en una variable booleana. Fuente: elaboración propia a partir del uso de QGIS.

Este geoproceto apenas redujo la superficie puesto que la inmensa mayoría del área dentro de la subzona seleccionada presenta pH inferior a 7, y la reducida extensión con mayores valores cae casi en su totalidad fuera del rango altitudinal de interés (Figura II.4).

En cuanto a la posición topográfica y orientación resulta razonable, dada su rápida variación espacial y la alta resolución de los modelos digitales del terreno disponibles, no realizar un filtrado basado en esos parámetros, sino utilizarlos como variables de entrada para el entrenamiento del modelo. A este respecto se ha optado por utilizar el parámetro termotopográfico (Gandullo 1997; ver apartado 4.4.5. sobre área apta según la insolación), ya que evalúa el concepto de solana-umbría con una variable continua y es sencillo de procesar a partir de un MDT (ver apartado 3 sobre fuentes de datos).

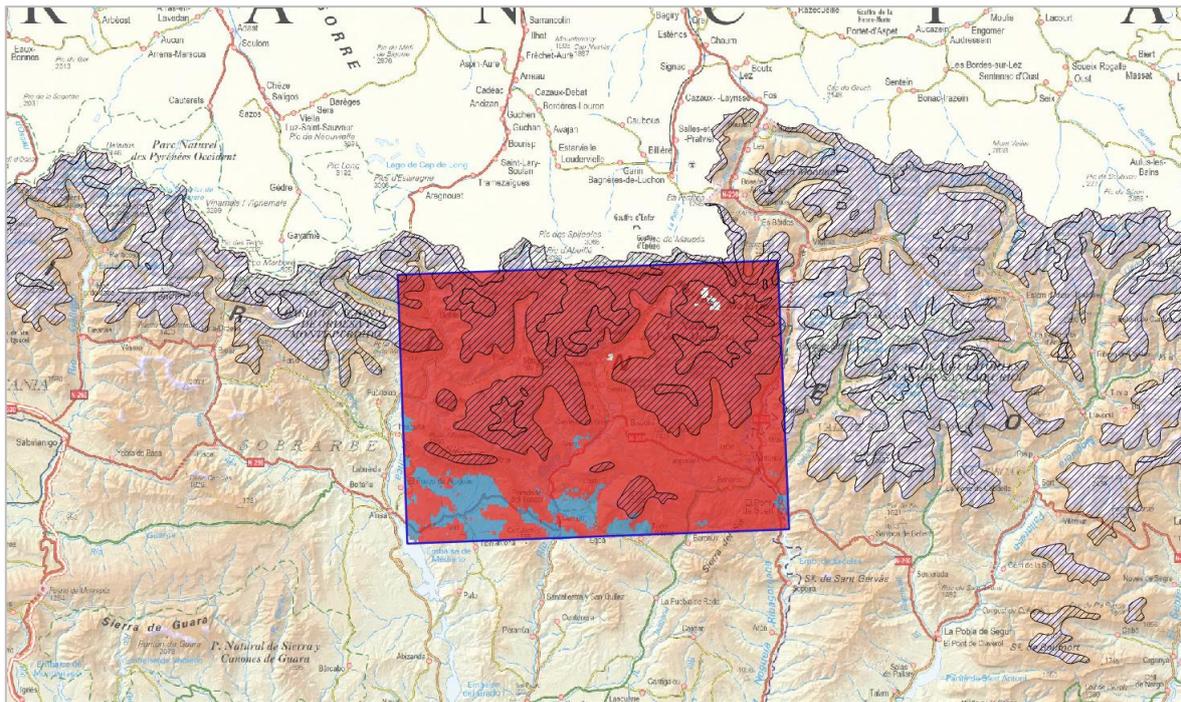


Figura II.4 Filtrado según el parámetro biofísico pH. En rojo se señala la zona con pH superficial (5 cm) entre 4 y 7 y en azul la zona con pH >7. La trama rallada muestra los pisos bioclimáticos de interés. Fuente: elaboración propia a partir de Rivas-Martínez (1987) y *SoliGrids*.

II.2.2. Uso de herramientas de teledetección

Imágenes de satélite

Las imágenes de satélite pueden ser una buena herramienta de detección de pastos, en particular para superficies grandes homogéneas que tengan unos límites nítidos y contando con las imágenes de la misión de *Sentinel-2*, de libre acceso, por su alta resolución espacial (10 x 10 m) y temporal (información cada 5 días), que han sido las empleadas en este caso práctico.

Una vez delimitada el AOI, se procede a descargar de *Copernicus open Access Hub*⁴⁸ las imágenes de *Sentinel-2* que solapen con esta, para todas las fechas deseadas. Para este estudio de caso se han utilizado todas las imágenes de los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre. La elección de este periodo se apoya en que es cuando resulta esperable encontrar el AOI libre de nieve con mayor probabilidad, así como el que cubre razonablemente bien toda la temporada de crecimiento de las especies que integran el tipo de hábitat. Así pues, se han generado mosaicos libres de nubes y nieve, mensuales y bimensuales, de las imágenes *Sentinel-2*, obteniéndose cuatro mosaicos:

1. Meses de mayo y junio.
2. Mes de julio.
3. Mes de agosto.
4. Meses de septiembre y octubre.

⁴⁸ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>



Información LiDAR

Otra herramienta que ha sido utilizada para la detección automática de pastos es el LiDAR, un sistema activo de teledetección, terrestre o aerotransportado, que envía señales laser y registra mediante un fotodiodo la radiación devuelta por un 'objeto' (ya sea la superficie terrestre, un árbol o incluso partículas de la atmósfera) y mediante un telémetro, la distancia que separa al sistema de dicho 'objeto'. Estos datos son procesados y se generan modelos digitales de elevaciones (MDE) muy detallados y precisos, pudiendo generar rásteres de pendientes y orientaciones, además de MDAV (modelos digitales de altura de la vegetación). Se puede obtener desde el Centro de Descargas del CNIG⁴⁹, para la primera cobertura del proyecto LiDAR del PNOA ya que, para este caso de estudio, aún no está disponible la segunda cobertura (ver apartado 4.4.8).

El mayor inconveniente en este caso de estudio (y de muchos de los prados y pastizales en general) lo constituye la baja talla de las comunidades involucradas. Así, como consecuencia de que el error altimétrico de los retornos LiDAR oscila, para el único vuelo PNOA disponible en la zona (la primera cobertura), entre los 20 y los 40 cm, no ha sido factible filtrar el área a clasificar con gran precisión, ya que los pastos de *F. eskia* pueden llegar a una altura de 40 cm (Marinas *et al.* 2009). Así pues, se construyó un MDAV de 5 m de resolución, que sirvió tanto para excluir todas las zonas con más de 80 cm de altura de la vegetación como para generar la variable clasificatoria '*mdav_mean*' (altura media de la vegetación).

Cartografía y ortofotografía digital

Como apoyo a la información satelital resulta muy recomendable disponer de otras fuentes, como es el caso de fotografías aéreas y ortofotografías. Esta información se puede cargar en el programa GIS a través de conexiones WMS. Esta es una información visual en la que se pueden apreciar modificaciones en la cobertura vegetal, cuerpos de agua, infraestructuras, etc.

A dichas fuentes de datos se puede acceder a través del Centro de Descargas del CNIG⁴⁹, en el que se puede encontrar la ortofotografía del PNOA de máxima actualidad, ortofotografías históricas del PNOA (desde el año 2004), ortofotografías de SIGPAC, ortofotografías del vuelo OLISTAT Oleícola, ortofotografías del vuelo Nacional, ortofotografías del vuelo Americano (1956-1957) o bases de datos de ocupación del suelo como el SIOSE (2005, 2011, 2014) y el CORINE *Land Cover* (con versiones de 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018).

La utilización de estas ortofotografías ha sido clave para depurar la muestra de 'verdad-terreno' extraída de la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón a escala 1: 25.000 antes mencionada. Como se adelantó más arriba, el relativo gran tamaño de la mayoría de las teselas conduce a que dentro de ellas exista una gran heterogeneidad en cuanto a respuesta espectral. Por ello, a falta de datos de campo con precisión suficiente de cada tipo de hábitat, se realizó un exhaustivo trabajo de fotointerpretación para segmentar las teselas seleccionadas como 'verdad-terreno' con el fin de excluir, en la medida de lo posible, zonas que claramente no se corresponden con el tipo de hábitat objetivo. Las ortofotografías empleadas han sido las facilitadas por el servicio WMS del IGN correspondientes al vuelo PNOA de máxima actualidad⁵⁰, de 25 y 50 m de resolución (los años de vuelo varían de unas zonas a otras).

⁴⁹ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

⁵⁰ <http://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma>



Obviamente, este procedimiento debería ser ineludiblemente realizado por un fotointérprete experto en los tipos de hábitat a clasificar y complementado con datos sobre el terreno para confirmar la pertenencia a la clase asignada.

Por otro lado, también a partir de la información del IGN, se han descargado los MDT de 25 m resolución, y, a partir de estos, se han generado los rásteres de pendientes y orientaciones en QGIS ('Ráster' → 'Análisis' → 'Pendiente u Orientación'). Además, se derivó otro ráster con la latitud de cada celda ('Procesos' → 'Órdenes de GRASS' → 'Ráster' → 'r.latlong') con el que, en combinación con los dos anteriores, se derivó un cuarto ráster con el parámetro termotopográfico (TTG) (Gandullo 1997), introduciendo la siguiente fórmula en la calculadora ráster ('Ráster' → 'Calculadora ráster'):

$$TTG = 1.4142 \cdot (-\text{sen}(ORI) \cdot \text{sen}(PND) \cdot \tan(37.5) - \text{cos}(ORI) \cdot \text{sen}(PND) \cdot \text{sen}(LAT) + \text{cos}(PND) \cdot \text{cos}(LAT))$$

donde 'ORI' es el ráster con las orientaciones, 'PND' el ráster con las pendientes y 'LAT' el de la latitud, todos en grados sexagesimales.

El parámetro devuelve un valor máximo que es independiente de la latitud y se corresponde a localizaciones donde en los equinoccios (tomado como una estimación de las condiciones medias anuales en esa localización) el sol llega a caer perpendicularmente al terreno (máxima solana). Cuando el parámetro toma valores negativos indica que en los equinoccios el sol no incide sobre el terreno en el momento de máxima elevación del sol (máxima umbría). Si el parámetro toma valor 0, el sol cae en esas condiciones de manera rasante al terreno. El parámetro calculado en el área de estudio osciló entre 0,269 y 1,425 (Figura II.5). Finalmente, el ráster resultante se ha 'resampleado' a 10 m para que coincidiera con la resolución de las capas satelitales (proceso 'Remuestreo' de SAGA en QGIS, con método de interpolación bilinear).

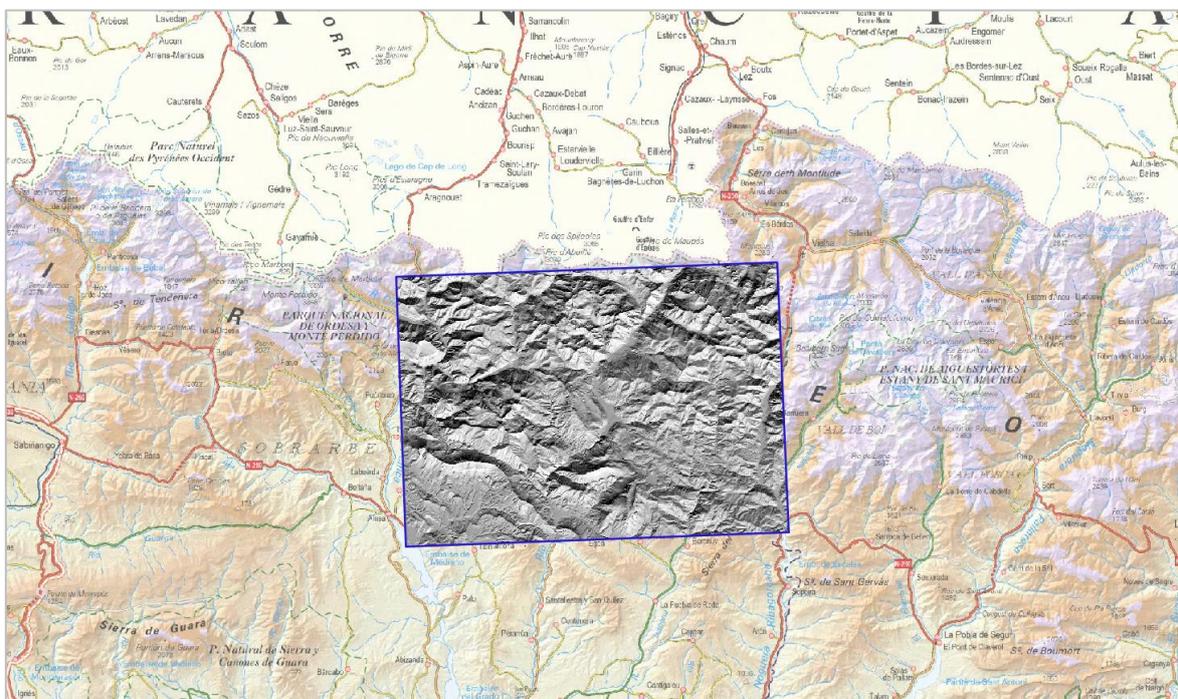


Figura II.5 Capa ráster con el parámetro TTG calculado para el área de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del MDE (resolución de 10 m) generado a partir de las hojas LAZ de la primera cobertura del vuelo PNOA.



II.2.3. Obtención de la 'verdad-terreno'

Debido a que el presente caso de estudio tiene un carácter eminentemente metodológico y demostrativo, no se ha planteado ningún trabajo de campo para la obtención de 'verdad-terreno'. En su defecto, se ha utilizado únicamente la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón (Benito-Alonso 2011). El mayor inconveniente de esta información (de gran calidad en cuanto al detalle de los tipos de hábitat, su ocupación, naturalidad, etc.) es el relativo gran tamaño de las teselas, lo cual es lógico dada la escala de trabajo con la que se desarrolló dicha cartografía. Esto implica que dentro de cada tesela el sistema va a encontrar gran cantidad de 'ruido', puesto que existirán multitud de distintos pequeños tipos de hábitat, cada uno, como es lógico con diferente respuesta espectral.

En las bases de datos de la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón, que se encuentran divididas por hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 (MTN25), se observa que aparecen dos subtipos de hábitat de *F. eskia*, en la tabla 'Leyenda', etiquetados en el campo 'Código' como:

- 36.314: Pastos de *Festuca eskia* densos, de la alta montaña pirenaica.
- 36.332: pastos de *Festuca eskia* en gradines de las laderas solanas empinadas de la alta montaña pirenaica.

Este último subtipo de hábitat no aparece etiquetado en las bases de datos con el código de THIC 6140 en el campo correspondiente ('COD_HIC').

Además, tras el procesado de las bases de datos y de la información cartográfica (durante el que se detectaron algunos errores topológicos y de coherencia entre hojas que hubo que subsanar) y el cruce de ambas, se llega a obtener una capa GIS en cuya tabla de atributos se dispone de hasta cuatro tipos de hábitat (campos 'HAB1-4'), con su correspondiente porcentaje de ocupación (campos 'SUP1-4') para cada tesela (Figura II.6), a partir de la cual ya es trivial seleccionar los registros (teselas) deseados para generar la base de datos de 'verdad-terreno'.

Para el entrenamiento de los modelos de clasificación se tuvieron en cuenta cuatro clases (subtipos y/o grupos de tipos de hábitat), etiquetados con los siguientes códigos:

- 36314: pastizales de *F. eskia* en zonas de llanura o pendientes moderadas con un porcentaje igual o superior al 70% de superficie ocupada por la misma dentro de la tesela.
- 36332: pastizales de *F. eskia* que aparecen en pendientes y en forma de gradines con un porcentaje igual o superior al 70% de superficie ocupada en la tesela.
- 36000: las teselas de *F. eskia* tanto 36332 como 36314 con un porcentaje de superficie menor al 70%. Es decir, son teselas en las que aparece una pequeña parte de *F. eskia*.
- 38000: teselas donde no aparece nada de *F. eskia*.

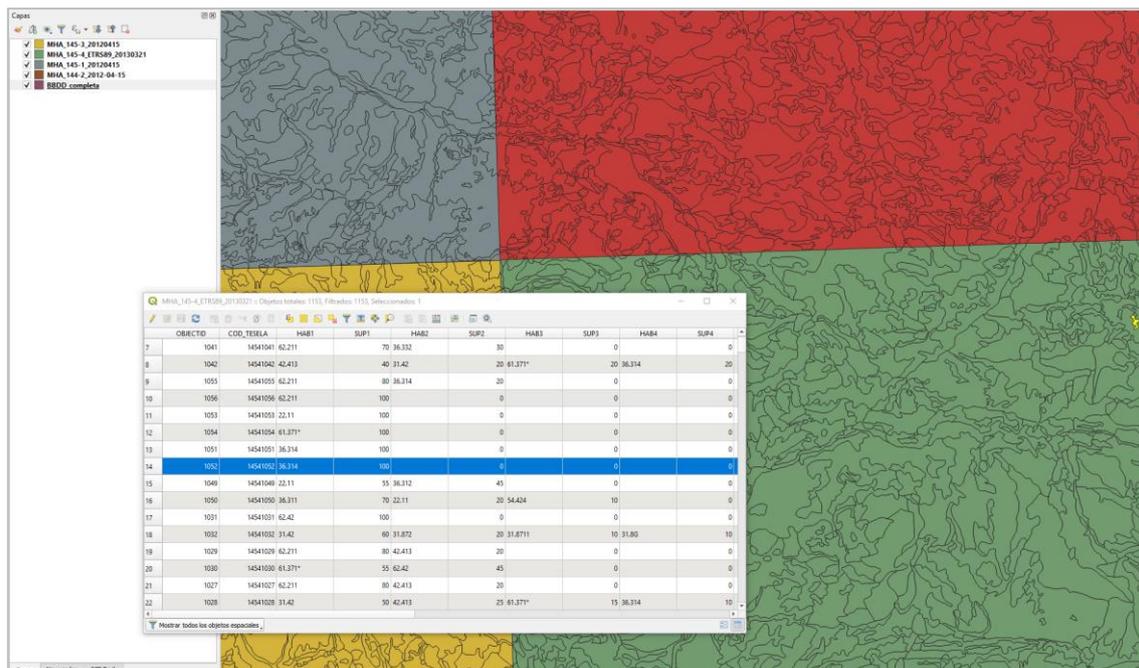


Figura II.6 Base de datos depurada y lista para la extracción de ‘verdad-terreno’. Cada hoja del MTN25 en la que se generaron los Mapas de Hábitats CORINE de Aragón aparece en un color diferente. Fuente: elaboración propia a partir de la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón (Benito-Alonso 2011).

Antes de aplicar los modelos de clasificación sobre una base de datos de ‘verdad-terreno’ se ha realizado una segmentación de toda el AOI con *Orfeo Toolbox*. Esta herramienta realiza agrupamiento de píxeles iguales en teselas en función del ráster de entrada y genera un archivo vectorial (*shapefile*) donde cada registro corresponde a un segmento. Para la segmentación se ha utilizado el ráster del MDAV de 5 m de resolución generado a partir de la información LiDAR, por lo que dentro de cada segmento existe una elevada homogeneidad en cuanto a la altura de la vegetación. En la Figura II.7 se puede ver una pequeña parte de la segmentación realizada, con la ortofotografía aérea del vuelo PNOA de máxima actualidad como fondo.

Posteriormente, se crea una nueva base de datos con la información de las cuatro clases objetivo (36314, 36332, 36000 y 38000) y los segmentos generados. Para ello, se agrega un campo nuevo al archivo vectorial de la segmentación con el nombre de ‘HAB’, y se buscan segmentos que estén dentro de los polígonos que inicialmente se seleccionaron como ‘verdad-terreno’ a partir de la Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón y que, mediante fotointerpretación, se asegure que contengan vegetación. Esta operación constituye un sustituto, a efectos del presente caso práctico, de lo que debería ser contrastado en campo o confirmado mediante otras fuentes de información de alta precisión geográfica. En la Figura II.8 se puede ver un ejemplo de la selección de ‘verdad-terreno’ realizada.

Tras el trabajo de fotointerpretación se obtuvieron 108, 93, 54 y 91 segmentos de las clases 36000, 36314, 36332 y 38000, respectivamente.



Figura II.7 Detalle de la segmentación realizada. Fuente: elaboración propia.

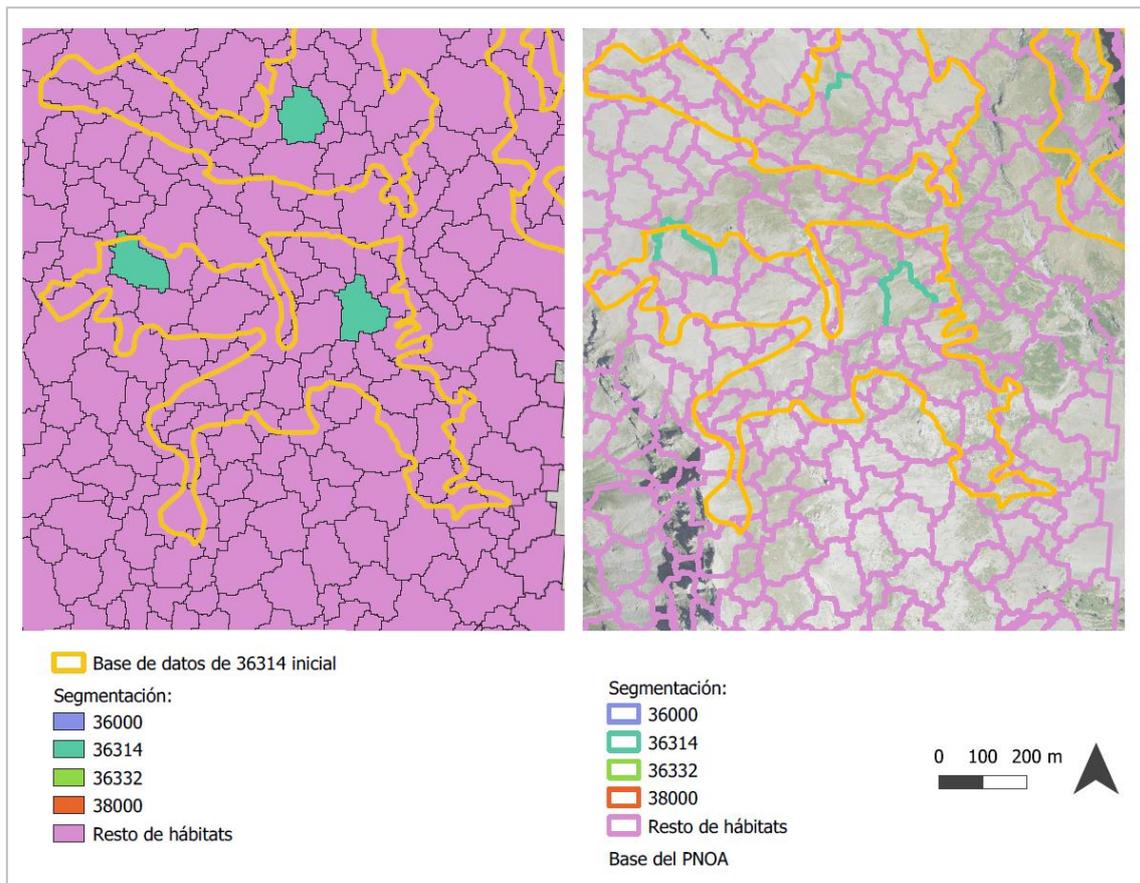


Figura II.8 Detalle de la segmentación una vez se les ha asignado el campo 'HAB' a algunos de los segmentos ('verdad-terreno'). Fuente: elaboración propia.



II.2.4. Generación de variables de entrenamiento

Una vez seleccionados los segmentos integrantes de la base de datos de 'verdad-terreno' se calculan los valores medios de todas las variables generadas en cada uno de ellos ('Ráster' → 'Estadísticos de zona'):

- Bandas del espectro visible (B02, B03, B04) con una resolución de 10 m, banda del infrarrojo cercano (B08) con resolución de 10 m y dos bandas del 'SWIR' (B11 y B12) con resolución de 20 m, para cada uno de los cuatro periodos temporales antes explicados.
- Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), para los mismos periodos temporales.

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)}$$

- Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), para los mismos periodos temporales.

$$SAVI = 1,5 * \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04 + 0,5)}$$

- Índice de vegetación mejorado (EVI), para los mismos periodos temporales.

$$EVI = 2,5 * \frac{(B08 - B04)}{(B08 + 6 * B04 - 7,5 * B02 + 1)}$$

- Modelo digital de altura de la vegetación (MDAV)
- Pendiente del terreno (PND)
- Parámetro termotopográfico (TTG)

De esta manera, se crea un base de datos con 39 variables explicativas (24 de bandas satelitales en bruto, 12 de índices de vegetación, una de altura de la vegetación y dos topográficas) calculadas en todos y cada uno de los segmentos generados, más un campo con la clase 'tipo de hábitat', que únicamente tendrá valores no nulos en los segmentos identificados como 'verdad-terreno'. Esta base de datos es la que alimenta los algoritmos de clasificación de la siguiente fase.

II.2.5. Modelos de clasificación

Para las clasificaciones se han empleado cuatro algoritmos de clasificación diferentes:

- Redes neuronales artificiales (ANN, del inglés *Artificial neural networks*)
- *Support vector machine* con kernel radial (SVMR)
- *Support vector machine* con kernel lineal (SVML)
- *Random Forest* (RF)

Todos los análisis se han realizado con el *software* libre R (R Development Core Team 2018). En todos los casos se ha dividido la muestra en un 75% para el entrenamiento de los modelos y un 25% como



test. Una vez aplicados los algoritmos se calcula la precisión de clasificación ('Accuracy'), el índice kappa y la matriz de confusión, eligiéndose el que mejores estadísticos presenta. Tanto el valor de 'Accuracy' como el de 'kappa' evalúan la capacidad del modelo para predecir correctamente las clases establecidas. 'Accuracy' lo hace de forma global para todas las clases (para el modelo ANN, por ejemplo, se obtiene un 57.1% de acierto en la predicción), mientras que el índice kappa tiene en cuenta el acierto dentro de cada clase, al comparar la predicción del modelo con la predicción que se podría obtener por azar. Por último, la desviación estándar de ambos índices ilustra cómo de 'estable' ha sido la predicción en todas las iteraciones recorridas en el proceso de aprendizaje: a mayor desviación estándar, mayor inestabilidad y, por consiguiente, mayor probabilidad de obtener una peor predicción sobre una nueva población.

II.2.6. Cálculo de la tasa de cambio

Una vez obtenida la superficie ocupada (SO) en dos momentos dados, separados por un periodo de tiempo t , calcular la tasa de cambio anual es inmediato:

$$tasa\ de\ cambio\ (\%) = 100 \cdot \left[\left(\frac{SO2}{SO1} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right]$$

donde $SO1$ y $SO2$ son las superficies ocupadas por un THIC, en las mismas unidades, y t es el periodo de tiempo.

II.3. Resultados

En la Tabla II.2 se pueden observar los resultados, siendo el algoritmo de redes neuronales el que mejor clasifica, según la precisión de clasificación y el índice kappa, ya que no solo alcanza los mejores niveles de predicción globales y de índice kappa, sino que además estos índices presentan una menor variabilidad en el proceso de aprendizaje. Las variables más influyentes en el entrenamiento del modelo fueron MDAV, TTG y B02_JULIO.

Tabla II.27 Precisión ('Accuracy') e índice kappa para los cuatro algoritmos de clasificación. Sombreado en gris se marca el algoritmo con mayor precisión e índice kappa. Fuente: elaboración propia.

Nota: sd = desviación estándar de cada índice.

	Accuracy	Accuracy_sd	kappa	kappa_sd
ANN	0,571	0,109	0,352	0,158
SVML	0,483	0,133	0,247	0,196
SVMR	0,499	0,085	0,237	0,135
RF	0,531	0,137	0,298	0,208

Las matrices de confusión del modelo ANN para cada uno de los cuatro tipos de hábitat, calculadas con las muestras de entrenamiento y validación, se muestran en la Tabla II.3 y la Tabla II.4, respectivamente. En cada una de ellas se recoge el número de observaciones etiquetadas en cada clase observada



(columnas) y predicha (filas), es decir, por ejemplo, en la Tabla II.3 puede observarse que de los 53 segmentos identificados como pertenecientes a la clase 36314, el modelo predice correctamente 47 (88,7%). Un modelo que predijera sin error tendría valores distintos de 0 únicamente en la diagonal de la matriz.

Tabla II.28 Matriz de confusión del modelo de redes neuronales (ANN) sobre la muestra de entrenamiento para cada uno de los cuatro tipos de hábitat. Fuente: elaboración propia.

pred/obs	36000	36314	36332	38000
36000	17	5	6	4
36314	23	47	2	0
36332	0	0	0	0
38000	2	1	6	17

Tabla II.29 Matriz de confusión del modelo de redes neuronales (ANN) sobre la muestra de validación para cada uno de los cuatro tipos de hábitat. Fuente: elaboración propia.

pred/obs	36000	36314	36332	38000
36000	6	3	1	2
36314	7	8	1	2
36332	0	0	0	0
38000	4	0	4	2

Por último, en la Tabla II.5 y la Figura II.9 se presenta la distribución geográfica de la predicción de cada clase objetivo, así como su superficie (en ha) en el territorio estudiado.

Tabla II.30 Superficie (en ha) ocupada por cada tipo de hábitat en el territorio estudiado. Fuente: elaboración propia.

Tipo de hábitat	Superficie (ha)	%
36000	5570,0	15,36
36314	1160,0	3,20
36332	32,1	0,09
38000	29 500,0	81,35

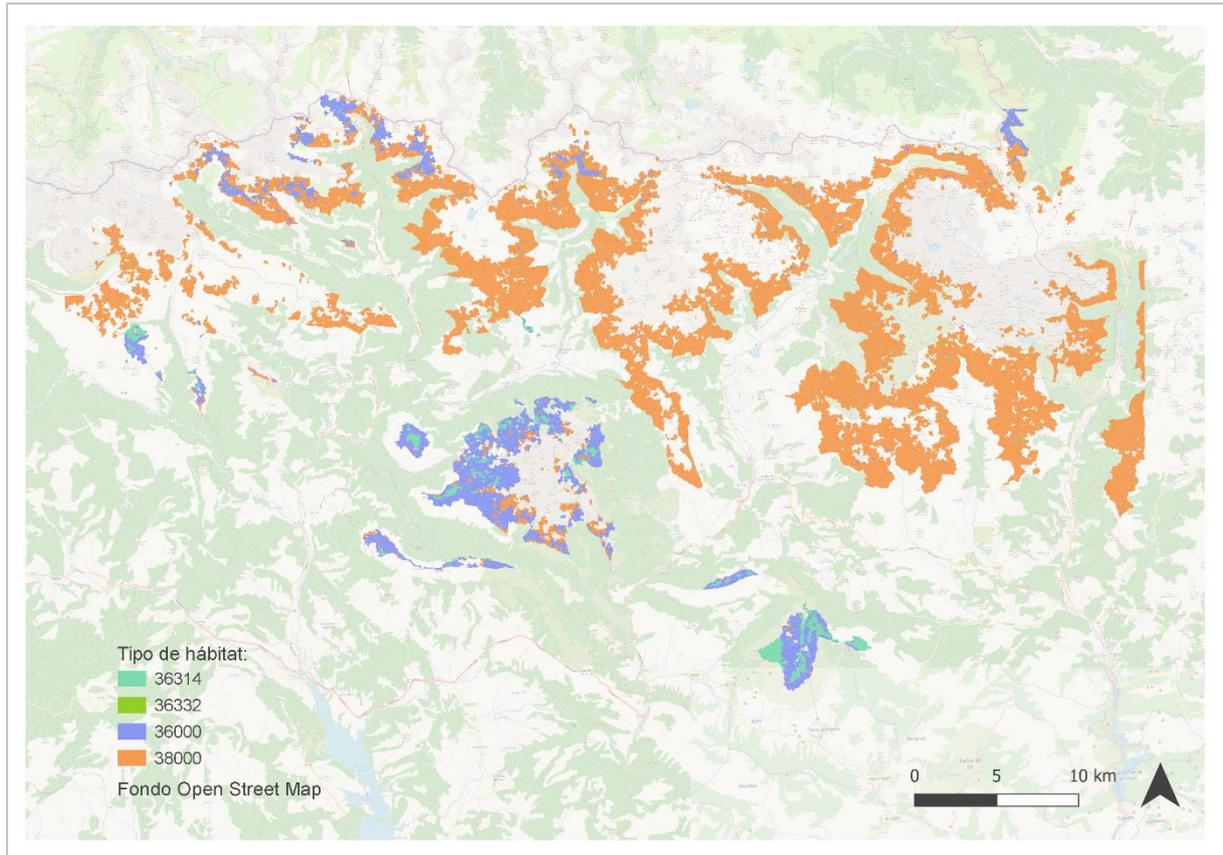


Figura II.9 Mapa de la predicción de cada tipo de hábitat clasificado en el territorio estudiado. Fuente: elaboración propia.

Las cifras presentadas en la Tabla II.5 constituirían los valores correspondientes a la variable $SO1$ de la fórmula presentada en el apartado II.2.6. No es posible realizar un ejercicio teórico de qué ha ocurrido en los últimos 6 años ya que en 2013 no existía aún la misión *Sentinel-2* con la que se han generado la mayoría de las variables empleadas en el entrenamiento de los modelos. En el futuro, el cálculo de la superficie ocupada futura ($SO2$) se realizará de manera idéntica al procedimiento presentado en el presente documento, pero utilizando las variables LiDAR y satelitales correspondientes al próximo año de evaluación. Así, si, por ejemplo, para el THIC 36314, dentro de 6 años se obtuviera una superficie ocupada de 1050 ha, la tasa de cambio anual de este tipo de hábitat sería:

$$tasa\ de\ cambio\ (\%) = 100 \cdot \left[\left(\frac{1050}{1160} \right)^{\frac{1}{6}} - 1 \right] = -1,647\%$$

Es decir, que habría tenido lugar un descenso anual del 1,647% de la superficie ocupada.



II.4. Discusión

Puede observarse que, si bien a nivel global los resultados no son del todo insatisfactorios, el modelo funciona claramente mal para la clase 36332, ya que es prácticamente incapaz de predecirla. Es altamente probable que sea fruto de la propia estructura de este tipo de hábitat (Figura II.10), ya que la mezcla de suelo desnudo y cubierto, a diferentes microescalas, complica sobremanera tanto la identificación mediante fotointerpretación de la 'verdad-terreno' como el posterior entrenamiento. Resulta pues absolutamente imprescindible alimentar al sistema con teselas altamente homogéneas pero de tamaño suficientemente grande (de al menos 3000 m²), tanto de esta clase como de la de suelo desnudo, que debería ser etiquetada aparte, con alta precisión geométrica.



Figura II.10 Estructura típica de los pastizales de *F. eskia* en gradines (clase 36332). Autoría: Alfonso San Miguel Ayanz.

La clase 36000 (mezcla de pastizales de *F. eskia* con otros tipos de hábitat en distinto grado) también funciona pobremente, si bien esto era esperable, dado que constituye una mezcla en todos los grados posibles (hasta el 70% de presencia) de *F. eskia* con otros tipos de hábitat, por lo que su identificación mediante fotointerpretación puede haber resultado muy deficiente.

Como se ha mencionado con anterioridad, el proceso de fotointerpretación debe ser realizado por personal especialista en los tipos de hábitat a clasificar presentes en el área de estudio. Si bien el tamaño de la muestra empleada en este caso práctico parece razonable (ver apartado II.2.4), ya que contando con unas 50 observaciones por clase los algoritmos suelen funcionar bien, la heterogeneidad interna de los segmentos empleados como 'verdad-terreno', al no estar generada por fotointérpretes expertos en el tipo de hábitat y no estar corroborada sobre el terreno, complica sobremanera el entrenamiento de



los algoritmos. En cualquier caso, la labor de fotointerpretación debe realizarse siempre con la información de máxima actualidad y resolución disponible. El servicio WMS de ortofotografías de máxima actualidad del programa PNOA facilitado por el IGN⁵¹, integrable en cualquier GIS tanto libre como de pago, alcanza los mejores estándares para acometer esta tarea.

Las fuentes de datos empleadas en este caso práctico permiten acotar con buena precisión el AOI y proporcionan información de calidad y relevante para entrenar a los algoritmos. Si bien la resolución de la información satelital (10 m) puede resultar un poco justa en ciertos enclaves para el objetivo planteado, se considera adecuada para un trabajo de seguimiento a gran escala que implica tamaños de AOI de cientos de miles de hectáreas. Es necesario insistir en que las carencias detectadas no son achacables a la resolución o la indefinición de las fuentes de datos empleadas, sino a la heterogeneidad interna de la 'verdad-terreno' extraída exclusivamente por fotointerpretación.

Por otro lado, es necesario mencionar que no se ha considerado la utilización de los productos *Grassland* de los servicios de *Copernicus* ya que tienen una resolución máxima (20 m) aún menor que los datos brutos satelitales. Además, se trata de una imagen ráster binaria (herbáceo/no herbáceo) o de probabilidad de la imagen binaria y la última fecha disponible es de 2015⁵². Se considera mucho más operativo emplear las capas vectoriales SIGPAC, no solo por su elevado detalle espacial, sino, en particular, por su gran frecuencia de actualización, ya que se realizan revisiones sistemáticas de cambios por fotointerpretación de nuevas ortofotografías aéreas, se revisan todas las parcelas que entran en el sistema, y se integran las alegaciones de los agricultores y los controles realizados sobre el terreno. Estas labores de mantenimiento y actualización tienen carácter anual.

Así pues, a pesar de los inconvenientes detectados, con las soluciones propuestas es factible realizar una predicción adecuada de este tipo de hábitat y por lo tanto realizar un seguimiento apropiado de su superficie ocupada.

⁵¹ <http://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma>

⁵² <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland>



II.5. Referencias

Benito-Alonso J L (coord.) 2011. Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón. Escala 1: 25.000. Lista de hábitats de Aragón (versión 4.09). Monografías de Botánica Ibérica, nº 7. 90 pp.

http://www.jolube.net/pub/Habitats_Aragon_v409_IX-2011.pdf

Gandullo J M. 1997. Implicaciones térmicas de la topografía: ensayo de un parámetro termotopográfico. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. 6(1 y 2): 7-15.

Marinas A, Gómez D & García-González R. 2009. 6140. Pastos pirenaicos y cantábricos de *Festuca eskia*. 84 pp. 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.

R Development Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R version 3.4.0 - You Stupid Darkness. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. <https://www.R-project.org/>

Rivas-Martínez S. 1987. Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España 1:400.000. ICONA - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 268 pp.

https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx