

Calidad de estación de las principales especies forestales en España: un visor cartográfico online

Ana Aguirre¹

Daniel Moreno-Fernández²

Iciar Alberdi³

Laura Hernández³

Patricia Adame³

Isabel Cañellas³

Fernando Montes³

Jesús Martínez-Fernández³

¹ Dpto. de Sistemas y Recursos Naturales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid (ana.aguirre@upm.es)

² Universidad de Alcalá, Dpto. de Ciencias de la Vida, Grupo de Ecología y Restauración Forestal (FORECO) (danielmorenofdez@gmail.com)

³ Centro Forestal de Investigación (INIA, CSIC). (alberdi.iciar@inia.csic.es, hernandez.laura@inia.csic.es, adame.patricia@inia.csic.es, canellas@inia.csic.es, fmontes@inia.csic.es, martinez.jesus@inia.csic.es)

Se presenta un nuevo visor web cartográfico de la calidad de estación de las principales especies forestales españolas (24 especies arbóreas) en su área de distribución nacional.

Para ello, se han ajustado modelos para estimar el *índice de forma* utilizando los datos del Inventario Forestal Nacional. A partir de los valores estimados se han elaborado mapas a nivel nacional incorporando información del medio físico mediante técnicas geoestadísticas. El visor cuenta con una capa base topográfica y presenta, en cualquier región del territorio español, la calidad de estación para una determinada especie según la información del Mapa Forestal Español.

Palabras clave: Geoestadística, gestión forestal, *índice de forma*, modelos altura-diámetro, visor web cartográfico.

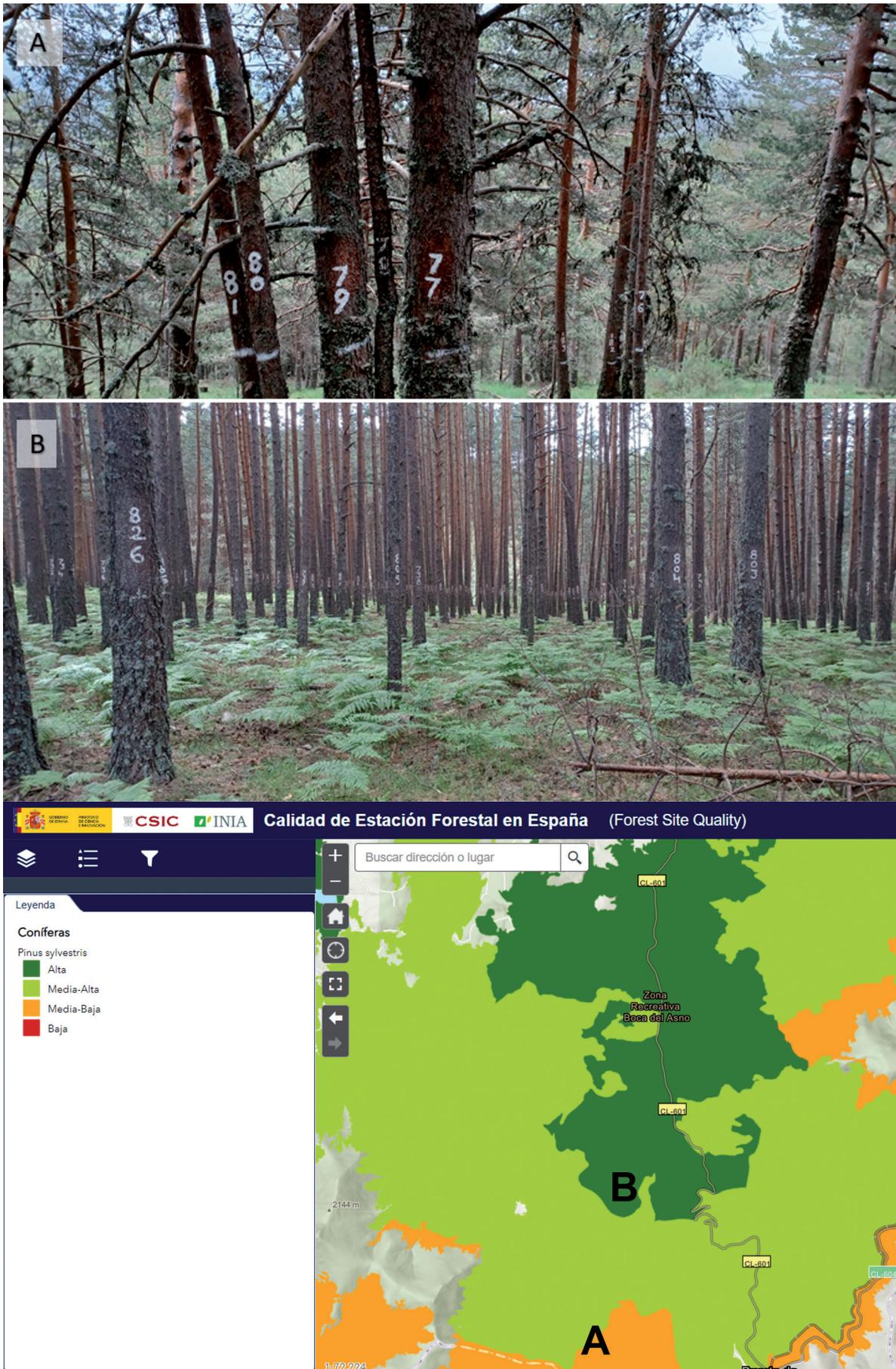
Introducción

La gestión forestal conlleva la toma de múltiples decisiones, como: elección de especie, turno o tratamientos selvícolas (PRETZSCH *et al.*, 2008; BONTEMPS y BOURIAUD, 2014). Todas estas decisiones se ven afectadas por la calidad de estación en la que se encuentre el rodal, por lo que su conocimiento es fundamental para adoptar medidas de gestión forestal adecuadas.

La calidad de estación para una especie es un indicador de la capacidad productiva de un lugar frente a una determinada especie forestal y tipo de producto (SECF, 2005). Para evaluar la calidad de estación se han utilizado distintas metodologías, siendo el *índice de calidad de estación* el más utilizado. Este índice se determina como el valor de la altura dominante de la masa a una edad de referencia. Sin embargo, otros autores proponen otros índices que no impliquen el conocimiento de la edad de la masa (MORENO-FERNÁNDEZ *et al.*, 2018^a; MOLINA-VALERO *et al.*, 2019), como es el caso del *índice de forma* o *site form*, que relaciona la altura dominante con el diámetro dominante. Este índice es una buena alternativa cuando se trata de masas irregulares, mixtas o no se conoce la edad de la masa, como en el caso del Inventario Forestal Español (IFN) (MORENO-FERNÁNDEZ *et al.*, 2018a y b).

Actualmente, para conocer la calidad de estación de una especie forestal española, hay que recurrir a estudios desarrollados a escala local o regional ya que son pocos los modelos disponibles a escala nacional. Además, la mayor parte de los modelos de calidad de estación se han centrado en las especies más productivas. En este sentido, MORENO-FERNÁNDEZ *et al.* (2018a) desarrollaron una metodología para estimar la calidad de estación de cinco especies forestales en aquellas parcelas del IFN en las que estas especies estuvieran presentes. Sin embargo, disponer de esta cartografía para las principales especies forestales, y que abarque grandes extensiones, constituye una herramienta fundamental tanto para los agentes encargados de la gestión como de la investigación, pues permitiría estudiar la ecología de las especies sobre su distribución completa, evaluar el posible efecto del cambio climático o desarrollar estrategias de gestión forestal para aquellos lugares donde, hasta ahora, no existía información relativa a la calidad de estación.

El IFN es la principal fuente de información forestal a nivel nacional (ALBERDI *et al.*, 2017), con tres ciclos completos (el cuarto en ejecución), una periodicidad aproximada decenal y más de 90.000 par-



Ejemplos de rodales de *Pinus sylvestris* de calidad C (arriba) y calidad A (abajo) de las parcelas permanentes del ICIFOR-INIA, CSIC del pinar de Valsaín, en la Sierra de Guadarrama (Segovia), y su localización en el Visor web de calidad de estación de especies forestales del ICIFOR-INIA, CSIC

celas en el último ciclo completo. Su cartografía de base es el Mapa Forestal Español (MFE) (MITECO, 2015), que identifica las diferentes teselas (polígonos) definidas como superficie con características homogéneas; en el caso de la superficie de bosque, características referentes a las principales especies presentes, tipo de formación arbórea, su ocupación, su fracción de cabida cubierta, estado de la masa y su estructura. Los resultados obtenidos en trabajos previos (ADAME *et al.*, 2006; MORENO-FERNÁNDEZ *et al.*, 2018a) permiten confirmar la adecuación del IFN para evaluar la calidad de estación.

Este artículo presenta el desarrollo de un visor que permite explorar la calidad de estación a nivel nacional para las principales especies forestales españolas. Para ello, se utiliza la información disponible en las parcelas del Tercer IFN (IFN-3, 1997-2007) y se aplican técnicas geoestadísticas que nos permiten interpolar la información a las teselas del MFE.

Las especies analizadas son: *Pinus sylvestris* L., *Pinus uncinata* Ram., *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill., *Pinus nigra* Arnold., *Pinus pinaster* Ait., *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC in Buch, *Pinus radiata* D. Don, *Abies alba* Mill., *Juniperus thurifera* L., *Quercus robur* L., *Quercus petraea* Matt., *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus faginea* Lam., *Quercus ilex* L., *Quercus suber* L., *Populus nigra* L., *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., *Fagus sylvatica* L., *Castanea sativa* Mill., *Quercus pubescens* Willd., *Populus x canadensis* Moench., *Betula alba* L.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- * Desarrollar curvas-guía que permitan determinar la relación entre altura y diámetro dominante para cada especie.
- * Explorar la influencia de variables climáticas, fisiográficas y edáficas sobre el índice de forma para interpolar mediante métodos geoestadísticos y mapear la calidad de estación para cada especie a nivel nacional.
- * Y, finalmente, elaborar un visor que, de manera fácil e intuitiva, permita explorar y analizar los resultados de este estudio.

Material y métodos

Para este trabajo se han utilizado los datos procedentes del IFN-3. Del conjunto de parcelas de este ciclo se seleccionaron aquellas localizadas en masas puras (al menos el 90 % del área basimétrica correspondiente a una sola especie). Además, se eliminaron del estudio las parcelas localizadas en dehesas (generalmente con árboles podados para la obtención de leñas o frutos) y aquellas con presencia de pies trasmochos (para la obtención de

leñas y ramón) por el efecto que podría tener en la estimación de la altura dominante. Una vez realizado el filtrado de los datos, se desarrollaron los modelos para aquellas especies que cumplían los requisitos previos en, al menos, 30 parcelas.

Para cada una de las parcelas, se calculó la altura dominante (H_o , en m) y el diámetro dominante (D_o , en cm), ambas variables calculadas siguiendo el criterio simplificado de ASSMANN (1970), es decir, la altura/diámetro medio de los 100 pies más gruesos por hectárea. Además, se utilizaron como variables auxiliares: i) variables fisiográficas [altitud (m), pendiente ($^\circ$) y orientación (coseno de la orientación en $^\circ$) (<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>)]; ii) variables del suelo [pH (medido en agua) ($\text{pH} \cdot 10$) y Nitrógeno ($\text{cg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (<https://soilgrids.org/>)]; iii) coordenadas UTM (km); y iv) índice de aridez (DE MARTONNE, 1926) calcu-

Tabla 1. Valores medios de altura dominante (H_o) y diámetro dominante (D_o) en las parcelas

Especie	N.º de parcelas	H_o	D_o
<i>P. sylvestris</i>	4.879	12,4 (2,2-30,5)	30,4 (8-64,8)
<i>P. uncinata</i>	499	11,2 (3-21,7)	31,9 (8,2-58,6)
<i>P. pinea</i>	1.570	9,3 (3,2-22,3)	29,9 (9-77,2)
<i>P. halepensis</i>	7.543	9,1 (2,8-25)	24,5 (7,9-68,7)
<i>P. nigra</i>	2.854	10,8 (2,9-33,2)	26,7 (8-100,3)
<i>P. pinaster</i>	5.783	12,8 (2,8-29)	32,2 (7,9-82,1)
<i>P. canariensis</i>	1.636	15 (4,2-34,9)	36 (12-81,3)
<i>P. radiata</i>	1.324	20,4 (3,3-45,1)	35,4 (7,9-72,4)
<i>A. alba</i>	56	22,1 (6,3-31,4)	47,2 (11,6-79,9)
<i>J. thurifera</i>	682	6,2 (3,3-11,4)	23,3 (9,3-59,2)
<i>Q. robur</i>	449	14,4 (3,7-25,6)	36,3 (11,1-85,9)
<i>Q. petraea</i>	218	12,6 (4,1-29,5)	33,8 (9-76)
<i>Q. pyrenaica</i>	2.321	10,3 (3,2-23,3)	23,9 (7,8-102)
<i>Q. faginea</i>	947	7,6 (2,8-21,7)	21,3 (7,7-108,4)
<i>Q. ilex</i>	5.022	6,1 (2-20,1)	21,5 (7,7-112,5)
<i>Q. suber</i>	943	8,2 (3,5-15,5)	33,4 (8,4-78,9)
<i>Pop. nigra</i>	220	19,2 (6,6-37,4)	35,2 (7,5-90,3)
<i>E. globulus</i>	1.460	20,1 (5,8-42,8)	23 (7,8-70)
<i>E. camaldulensis</i>	460	13,5 (4,8-34,1)	20,8 (8-84,4)
<i>F. sylvatica</i>	1.815	19 (3,7-36,5)	40,3 (8,6-118)
<i>C. sativa</i>	320	13 (4,3-22,6)	37,1 (7,7-151,4)
<i>Q. pubescens</i>	192	10 (4,5-26,2)	24,3 (9,4-58,5)
<i>Pop. x canadensis</i>	523	20,7 (6,4-39,7)	28,2 (8-64,3)
<i>B. alba</i>	57	11,1 (4-25)	21,9 (8,2-44,8)

Valores medios (\bar{y} , entre paréntesis, mínimos y máximos), de las variables H_o y D_o en las parcelas; donde: H_o , es la altura dominante (m); D_o , el diámetro dominante (cm)

lado como $M=P/(T+10)$, en $\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ (<https://www.worldclim.org/>). En la tabla 1 se muestra un resumen de las parcelas utilizadas.

Para cada especie, utilizando las parcelas ubicadas en masas puras, se modelizó la relación Ho - Do mediante los modelos de Hosfeld-II (H-II) y de Bertalanffy-Richards (B-R). Se ajustó cada uno de estos modelos, expandiendo para cada parámetro (dos para H-II y tres para B-R) (ver AGUIRRE *et al.*, 2022 para mayor detalle). La selección del modelo para cada especie se basó en el ajuste de las curvas a los datos, considerando el polimorfismo de las curvas resultantes. Obtenido el mejor modelo para cada una de las especies, el *índice de forma* se clasificó para cada especie, en 4 clases, según su distribución en las masas puras. Estas calidades se establecen de mayor a menor calidad en función de su *índice de forma*: A, para valores mayores o iguales al tercer cuartil; B, para valores entre el tercer cuartil y la media; C, para valores entre la media y el primer cuartil; y D, para valores menores al primer cuartil.

Como base para desarrollar los mapas a escala nacional de *índice de forma* se eligió el MFE (Escala 1:50.000), compuesto por teselas con una superficie mínima de 2,5 ha, teniendo la unidad básica un uso de suelo específico con estructura forestal y tipo de bosque homogéneo (ALBERDI *et al.*, 2017). En cada una de las teselas se indican las tres especies forestales presentes en ella, así como su grado de ocupación y estado de desarrollo.

Seleccionadas las curvas adecuadas para las masas puras de cada una de las especies y, por tanto, la calidad de estación para cada una de las parcelas del IFN, se ajustaron los modelos de kriging universal (KU) (MONTES *et al.*, 2005; MONTES Y LEDO, 2010). Se trata de una técnica geoestadística que integra una función lineal de las variables auxiliares y un componente espacial que es estimado a partir de los valores de las parcelas en función de la distancia de cada parcela a cada uno de los puntos de predicción. En este caso se utilizaron predictores climáticos, fisiográficos y edáficos para estimar la calidad de estación en aquellos lugares en los que no se dispone de información dendrométrica de las especies.

Los criterios que se consideraron, para seleccionar las variables a incluir en el modelo de KU, fueron la significación de los coeficientes, la correlación entre variables y el error cuadrático medio. Obtenidos los variogramas, se estimó el *índice de forma* para todos los centroides de las teselas del MFE en las que hubiera presencia de alguna especie estudiada, utilizando el KU. La clasificación final se muestra categorizada en calidad de estación alta (A), media-alta (B), media-baja (C) y baja (D) para cada especie y tesela del MFE. Los análisis geoestadísticos se llevaron a cabo utilizando un paquete de análisis geoestadístico desarrollado en Matlab por los autores.

Obtenidos los valores del *índice de forma* para todas aquellas teselas del MFE en las que las especies seleccionadas están presentes, se obtiene un mapa de *índice de forma* para cada especie que se puede consultar en el visor desarrollado. Este visor ha sido generado utilizando ArcGis online de la empresa ESRI a partir de los servicios de imágenes de mapa publicados mediante ArcGis Server. Se ha utilizado una de las plantillas y los widgets disponibles en ArcGis Web AppBuilder (ESRI, 2022).

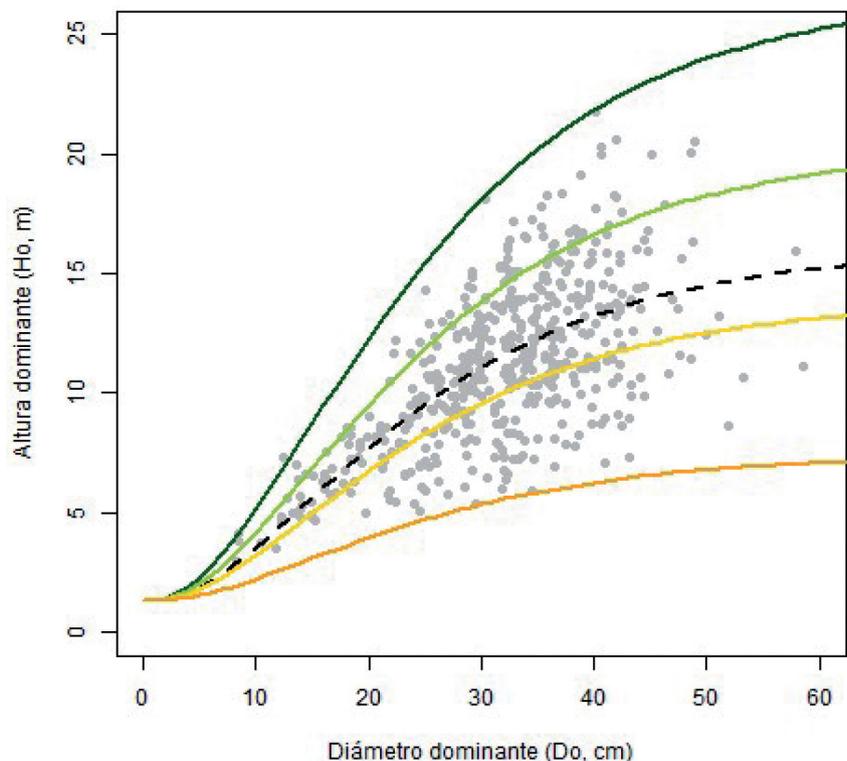


Figura 1. Ejemplo de la curva-guía para *P. uncinata*. Valores del índice de forma (IF): media del modelo (línea discontinua); valor máximo (línea verde oscura), tercer cuartil (línea verde clara), primer cuartil (línea amarilla) y mínimo (línea naranja)

Resultados

En la figura 1 se muestra, a modo de ejemplo, el ajuste del modelo Ho - Do seleccionado para *P. uncinata* (para el resto de las especies, ver AGUIRRE *et al.*, 2022).

Seleccionadas las curvas Ho - Do para cada especie, las técnicas geoestadísticas empleadas muestran que la variable más importante para predecir el *índice de forma* es la altitud, generalmente indicando un mayor *índice de forma* a menor altitud. La pendiente y la orientación resultaron tener un papel secundario, mientras que la aridez fue una variable poco relacionada con el *índice de forma*. Entre las características del suelo, el pH resultó tener más importancia que el nitrógeno, indicando casi siempre un menor *índice de forma* en localizaciones con pH bajo. Además, las coordenadas sólo mejoraron las predicciones para 4 de las 24 especies.

Los resultados muestran, para todas las especies, un sesgo menor del 10 %, siendo los máximos errores los de *Q. petraea*, con un 7,50 %, y *C. sativa*, con 6,75 %. Sin embargo, la mayor parte de las especies presentan un sesgo menor del 5 %, como *A. alba* o *E. globulus*, con un 1,03 % y 1,82 % respectivamente.

Los mapas de índice de forma desarrollados para cada especie se pueden consultar en el visor alojado en la URL <https://gis.inia.es/cef/> (ver QR), a la que se enlaza también desde



Acceso al visor cartográfico de calidad de estación de las principales especies forestales en España

la página web del INIA (<https://www.inia.es/serviciosyrecursos/recursosdocumentales>) En este visor, los mapas desarrollados se encuentran agrupados por su pertenencia al grupo de coníferas o frondosas, 10 y 14 especies respectivamente, clasificándose la calidad de estación entre alta (A) y baja (D). Por defecto, todas las especies están desactivadas, y, al seleccionar una especie, el usuario puede visualizar el mapa completo (figura 2) o desplazarse a una zona de interés.

Además, el visor cuenta con una capa base topográfica cacheada y proporcionada por ESRI en su Living Atlas, que permite navegar ágilmente identificando las toponimias. También el visor dispone de la capa correspondiente a la última actualización del MFE disponible (Foto Fija 2015, MITECO, 2015), que combina el MFE escala 1:50.000 con el MFE 1:25.000 de las provincias en que se ha llevado a cabo (en este caso, la superficie mínima de la tesela en la superficie forestal es de 1ha), mostrando las teselas clasificadas según su uso del suelo (arbolado, arbolado ralo, arbolado disperso, agrícola, desarbolado, artificial o agua) (figura 3). Debido al gran volumen de información y detalle del MFE, la capa sólo es visible a partir de la escala 1:320.000, por lo que para visualizarla se debe hacer zoom a una zona de interés. Esta Foto Fija (2015) utilizada en el visor, será reemplazada cuando se publique su actualización (Foto Fija 2018). Entre la información obtenida del MFE, se encuentra la identificación de las tres especies principales presentes en cada tesela, junto a su grado de ocupación y su estado de desarrollo. Esta información se puede consultar de dos maneras: abriendo la tabla de atributos en las

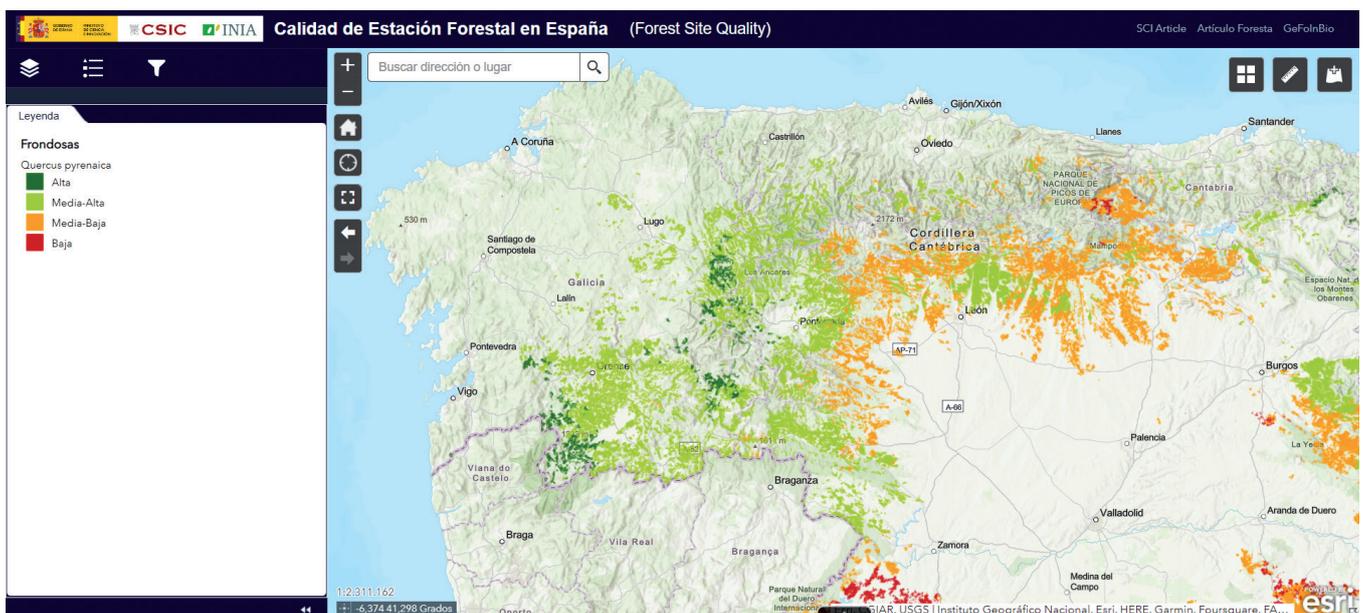


Figura 2. Visualización a través del Visor de la calidad de estación para *Q. pyrenaica* en el centro norte de la península

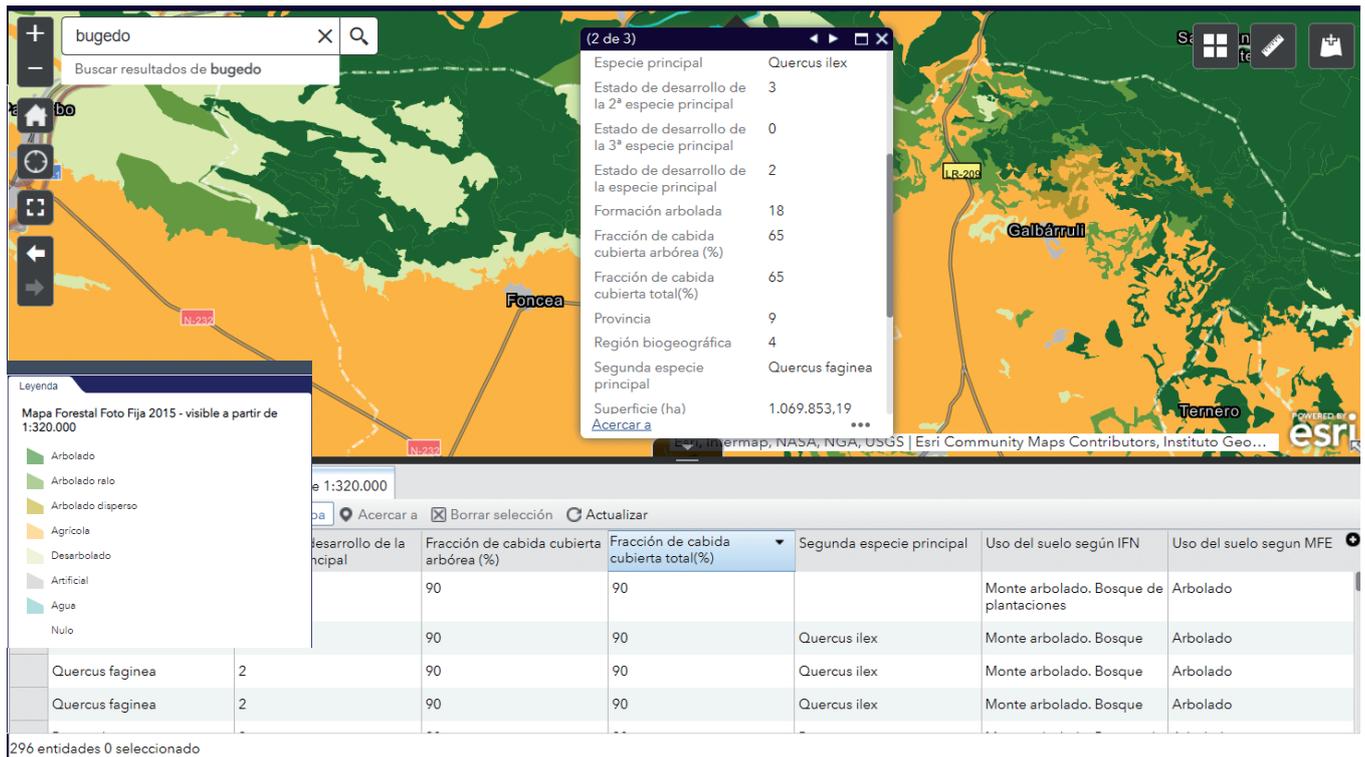


Figura 3. Visualización de la información y atributos disponible del Mapa Forestal Español (MFE) a la que se puede acceder a través del Visor, tanto en ventana emergente como en la tabla de atributos

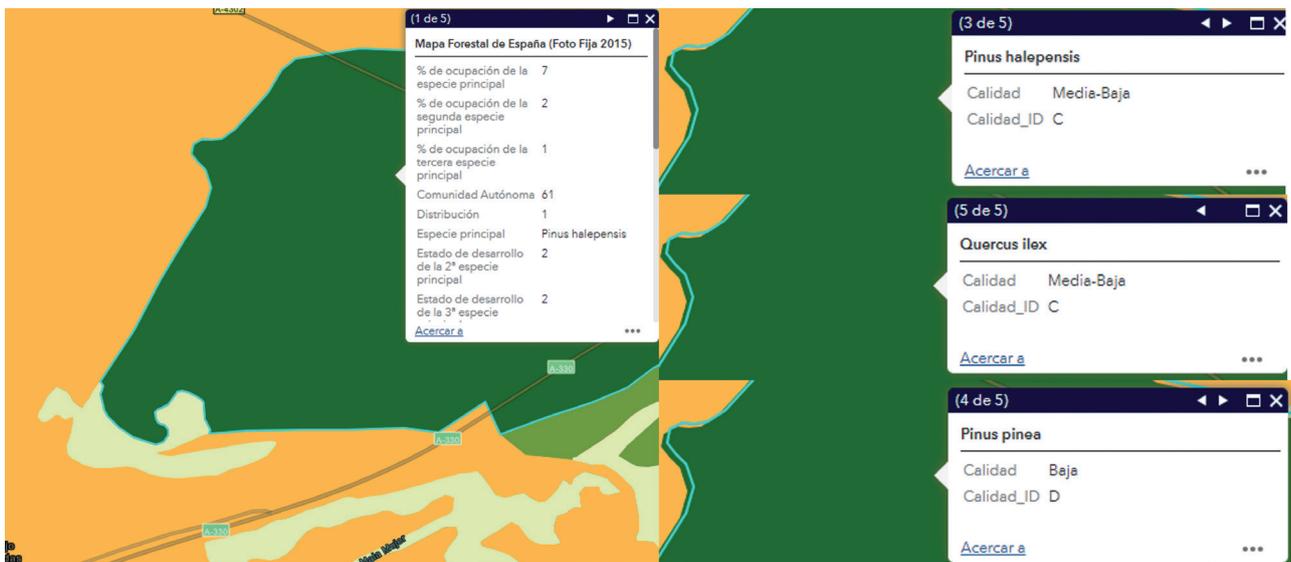


Figura 4. Visualización de la información de todas las capas activas en la tesela seleccionada. En la imagen se muestra la tesela del MFE en Baños de Fuencaiente (Huéscar, Granada), en la que hay presencia de tres especies: *Pinus halepensis* (70 % de ocupación, calidad de estación C), *Pinus pinea* (20 % de ocupación, calidad de estación D) y *Quercus ilex* (10 % de ocupación, calidad de estación C)

opciones desplegadas a la derecha de cada capa en el panel de capas; o bien, en la ventana emergente que aparece al seleccionar una tesela (figura 3). Además, para facilitar la navegación y análisis correspondiente al MFE, cuando son de interés una o varias especies, se dispone de un filtro de búsqueda y consulta con diferentes criterios, en el que se pueden seleccionar la/s especie/s de interés y/o la fracción de cabida cubierta.

El ajuste del nivel de transparencia del MFE permite visualizar varias capas de manera simultánea. Además, mediante la selección del punto de interés se puede obtener toda la información de dicho punto relativa a las capas activadas (figura 4). También, es posible hacer un desplazamiento panorámico, agregar un marcador o visualizar la información desde la tabla de atributos.

Conclusiones

El *Índice de forma* permite estimar la calidad de estación de aquellas masas de las que no se conoce la edad, mientras que la técnica geoestadística *KU* permite predecir el *Índice de forma* en aquellas teselas del MFE en las que la especie esté presente. Esta metodología ha permitido la elaboración de mapas de calidad de estación a escala nacional, para 24 especies arbóreas principales, que se pueden consultar de manera rápida y sencilla mediante el visor presentado en este trabajo.

Las utilidades de este visor son múltiples. Por un lado, facilita la toma de decisiones (por ejemplo, en la elección de especie o en el desarrollo de tratamientos selvícolas), siendo una herramienta fundamental tanto para gestores como para investigadores al permitir la estimación de la calidad de estación en aquellos lugares donde una especie está presente. Además, estos mapas pueden considerarse instrumentos para estimar la calidad de estación en masas mixtas, aunque es necesario considerar que diferentes composiciones de especies podrían derivar en diferentes situaciones de crecimiento (competencia o facilitación) (RODRÍGUEZ DE PRADO *et al.*, 2022).

Los visores web de cartografía son potentes herramientas de transferencia que facilitan difundir, compartir y hacer accesible la información. El visor desarrollado en este trabajo proporciona, a los usuarios y gestores, información de la calidad de estación de las principales especies forestales en España. Esta información es fundamental a la hora de planificar la silvicultura, así como en la toma de decisiones, como la elección de especies para nuevas plantaciones o para proponer un cambio de especie en plantaciones existentes.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado por: Encomienda de gestión EG17-042 "Soporte científico a la generación de información Forestal", del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; PID2020-119204RB-C21 y PID2019-110273RB-I00 financiados por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Investigación 2017-2020; Moreno-Fernández es beneficiario de un contrato postdoctoral Juan de la Cierva Formación (FJC2018-037870-I) del Ministerio de Ciencia e Innovación. 

Bibliografía

- ADAME, P.; CAÑELLAS, I.; ROIG, S.; DEL RÍO, M.; 2006. Modelling dominant height growth and site index curves for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Annals of Forest Science*, 63 (8): 929-940.
- AGUIRRE, A.; MORENO-FERNÁNDEZ, D.; ALBERDI, I.; HERNÁNDEZ, L.; ADAME, P.; CAÑELLAS, I.; MONTES, F.; 2022. Mapping forest site quality at national level. *Forest Ecology and Management*, 508, 120043.
- ALBERDI, I.; VALLEJO, R.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; CONDÉS, S.; GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; GUERRERO, S.; HERNÁNDEZ, L.; MARTÍNEZ-JAUREGUI, M.; MONTES, F.; OLIVEIRA, N.; PASALODOS-TATO, M.; ROBLA, E.; RUIZ-GONZÁLEZ, A. D.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; SANDOVAL, V.; SAN MIGUEL, A.; SIXTO, H.; CAÑELLAS, I.; 2017. The multi-objective Spanish National Forest Inventory. *Forest systems*, 26 (2): 14.
- ASSMANN, E.; 1970. *The Principles of Yield Study. Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands*. Oxford Pergamon Press.
- BONTEMPS, J. D.; BOURIAUD, O.; 2014. Predictive approaches to forest site productivity: recent trends, challenges and future perspectives. *Forestry*, 87 (1): 109-128.
- DE MARTONNE, E.; 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 3 (9): 3-5
- ESRI. 2022. <https://www.esri.es>.
- MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica. 2015. <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/default.aspx>.
- MOLINA-VALERO, J. A.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; CASTEDO-DORADO, F.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2019. Assessing site form as an indicator of site quality in even-aged *Pinus radiata* D. Don stands in north-western Spain. *Annals of Forest Science*, 76: 1-10.
- MONTES, F.; HERNÁNDEZ, M. J.; CAÑELLAS, I.; 2005. A geostatistical approach to cork production sampling estimation in *Quercus suber* forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (12): 2787-2796.
- MONTES, F.; LEDO, A.; 2010. Incorporating environmental and geographical information in forest data analysis: a new fitting approach for universal kriging. *Canadian Journal of Forest Research*, 40 (9): 1852-1861.
- MORENO-FERNÁNDEZ, D.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; PASALODOS-TATO, M.; CAÑELLAS, I.; MONTES, F.; DÍAZ-VARELA, E.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CRECENTE-CAMPO, F.; ÁLVAREZ-LAVAREZ, P.; BARRIO-ANTA, M.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2018a. National-scale assessment of forest site productivity in Spain. *Forest Ecology and Management*, 417: 197-207.
- MORENO FERNÁNDEZ, D.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J. G.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; CAÑELLAS, I.; MONTES, F.; PÉREZ CRUZADO, C.; 2018b. Mapas nacionales de calidad de estación para *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Fagus sylvatica* y *Quercus pyrenaica*. *Foresta*, 71: 50-57.
- PRETZSCH, H.; GROTE, R.; REINEKING, B.; ROTZER, T. H.; SEIFERT, S. T.; 2008. Models for forest ecosystem management: a European perspective. *Annals of botany*, 101 (8): 1065-1087.
- RODRÍGUEZ DE PRADO, D.; RIOFRÍO, J.; ALDEA, J.; MCDERMOTT, J.; BRAVO, F.; HERRERO DE AZA, C.; 2022. Species Mixing Proportion and Aridity Influence in the Height-Diameter Relationship for Different Species Mixtures in Mediterranean Forests. *Forests*, 13: 119.
- SECF, S. E. D. C. F.; 2005. *Diccionario forestal, Sociedad Española de Ciencias Forestales. Mundi-Prensa, Madrid*.