



Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 49(1): 73-86 (2023)

Doi: <https://doi.org/10.31167/csecfv5i49.19933>

Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales

Acceso abierto disponible en <http://seeforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index>

Premio Universitario de la SECF al Proyecto o Trabajo Fin de Carrera o de Grado

**Tecnologías cartográficas para la detección
y monitorización de la especie *Acacia dealbata*
en el municipio de Ribadavia (Ourense)**

**Cartographic technologies for the detection
and monitoring of *Acacia dealbata*
in the municipality of Ribadavia (Ourense)**

Elena Álvarez Antelo* y Julia Armesto González

Universidad de Vigo. A Xunqueira, s/n, 36005 Pontevedra

* Autora de correspondencia: elenaruscus@gmail.com

Resumen

En este trabajo se estudia la caracterización fenológica de la especie exótica invasora (EEI) *Acacia dealbata* Link y su grado de invasión progresiva mediante un análisis temporal. Se establece una metodología empleando las siguientes herramientas: imágenes satelitales multiespectrales de fuentes cartográficas gratuitas y software basado en Sistemas de Información Geográfica.

Se ha conseguido desarrollar una secuencia de procesos para la detección y monitorización de la especie objeto de estudio que resulta eficaz a nivel municipio, y se considera de interés su aplicación en otras áreas de problemática semejante a la de Ribadavia para validar su efectividad.

Esta metodología pretende ser un avance para el planteamiento de posibles vías de mitigación, control y prevención de la especie *Acacia dealbata* Link.

Palabras clave: *clasificación supervisada, especie exótica invasora, fuentes cartográficas gratuitas, teledetección.*

Abstract

The study to obtain an accurate mapping of the invasive alien species *Acacia dealbata* Link. has made use of free sources of geospatial information (multispectral satellite images) to test its accuracy in the application of the supervised classification of vegetation cover.

It has been possible to develop an optimal methodology for the detection and monitoring of the species under study that is effective at the municipal level, and it is considered of interest to apply it in other areas with similar problems to Ribadavia in order to validate its efficiency.

This methodology is intended to be a step forward for the approach of possible ways of mitigation, control and prevention of the species *Acacia dealbata* Link.

Palabras clave: *invasive alien species, free geospatial data, remote sensing, supervised classification.*

1. Introducción

Las especies exóticas invasoras (EEI en adelante), se caracterizan de forma generalizada por poseer gran adaptabilidad al nuevo medio, por su eficacia competitiva sobre otras especies y la alteración de factores ambientales en su propio beneficio, lo cual hace que la estructura funcional de los ecosistemas se vea seriamente perjudicada a nivel ecológico, económico y social.

Las medidas y planes estructurales de mitigación frente a la Crisis Climática ponen de manifiesto la importancia de la gestión activa de las EEI y, como factor determinante en su control, su detección temprana y geolocalización. En el “Plan Estratégico Galego de xestión das EEI” se subraya la problemática de falta de información precisa sobre su distribución, ya que la mayor parte de la documentación geográfica se representa en mallas de 10 x 10 km, hecho que dificulta el desarrollo de planes para su manejo. La resolución espacial de las imágenes ráster del Sentinel 2A y 2B se componen de píxeles de 10 x 10 m, por lo que generar datos de presencia de EEI mediante Sentinel resulta en un aumento de precisión espacial en comparación con los puestos a disposición por medios oficiales.

Mediante el presente trabajo, se pretende validar la eficacia de las fuentes cartográficas gratuitas a la hora de generar metodologías de identificación y geolocalización de especies concretas dentro de una cubierta vegetal mixta.

Objetivo general:

1. Valoración de las fuentes cartográficas gratuitas
2. Definición de procesos automatizados y replicables para la detección de la especie *Acacia dealbata* Link.

Objetivos específicos:

1. Trabajo en campo.
2. Análisis, identificación y selección de los datos de entrada óptimos.
3. Identificación de las herramientas y procesos adecuados para el tratamiento de los datos de entrada.
4. Procesamiento de las imágenes multiespectrales y obtención de productos cartográficos.
5. Análisis temporal para la evaluación de la modificación (incremento y/o disminución) de la superficie de las masas.
6. Análisis de los posibles factores que determinen la colonización de la especie en el territorio estudiado.

2. Material y métodos

2.1. La especie *Acacia dealbata* y su presencia en Ribadavia (Ourense)

La *Acacia dealbata* Link, (mimosa; “silver wattle”), es una de las muchas especies catalogadas como EEI incluida en el “Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras”. Se trata de una planta vascular de la familia de la *Fabaceae*, originaria del sudeste australiano, desde Nueva Gales del Sur hasta Victoria, y de Tasmania (MITECO, 2013). En su hábitat de origen alcanza un gran porte, de hasta 30 m, pero en Galicia es más común encontrarla como formaciones arbustivas y una altura de 6 a 15 m (López González, 2014). Los bosques de acacia en Australia, con una superficie de 10, 8 Mha y que agrupan alrededor de 1.000 especies del género, son el tipo de ecosistema forestal más común en el país después del bosque de eucalipto (ABARES, 2021).

Como rasgo identificativo a tener en cuenta a la hora de facilitar su clasificación supervisada, destaca su época de floración, que se registra en el hemisferio norte en los meses de enero a marzo, una fenología poco común comparada con la de las especies de frondosas autóctonas (Regiosa & Carballeira, 2016).

Los primeros registros encontrados de la introducción de la especie *Acacia dealbata* en Europa se remontan al año 1800, el interés en el cultivo de la mimosa residía sobre todo en su alto valor ornamental por sus inflorescencias densas y de vivo color amarillo (Sheppard, Shaw, & Sforza, 2006). Según la publicación “Plantas Invasoras de Galicia”, las primeras citas de la especie naturalizada en la Comunidad Autónoma de Galicia datan de 1945 (Xunta de Galicia, 2007).

La presencia y expansión de la acacia es generalizada en todo el territorio gallego, pero destaca por su virulencia en la “Comarca do Ribeiro”, donde la intensa actividad vitivinícola favoreció el cultivo de la especie, de la que se obtenían varillas que eran utilizadas como guía para las vides (Lorenzo, González, & Regiosa, 2009). Cuando las masas cultivadas de acacia fueron abandonadas al producirse las migraciones masivas a Hispanoamérica en los años 50, y a diversos países de Europa en los 60 y 70, todos los campos de cultivo adyacentes a las parcelas donde se plantaba la mimosa fueron rápidamente colonizadas por esta EEI.

La zona objeto de estudio es el municipio gallego de Ribadavia, ubicado en el suroeste de la provincia de Ourense. Según el Mapa Forestal Español de máxima actualidad MFE25 (del año 2011 para Galicia) (MITECO, 2021), en Ribadavia, la *Acacia dealbata* ocuparía una extensión de 6,5 km², siendo la segunda en superficie seguida del *Pinus pinaster*.

2.2. Sistemas de Información Geográfica y fuentes cartográficas gratuitas

El desarrollo de la cartografía precisó de dos tipos de fuentes de datos geoespaciales gratuitos. Por un lado, se hizo uso de las imágenes satelitales multiespectrales obtenidas del Sentinel 2A y 2B (bandas 2-3-4 y 8, con una resolución espacial de 10 m) del Programa Copernicus, fruto de la asociación entre la UE, la ESA (*Eu-*

ropean Space Agency) y los Estados Miembros (Copernicus, 2020). Con los datos obtenidos de su análisis se realizó una depuración con LiDAR, nube de puntos en formato ráster, del Proyecto PNOA-LiDAR, programa colaborativo entre varias entidades gubernamentales españolas y de las Comunidades Autónomas (Ministerio de Fomento, 2021).

Para cada tipo de dato de partida se requiere de diferentes *softwares* de análisis y procesamiento específicos, de forma que las imágenes satelitales del Sentinel 2A y 2B, fueron procesadas con el programa de escritorio ArcMap y QuantumGis (GIS). Para los datos LiDAR se hizo uso del software LASTask Tools y FUSION/LDV.

3. Resultados

La premisa establecida parte de que las masas de *Acacia dealbata* se identifican con mayor precisión durante los meses de floración, tanto por la tonalidad característica de sus inflorescencias, como por el hecho de que las especies de frondosas autóctonas se encuentran sin dosel foliar desarrollado durante los meses de enero, febrero y marzo. Esta conjetura se basa en que, para el análisis estacional de una determinada especie vegetal, se debe realizar el estudio sobre imágenes que sean captadas en momentos clave de su ciclo fenológico (Chuvieco, 2002). Por todo ello, los datos de partida fueron tomados durante el período de floración de la acacia.

El tipo de clasificación para las imágenes satelitales empleado fue la Clasificación supervisada “*Maximun Likelihood Classification*” o clasificador de máxima probabilidad, este clasificador es el más empleado en teledetección por su robustez y ajuste riguroso (Chuvieco, 2002). Se realizó una fase previa de entrenamiento en la cual se seleccionaron un total de 9 clases temáticas a las cuales se asignó un valor numérico que corresponde a su clase espectral:

- 1-Acacia dealbata.
- 2-Coníferas.
- 3-Frondosas.
- 4-Viñedos.
- 5-Cultivos y pastizales.
- 6-Matorrales.
- 7-Suelo desnudo.
- 8-Antrópico.
- 9-Masas de Agua

Y se generaron las áreas de entrenamiento seleccionando píxeles homogéneos y evitando los efectos de borde. Para este estudio, no fue necesario el incluir la clase eucalipto, ya que es una especie de presencia mínima en el municipio de Ribadavia (3 ha según el MFE25). La superficie total que abarcaron las áreas de entrenamiento ascendió a 14.699 píxeles de 10 x 10 m, un 5,86 % de la superficie del municipio.

Para la validación de la clasificación se computó una matriz de confusión, que crea una tabla que recoge los conflictos que se producen entre las categorías de la

clasificación. La diagonal de la matriz expresa el número de puntos de verificación donde se produce una correcta concordancia entre valores clasificados y valores de referencia, mientras que los valores fuera de la diagonal muestran los errores de asignación (Chuvieco, 2002). Esta metodología arrojó unos resultados aceptables para la mimosa de una precisión global de 85%, 83% y 88% para los meses de enero, febrero y marzo respectivamente en la matriz de confusión. Se comprobó, sin embargo, que existía una fuente de error con los píxeles de cultivos y viñedos, por lo que se resolvió depurar las imágenes Sentinel con datos LiDAR.

Los datos para el estudio de la depuración se obtuvieron del proyecto LiDAR del Plan de Ortofotografía Aérea Nacional, procesados con el software FUSION. El producto final del tratamiento de puntos es un Modelo Digital de Elevaciones (MDV o MDE) que fue vectorizado y utilizado como capa de máscara vectorial con la que se eliminaron aquellos píxeles fuente de error. Una vez eliminados, se clasificó de nuevo las imágenes con el método anteriormente citado. De esta forma, se obtuvo un incremento de la precisión global de mínimo un 5% para cada mes.

La metodología desarrollada se traduce en resultados que cumplen el valor mínimo aceptable de precisión para cada clase (90 % (Story & Congalton, 1986)) e, igualmente, el valor mínimo aceptable de precisión global (85 % (Scepan, 1999)), de forma que la cartografía generada resulta óptima para la geolocalización de la especie *Acacia dealbata* a nivel municipal.

Tabla 1. Resumen anual de “exactitud del productor & usuario”.

Clases	Producer’s accuracy (%)					Users’s accuracy (%)				
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
<i>A. dealbata</i>	100 %	99 %	99 %	100 %	100 %	93 %	94 %	94 %	94 %	95 %
Coníferas	97 %	91 %	94 %	93 %	93 %	94 %	94 %	94 %	96 %	97 %
Fronosas	89 %	91 %	88 %	91 %	90 %	96 %	94 %	93 %	96 %	94 %
Antrópico	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	95 %	89 %	91 %	88 %	90 %

Tras la depuración de la clasificación combinando los datos Sentinel con LiDAR, se eliminaron las clases fuentes de error (clases: 4-Viñedos, 5-Cultivos y pastizales, 6-Matorrales). Las estadísticas ráster para las alturas de la acacia determinaron que la mejor opción pasaba por la eliminación de los puntos LiDAR con alturas inferiores a 3 m. Como resultado, además de las clases fuente de error, también se discriminaron las masas de agua, el suelo desnudo y algunas edificaciones.

Tabla 2. Resumen anual de “exactitud global”.

Global accuracy	Año				
	2017	2018	2019	2020	2021
	95 %	94 %	94 %	95 %	95 %

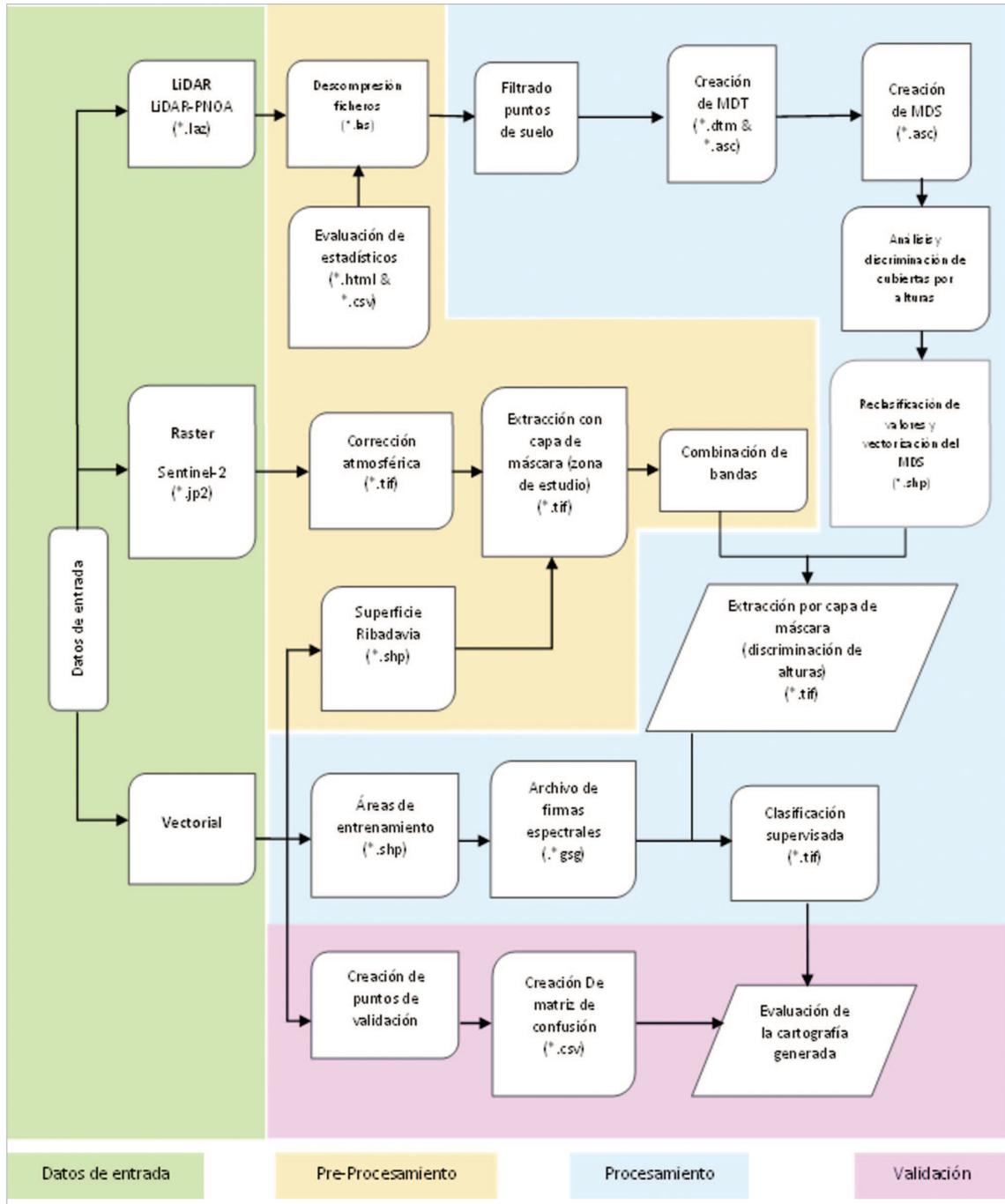


Figura 1. Se muestra el flujo de procesos esquematizado para generar la cartografía de presencia y evolución de la especie. A través de este esquema, queda fijada la metodología del trabajo, alcanzado uno de los objetivos principales.

4. Discusión

El producto cartográfico final muestra que la especie tiene una preferencia en Ribadavia por altitudes menores a 350 m.s.n.m.a., y las masas tienden a agruparse en zonas ripícolas, vías de redes de transporte (carreteras y vías ferroviarias), líneas de media y alta tensión, cortafuegos y zonas de la interfaz urbano forestal.

Los archivos finales se superpusieron y contrastaron con:

1. Zonas quemadas durante la oleada de incendios que se produjo en Galicia en octubre del año 2017: se analizó si los incendios del año 2017 que asolaron la Comunidad Autónoma afectaron a la dispersión de la *Acacia dealbata*, ya que las zonas quemadas son nichos potenciales de presencia de la especie, por abrir espacios sin vegetación que son rápidamente colonizados por la acacia. Se realizó la combinación de bandas 12-8A-4, es decir SWIR-NIR-Rojo. Esta combinación caracteriza a la vegetación sana, que se muestra en colores verdes intensos y aquellas zonas afectadas por incendio se representan con colores pardos. Este análisis se aplica sobre el año 2017 (febrero) y el 2018 (febrero). La oleada de incendios comenzó el viernes 13 de octubre, por lo que la imagen del 2017 debe mostrar una vegetación sana y la del 2018 las secuelas del incendio. Se observa que el municipio no se vio excesivamente afectado, salvo en una pequeña extensión al noroeste, sin embargo, esta perturbación no supuso un gran cambio en la distribución de la acacia.
2. Cartografía de las “Comunidades de Montes Veciñais en Man Común” de Ribadavia: una comparativa interesante para comprobar si, en este caso, la gestión activa de los montes está directamente relacionada con la expansión de la *Acacia dealbata*, es la superposición de la cartografía relativa a la superficie de las Comunidades de Montes de Ribadavia con la clasificación realizada. Según el artículo 77 de la Ley 7/2012, de 28 de junio, de montes de Galicia, todos los montes vecinales en mano común, deberán dotarse de un instrumento de gestión forestal. Esto resulta, *a priori*, una garantía de gestión activa de los recursos forestales. La superficie delimitada de las Comunidades fue obtenida de la página de la “Oficina Virtual do Medio Rural”, para algunos de los casos la información no está actualizada y no resulta 100 % fiable, pero sirve para un primer análisis visual (Xunta de Galicia. Consellería do Medio Rural, 2021). Se comprueba que la superficie gestionada por las Comunidades de Montes la acacia tiene una presencia significativamente menor que en aquellas zonas de propiedad forestal particular individual.

Para la validación en campo, se contó con la ayuda del técnico del Distrito Forestal XI. O Ribeiro – Arenteiro. Se generó un track con GPS Garmin eTrex 30x y se superpusieron los archivos vectoriales del año 2021 con los puntos de presencia

de las masas de mayor tamaño tomadas in situ, siendo coincidentes en el 100% de los casos.

Algunas de las masas de acacia presentan núcleos de carácter permanente, mientras que, en las vías de tránsito o infraestructuras de prevención de incendios (cortafuegos y fajas de gestión de la biomasa vegetal), la superficie fluctúa según las acciones antrópicas ejecutadas. Las variaciones en la superficie de la especie están

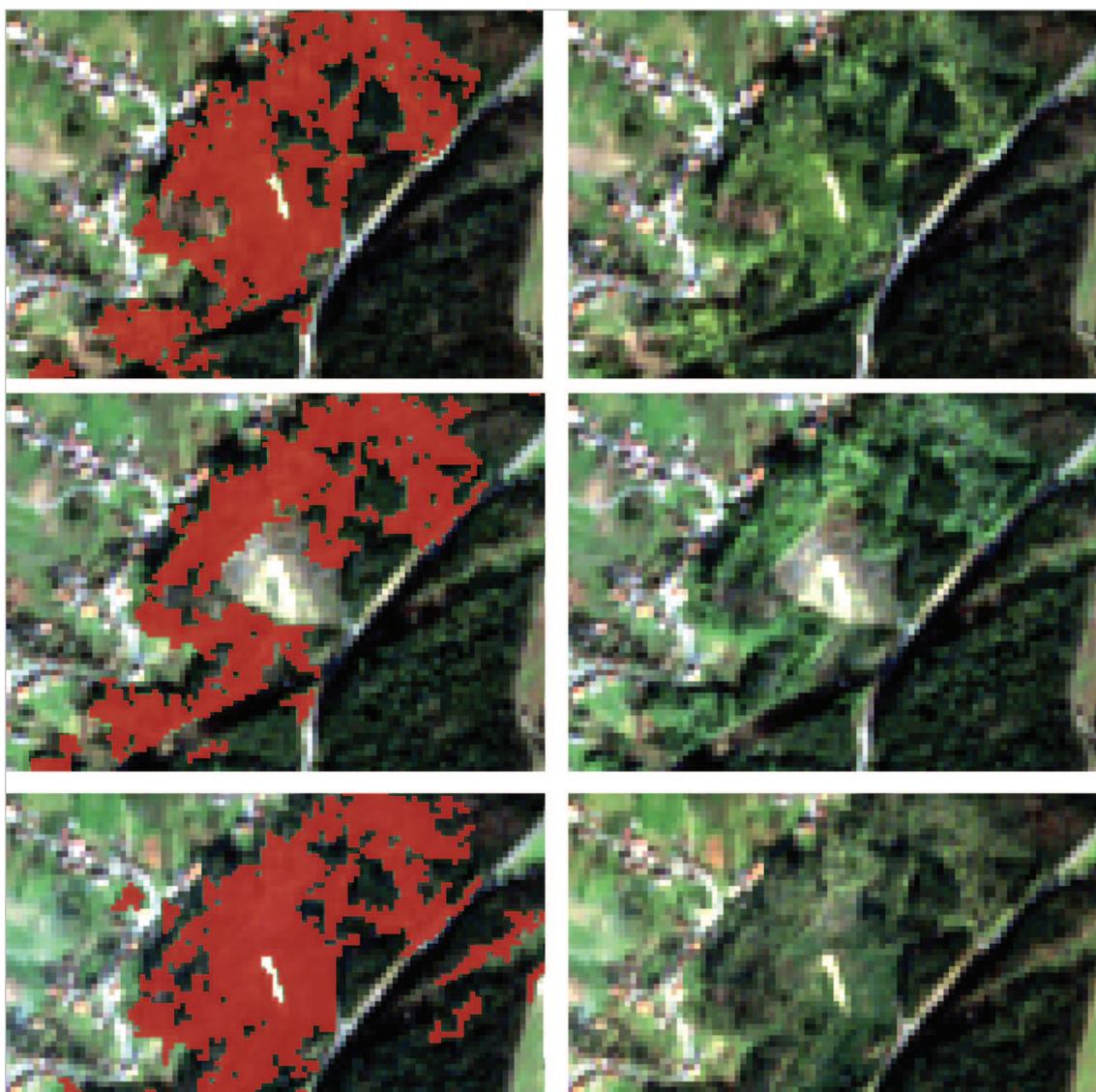


Figura 2. Evolución de la masa de *Acacia dealbata*.

La columna de imágenes a la izquierda muestra las fluctuaciones de la masa desde el año 2018 hasta el 2020. La columna de la derecha (mismo período temporal), composiciones RGB (4-3-2-) que muestran la acacia en una tonalidad diferenciable visualmente del resto del dosel.

Las imágenes referentes a esta corta realizada en el año 2019 muestran que la *Acacia* invade rápidamente el nuevo espacio abierto, bien por rebrote o bien por germinación; pero en un corto espacio de tiempo recobra la superficie original antes de su eliminación. Se infiere que el control mecánico de la especie no resulta eficaz a corto plazo.

muy ligadas a los cambios antrópicos, tales como las cortas de regeneración (a hecho) de plantaciones colindantes (*Pinus* spp.), que son rápidamente colonizadas por la acacia, o trabajos desbroces para mantenimientos de líneas de tensión e infraestructuras de prevención de incendios forestales.

Se comprobó que el MFE25 ofrece un inventario por exceso las masas de acacia, una ocupación de 650 ha. Si bien es cierto que las fechas difieren mucho, ya que el MFE25 para Galicia data del año 2011. Por otro lado, es importante recalcar, que tras analizar la cartografía del MFE25 no se encuentran datos de masas puras de acacia, esto es, según la codificación por especies, no existe en ningún caso coincidencia entre “especie1” IS ‘Acacia dealbata’ AND “especie2” IS ‘Acacia dealbata’ AND “especie3” IS ‘Acacia dealbata’. Sin embargo, en la cartografía para la especie generada, sí se aíslan las masas puras, por ello se considera que la superficie para cada año calculada es mucho más precisa.

Tabla 3. Datos de superficie e incremento/disminución de las masas de la Acacia dealbata para el periodo temporal analizado (2017-2021).

Año	Superficie (ha)	Incremento/Disminución de Sup. (%)
2017	186	-
2018	296	59%
2019	272	-8%
2020	344	26%
2021	320	-7%

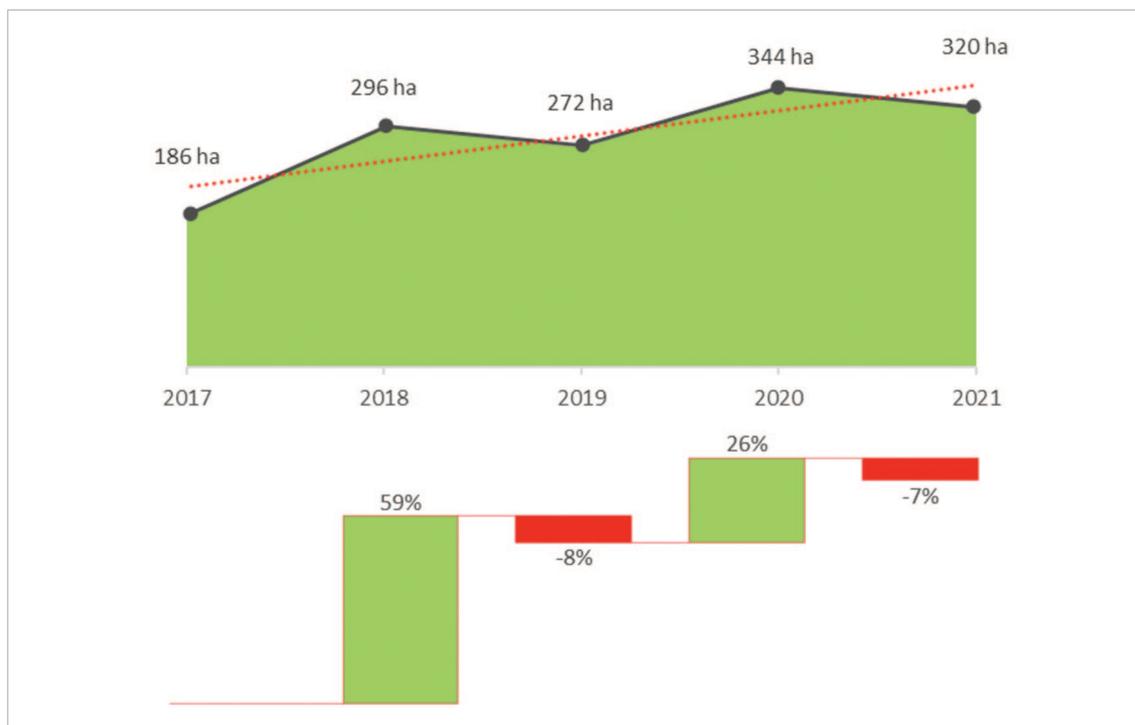


Figura 3. Gráficos de datos para la superficie y tendencia de evolución de la Acacia.

A pesar de la disminución de la superficie en los años 2019 y 2021, los datos siguen una tendencia lineal creciente, lo que concuerda con el carácter expansivo de la especie. Pero no se debe obviar que esta tendencia de aumento de superficie está muy ligada a los cambios antrópicos, por lo que pudiera producirse una abrupta disminución asociada a una corta masiva o a un incendio.

5. Conclusiones

La metodología desarrollada en el presente trabajo se traduce en un producto cartográfico cuya precisión es verificable. Tanto los archivos de entrada como el flujo de procesos han sido establecidos de forma que sean totalmente replicables para cualquier usuario con conocimientos básicos en SIG y teledetección. De esta forma, puede aplicarse esta metodología sobre cualquier otra zona de estudio con presencia de *Acacia dealbata* para su evaluación.

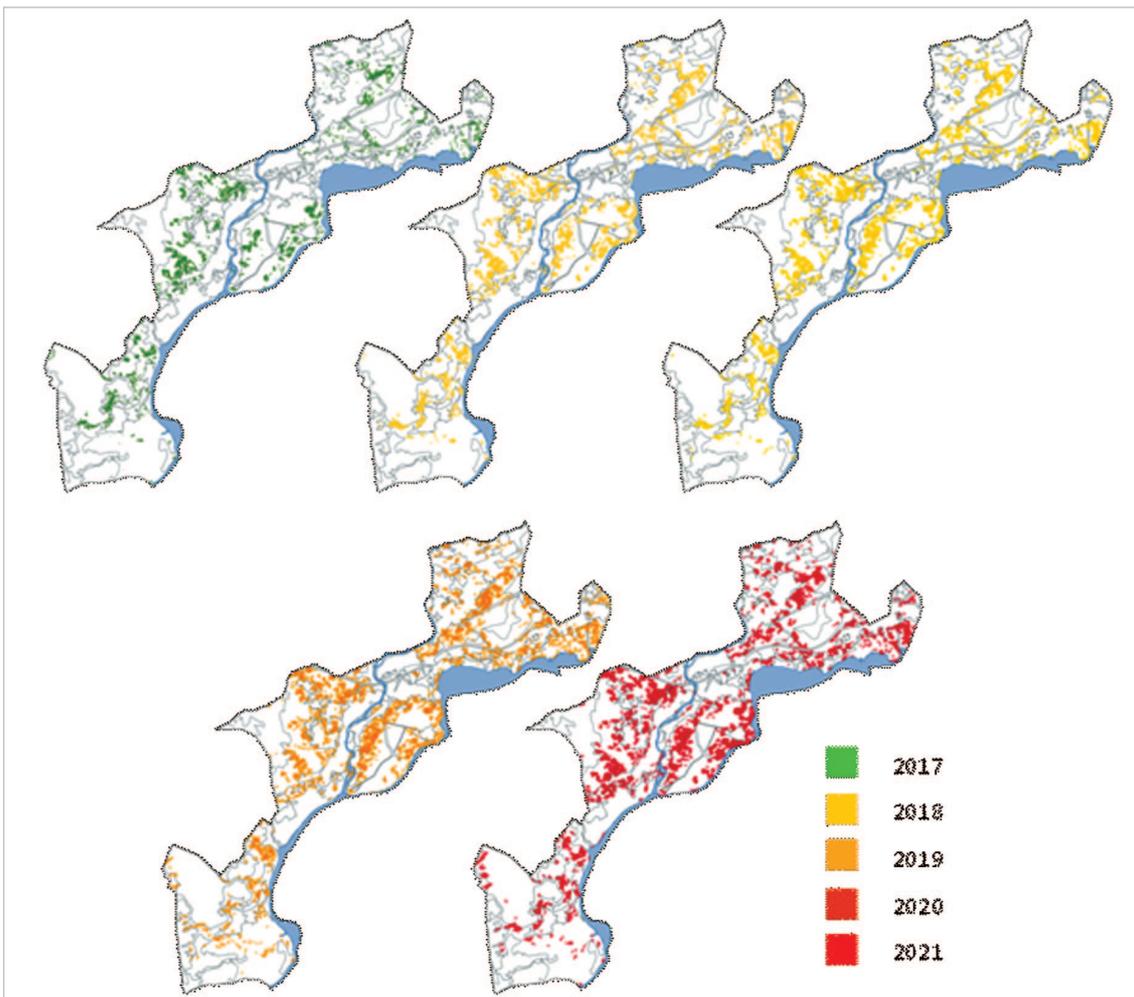


Figura 4. Producto cartográfico obtenido. Evolución de las masas de *Acacia dealbata* en el municipio de Ribadavia para el período temporal analizado (2017-2021).

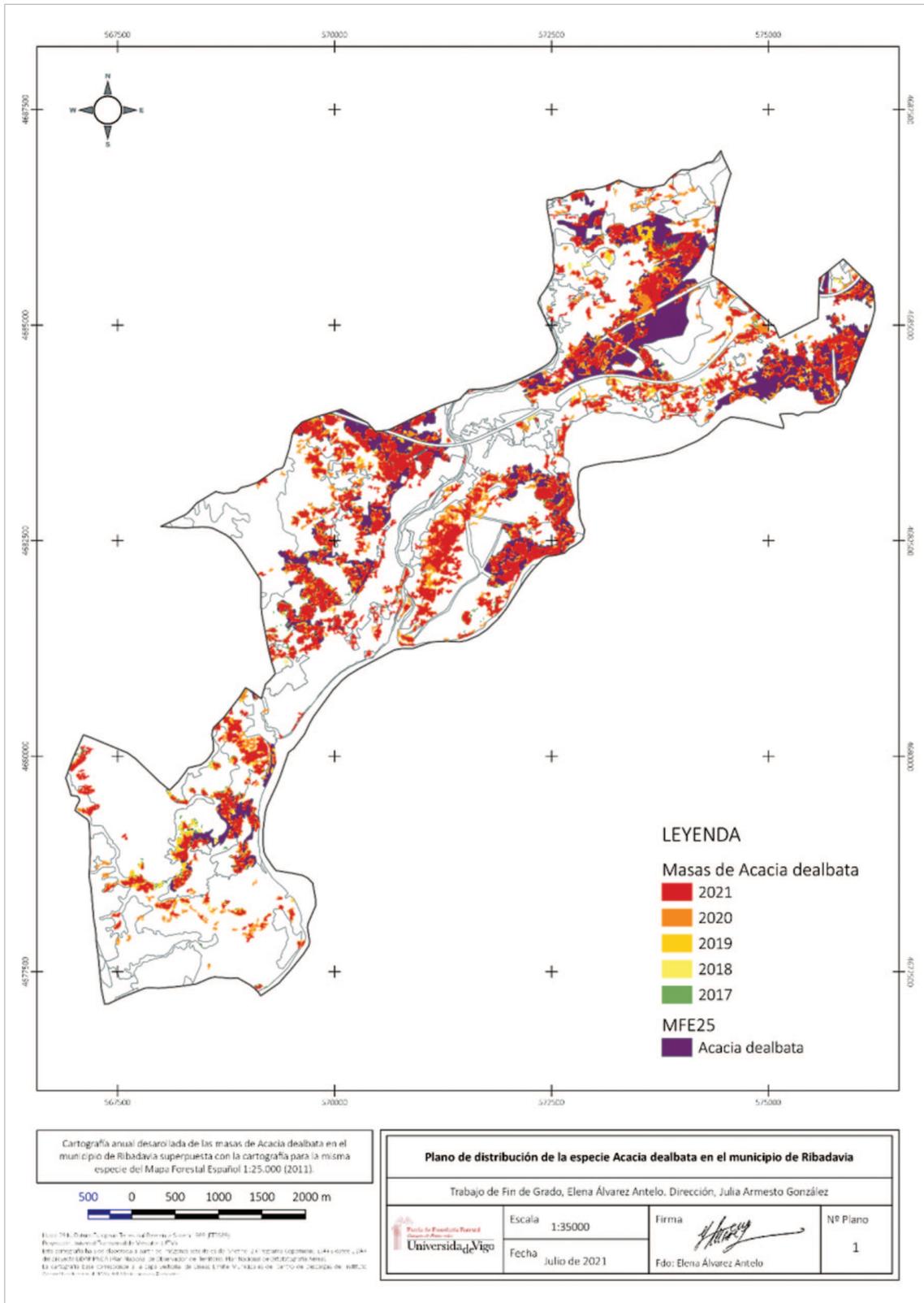


Figura 5. Ejemplo de producto cartográfico final. Superposición de las capas vectoriales de entidad tipo polígono para el período temporal analizado (2017-2021), sobre la cartografía del MFE25.

Se puede afirmar por consiguiente que, a la vista del trabajo realizado, las fuentes cartográficas oficiales gratuitas Sentinel-2 combinadas con LiDAR PNOA, son útiles para la detección de la especie analizada y el estudio de su distribución espacial a nivel municipio.

En general, las masas de acacia presentan núcleos establecidos con carácter permanente, si bien es cierto que su evolución en la zona de estudio sigue una tendencia lineal creciente. Se comprueba mediante la cartografía generada que los espacios abiertos resultantes de cortas de regeneración (a hecho), son rápidamente colonizados por la especie y que la disminución del área de las masas viene dada por acciones antrópicas.

6. Bibliografía

- ABARES. (2021). *Department of Agriculture Water and the Environment. Australian Government*. Obtenido de Acacia forest: <https://www.agriculture.gov.au/abares/forestsaustralia/profiles/acacia-2019>
- Chuvieco, E.; (2002). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel, S.A.
- Copernicus. (2020). *Copernicus. Europe's eyes on Earth*. Obtenido de Copernicus. Europe's eyes on Earth.
- López González, G.A.; (2014). *Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Lorenzo, P., González, L., & Regiosa, M. J. (2009). The genus *Acacia* as invader: the characteristic case of *Acacia dealbata* Link in Europe. Vigo, España: Departamento de Biología Vegetal e Ciencia do Solo, Facultade Biología, Universidade de Vigo. HYPERLINK "<https://doi.org/10.1051/forest/2009082>" <https://doi.org/10.1051/forest/2009082>
- Ministerio de Fomento. (2021). *Plan Nacional de Observación del Territorio*. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Obtenido de <https://pnoa.ign.es/presentacion-y-objetivo>
- MITECO. (2013). *Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras*.
- MITECO. (2021). *Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. Vicenpresidencia Cuarta del Gobierno. Gobierno de España*. Obtenido de MFE de máxima actualidad. Comunidad autónoma de Galicia: https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargar/gas/biodiversidad/mfe_galicia.aspxmiteco
- Regiosa, M. J., & Carballeira, A. (2016). Phenological phase influences allelopathic potential. *Journal of Allelochemical Interactions*, 9-15.
- Scepan, J. (1999). Thematic Validation of High-Resolution Global Land-Gover Data Sets. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*. N° 65., 1052 - 1060.
- Sheppard, A., Shaw, R., & Sforza, R. (2006). Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. HYPERLINK "<https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00497.x>" <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00497.x>
- Story, M., & Congalton, R. (1986). Accuracy Assessment: A User's Perspective. *Remote Sensing Brief*, N° 52, 397 - 399.
- Xunta de Galicia. (2007). *Plantas Invasoras de Galicia. Biología, distribución e método de control*.

