



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

---

Organiza



## Análisis comparado de métodos de cartografía forestal en áreas de minifundio a partir de teledetección satelital: Recuento de píxeles vs uso mayoritario en parcelas

ALONSO, L.<sup>1</sup>, RODRIGUEZ, A.<sup>1</sup>, PICOS, J.<sup>1</sup>, ARMESTO, J.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Vigo.

<sup>2</sup> CINTECX, grupo GEESMin (Gestión Segura y Sostenible de recursos Minerales).

### Resumen

Dados los avances tecnológicos en los sensores remotos y sistemas de análisis de datos, la teledetección está revolucionando la forma de monitorizar los recursos forestales. Múltiples metodologías para la obtención de mapas de recursos forestales a partir de teledetección han sido desarrolladas y demostrado ser eficaces. Sin embargo, el modo de empleo de estos mapas para reportar datos sobre la superficie ocupada por las distintas cubiertas forestales de un territorio no está consolidado. Es posible seguir diferentes aproximaciones, algunas basadas en el recuento de píxeles y otras basadas en datos de ocupación de estructuras vectoriales. Comportando cada una de ellas diferentes ventajas e inconvenientes. En este estudio se comparan las diferentes superficies derivadas de un mismo mapa Sentinel-2, según se calculen mediante el recuento de píxeles a 10 y 20 m, o mediante el estudio de la clase mayoritaria dentro de elementos poligonales permanentes en el territorio, concretamente las parcelas catastrales y los recintos SIGPAC. Se observó cómo los mapas asociados a píxeles, a pesar de poder contar con ruido, presentan mayor detalle acerca de la distribución espacial de los recursos en el territorio mientras que los mapas asociados a recintos tienen a generalizar esta información. Se observó además que la superficie reportada por cada uno de ellos varía significativamente. En concreto los mapas asociados a recintos acrecientan la superficie de las especies mayoritarias en una zona determinada y causan el efecto contrario sobre las minoritarias. Aún, así se observó cómo los mapas asociados a recintos simplifican la información, pudiendo ser esto útil para agilizar el tratamiento de datos y la toma de decisiones sobre la gestión del territorio. Además, se observó que las implicaciones de ambos mapas están relacionadas con la configuración del área de estudio, por lo que un estudio comparado similar al aquí presentado podría ser útil antes de definir el mapa final para un territorio o uso concreto.

### Palabras clave

Tratamiento de información cartográfica; teledetección; cartografía forestal; estimación de recurso forestal.

### 1. Introducción

Conocer la abundancia y distribución de los recursos forestales de un territorio es esencial para la toma de decisiones y la planificación y gestión de los mismos. La cartografía forestal actualizada puede aportar este tipo de información. En los últimos años la producción de cartografía temática ha experimentado una profunda revolución gracias a los avances tecnológicos en los sensores remotos y los sistemas de análisis de datos. Se han revelado especialmente útiles los productos satelitales multi-espectrales de libre acceso (WULDER et al., 2018); una de sus grandes fortalezas es su alta resolución temporal, ya que permiten obtener información actualizada del territorio y realizar un monitoreo continuado en el tiempo, y otra gran ventaja es que permiten monitorizar grandes superficies. La resolución espacial que ofrecen es además razonable. Ejemplos de productos de este tipo, de uso muy extendido, son las imágenes de los satélites Sentinel-2 y las imágenes de los satélites Landsat, que permiten generar cartografía a una resolución de entre 10 y 30 metros.

La literatura científica recoge multitud de ejemplos exitosos de metodologías para la obtención de mapas de recursos forestales a partir de imágenes satelitales de acceso abierto adaptadas a diferentes circunstancias (GIRI & LONG, 2014, INGLADA et al., 2017, GRIFFITHS et al., 2019). La mayoría de estas se basan en la clasificación supervisada de la imagen satelital mediante la cual cada uno de los pixeles de la imagen original se categoriza de acuerdo a unas clases temáticas prefijadas. De esta forma se obtiene como resultado un mapa raster con una resolución igual a la de la imagen de origen, es decir un mapa de recursos forestales basado en pixeles.

Un mapa basado en pixeles constituye una herramienta válida para conocer la distribución de los recursos, así como para reportar datos acerca de la superficie ocupada por las distintas cubiertas forestales. Sin embargo, otras aproximaciones sugieren la integración del mismo con productos previos de carácter vectorial que se correspondan con entidades de gestión, obteniendo como resultado un mapa al que llamaremos mapa asociado a recintos. Ambos presentan distintas ventajas e inconvenientes. Una de las mayores ventajas del mapa asociado a recintos es que la presencia del recurso está directamente asociada con su unidad de gestión. Esto podría facilitar la gestión de los recursos y la planificación del territorio (GONZÁLEZ-CARPIO & RODRÍGUEZ, 2017). Estos mapas permitirían homogeneizar las diferentes cartografías del territorio, ya que estas acostumbran a provenir de diferentes fuentes de datos con resoluciones muy distintas. De esta forma se convergería en un producto único que facilitaría la planificación y gestión del territorio. De hecho, este objetivo ya lo persiguen distintos órganos oficiales como por ejemplo el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE, 2014). Además, los mapas asociados a recintos pueden ser más adecuados para analizar los procesos de cambio del territorio ya que permiten estudiar el cambio en unidades relativamente permanentes del mismo y a una escala más aproximada a la que el cambio ocurre (SOHL et al., 2017). El inconveniente de un mapa asociado a recintos es que puede conllevar la generalización excesiva de la cartografía, dejando de contemplar detalles que pueden estar muy bien representados en el mapa basado en pixeles. Por su parte, el inconveniente de los mapas basados en pixeles, especialmente en aquellos sobre territorios con gran presencia de minifundismo, es que pueden generarse pixeles de ruido debido a la abundancia de pixeles afectados por efecto borde; estos pixeles tienen radiometrías heterogéneas debido a su coincidencia con en el borde de dos o más tipos de cobertura forestal. El ruido derivado del efecto de borde se eliminaría en un mapa asociado a recintos (KUSSUL et al., 2016). Debido a las diferencias de ambos mapas, a la hora de realizar recuento de superficies sobre los mismos, los resultados podrían presentar diferencias significativas.

En este trabajo se comparan las implicaciones de un mismo mapa Sentinel-2, según se utilice un mapa basado en pixeles o un mapa baso en recintos. En concreto se utilizarán dos tipos de recintos: las parcelas catastrales y los recintos SIGPAC. Estos últimos permitirían solventar potenciales problemas de excesiva generalización, manteniendo la capacidad de utilizar recintos oficialmente reconocidos y previamente descritos. Con ello se pretende optimizar la aplicación de la cartografía derivada de imágenes satelitales en la planificación y gestión forestal.

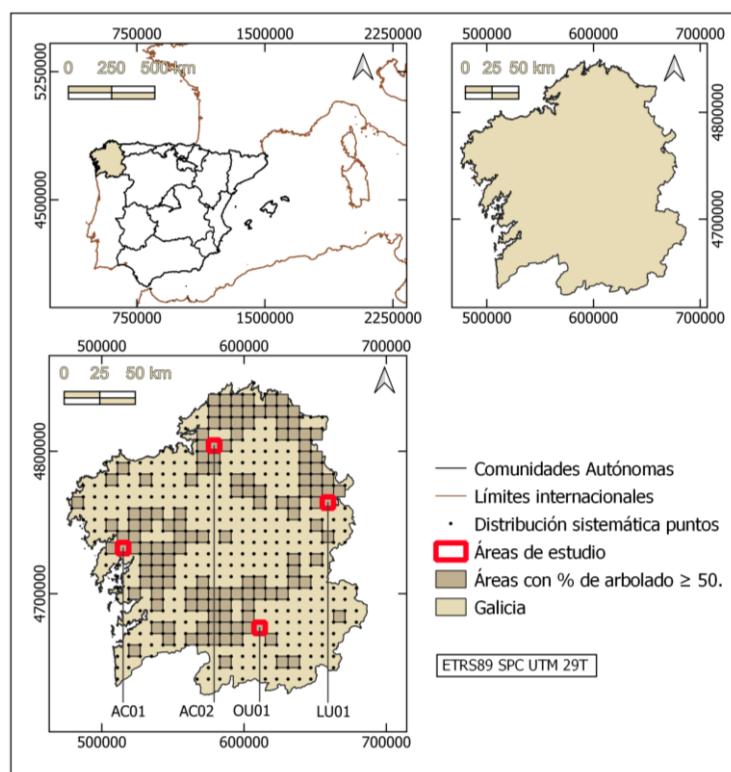
## 2. Objetivos

En este trabajo se comparan las implicaciones de un mismo mapa Sentinel-2, según se utilice un mapa basado en pixeles o un mapa baso en recintos, concretamente las parcelas catastrales y los recintos SIGPAC. Las parcelas catastrales se considerar por ser las unidades administrativas del territorio a las que suelen estar asociados numerosos trámites, inclusive aquellos de carácter forestal (DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO, 2021). Los recintos SIGPAC se consideran debido a que son una subdivisión oficialmente reconocida de las parcelas catastrales centrada en separar los diferentes usos del suelo que pueden existir dentro de una misma parcela catastral (LABERTI, 2010).

### 3. Metodología

#### 3.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en cuatro áreas forestales de la Comunidad Autónoma de Galicia con el fin de tener representadas las distintas realidades forestales del territorio gallego. Para seleccionar las áreas se diseñó una malla de 8x8 km. En cada celda de la malla, se calculó el porcentaje de arbolado a partir de la cartografía temática derivada de Sentinel-2 (descrita en la Sección de materiales). Se obtuvo la proporción de píxeles correspondientes a clases arboladas en relación a la superficie de la celda. Se seleccionaron las celdas con porcentaje de arbolado igual o superior al cincuenta por ciento. Dentro de esta selección, bajo criterio experto, se escogieron cuatro celdas que representaran la variabilidad de la vegetación y fragmentación de la propiedad en Galicia. Se muestra la ubicación de las cuatro áreas analizadas en la Figura 1.



#### 3.2. Materiales

- **Mapas Sentinel-2**

En este estudio se utilizaron dos mapas de usos del suelo de Galicia creados a partir de imágenes satelitales Sentinel-2: uno creado con resolución 10 m y otro creado con resolución 20 m. La leyenda de ambos mapas está orientada específicamente a la realidad forestal de Galicia. El detalle de la desagregación de leyenda de ambos mapas se muestra en la Tabla 1. Los mapas fueron creados según la metodología descrita por ALONSO et al. (2021). Esta se basa en la clasificación supervisada de todas las imágenes que comprenden una serie multi-temporal en la que están presentes los diferentes meses del año. Todos los mapas obtenidos tras esta clasificación

supervisada se agregan mediante criterios de decisión para obtener un mapa final con los usos del suelo para toda Galicia. Los mapas tienen unas precisiones generales del 87% en el caso del mapa de 10 m y 88% en el mapa de 20 m. Las precisiones de usuario y productor de ambos mapas en cuanto a las clases de arbolado están entre el 86% y el 96%. Los mapas se intersecan con las celdas del área de estudio para obtener los mapas temáticos a analizar.

Tabla 1. Descripción de la leyenda de los mapas Sentinel-2.

Clases	Descripción Clases Mapa Sentinel
<i>Eucalyptus</i> spp.	Engloba todas las especies del género <i>Eucalyptus</i> . Siendo las más abundantes <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Eucalyptus nitens</i> . Tanto en masas maduras como en masas jóvenes provenientes de repoblaciones o regeneración. Con fracciones de cabida cubierta del 100%.
Coníferas	Engloba al conjunto de coníferas en su totalidad, destacando por su amplia distribución las especies <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus radiata</i> y <i>Pinus sylvestris</i> . Esta incluye tanto masas maduras como masas jóvenes de repoblaciones o regeneración.
Frondosas	Todas las masas de frondosas, destacando las especies <i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Betula alba</i> y formaciones ripícolas. Tanto en masas maduras como masas jóvenes de repoblaciones o de regenerado. Con fracción de cabida cubierta del 100%.
Cultivos y prados	Engloba los terrenos dedicados a productos agroalimentarios, tanto para humanos como animales.
Matorral	Engloba matas y matorral, destacando los géneros <i>Ulex</i> y <i>Cytisus</i> y la familia de las ericáceas. Fracción de cabida cubierta del 100%.
Superficie no arbolada	Clase que engloba algunos tipos de matorral distintos a la clase matorral, y frondosas o arbustos de menos de 5m de altura.
Suelo desnudo	Roquedos y zonas naturales con escasa o nula vegetación.
Antrópico	Zonas con edificaciones y canteras a cielo abierto.
Agua	Acumulaciones notables de agua, tanto marítimas como continentales.

- **Parcelas catastrales**

La parcela catastral constituye un área de terreno que desde el punto de vista jurídico está sujeta a derechos de propiedad y es una titularidad única (REGLAMENTO (UE) N° 1089/2010). Desde el punto de vista administrativo son polígonos con cierta estabilidad en el tiempo. Constituyendo así una unidad de información de interés para la planificación forestal. La obtención de las parcelas catastrales se realizó en octubre de 2020. Con el software QGIS, versión Desktop 3.16 con GRASS 7.8.3, y empleando el plug-in Spanish Inspire Cadastral Downloader. Este plug-in accede al servicio de descarga ATOM que proporciona el Catastro de acuerdo a la directiva Inspire (DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO, 2020).

- **Recintos sigpac**

Los recintos SIGPAC constituyen subdivisiones de las parcelas; parten de una coherencia espacial a nivel de parcela y aumentan el nivel de detalle delineando nuevos recintos en función de los usos en la parcela (LABERTI, 2010). La cartografía SIGPAC fue diseñada específicamente para parcelas agrícolas, pero en ausencia de una cartografía específica para parcelas forestales puede ser de ayuda. Por una parte, tiene actualizada la información de las parcelas agrícolas y por otra traza las líneas que separan los terrenos agrícolas de los forestales. La obtención de los recintos de SIGPAC se

realizó en septiembre de 2021. Directamente del servicio de descarga ATOM que proporciona el Fondo Español de Garantía Agraria O.A. (FEGA, 2021).

### **3.3. Obtención de los mapas asociados a recintos**

Para elaborar los mapas asociados a recintos se realizó la intersección entre la cartografía vectorial de Catastro y SIGPAC con las cuatro celdas que componen el presente caso de estudio. Durante este paso algunas entidades Catastrales o de SIGPAC se ven duplicadas al fraccionar los polígonos para ajustarlos al área de la celda. En el presente estudio, estas fracciones de polígonos van a representar nuevas entidades.

Una vez obtenida la cartografía vectorial se procedió a la integración de la misma con el mapa Sentinel-2 a 10 m. El criterio de integración fue la asignación de la clase mayoritaria del mapa al polígono que delimita la parcela catastral o el recinto SIGPAC. Se siguió una metodología idéntica para ambas fuentes de datos. La selección de la clase mayoritaria se realizó mediante el algoritmo que implementa el módulo *Exactextractr* del lenguaje de programación R (BASTON, 2021). Este algoritmo realiza estadísticas zonales de los valores raster sobre objetos poligonales. Para ello ejecuta un cálculo basado en fracciones de cobertura de cada píxel. A la hora de asignar la clase mayoritaria, se selecciona la clase que más superficie aporta al polígono. Este algoritmo fue seleccionado sobre otros algoritmos implementados, por ejemplo, en ArcGIS, QGIS o en módulos de Python y R como rasterstats y raster, ya que estos otros tienden a sacrificar la precisión para obtener un mejor rendimiento de cómputo (BASTON, 2021). En parcelas catastrales muy grandes y de formas regulares, estas soluciones pueden tener una buena precisión, pero en parcelas pequeñas e irregulares como las que abundan en el territorio gallego no se ajustan plenamente.

### **3.4. Cálculo de superficies**

Una vez obtenidos los mapas basados en pixeles y los mapas asociados a recintos se procede a calcular la superficie ocupada por cada una de las clases arboladas (*Eucalyptus*, coníferas y frondosas) y a la comparación de los resultados obtenidos. El cálculo de superficie de los mapas basados en pixeles se basó en el recuento de los píxeles de cada clase y la aplicación de la superficie de cada píxel al total.

Para realizar el cálculo de superficie en los mapas asociados a recintos se suman las áreas de los polígonos asociados a cada una de las clases. Este proceso se realiza para cada una de las cuatro celdas que componen el área de estudio.

Se obtienen así valores de superficie para cada clase temática según los cuatro mapas considerados en este estudio: el mapa Sentinel-2 a 20 m, el mapa Sentinel-2 a 10 m, el mapa asociado a catastro y el mapa asociado a recintos SIGPAC. Tras este cálculo se proceden a comparar los resultados obtenidos, centrándose en las diferencias de superficie de cada clase derivadas de cada uno de los mapas.

## **4. Resultados**

### **4.1. Obtención de los mapas asociados a recintos**

Para cada una de las celdas que componen el área de estudio se obtuvieron los mapas asociados a parcelas catastrales y recintos SIGPAC. Un ejemplo de estos dos mapas para la celda de estudio AC01 se presenta en la Figura 2. En esta figura se muestran además los mapas por píxeles derivados de Sentinel-2, a resolución 10 m y 20 m para la misma celda. Como era de esperar los mapas asociados a recintos presentan mayor continuidad de clase que los mapas basados en pixeles. Así mismo los mapas de pixeles presentan mayor detalle de la distribución de las clases. Además, se puede observar como el mapa asociado a recintos SIGPAC permite apreciar distinciones de clase dentro de una misma parcela catastral.

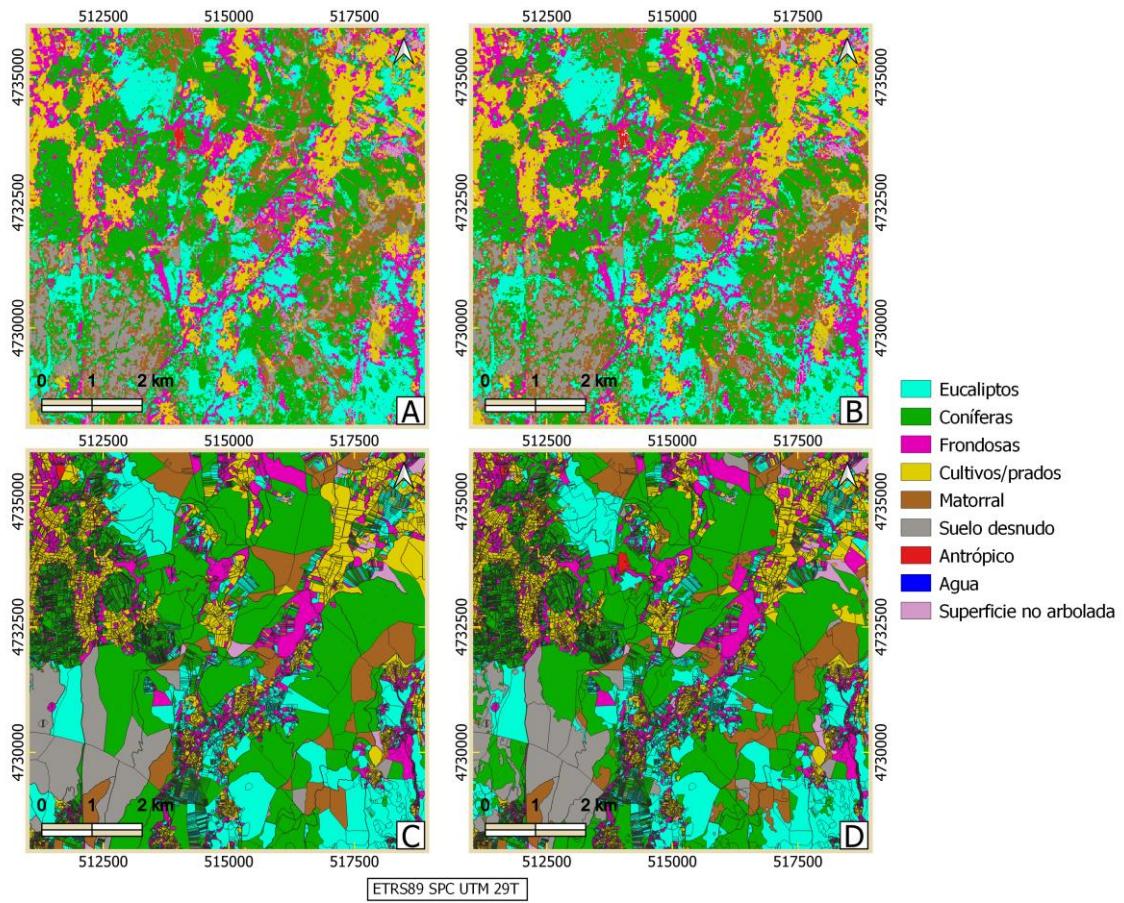


Figura 2. Mapas de vegetación para la celda AC01. A: Mapa Sentinel-2 de resolución 10m, B: Mapa Sentinel-2 resolución 20m, C: Mapa parcelas Catastro y D: Mapa recintos SIGPAC.

## 4.2. Cálculo de superficies

### 4.2.1. Análisis comparado de metodologías de estimación de superficies

La superficie de *Eucalyptus*, coníferas y frondosas calculada a partir de los cuatro mapas y obtenida para cada una de las celdas que conforman el área de estudio, se presentan en las Figuras 3, 4 y 5, respectivamente. En un primer análisis de las figuras se observa cierta tendencia a que la superficie de una clase sea mayor en los mapas asociados a recintos que en los mapas asociados a píxeles. Así mismo parece que existe cierta tendencia a que la superficie ocupada por una clase sea mayor en el mapa de píxeles a 10 m que en el mapa de píxeles a 20 m. Finalmente comparando las superficies obtenidas según los mapas asociados a parcelas catastrales y a los recintos SIGPAC, no se observa tendencia alguna a que ninguno de ellos reporte mayor superficie.

En las Figuras 3 y 4 se puede observar que la superficie ocupada por eucaliptos y coníferas es mayor en los mapas asociados a recintos que en los mapas de píxeles cuando estas clases son muy abundantes (más de 1000 hectáreas por celda). Ejemplo de ello son las celdas AC02 para eucalipto o AC01 para coníferas. Cuando no es así, el efecto es el inverso. Véase por ejemplo la celda OU01 en la Figura 3. Los mapas de píxeles arrojan superficies de 3 y 7 ha, mientras que el mapa basado en recintos da 0 ha. Este efecto se observa en las frondosas.

### SUPERFICIE EUCALIPTO (HA)



Figura 3. Recuento de superficie en las celdas de estudio en hectáreas para la clase Eucalyptus.

### SUPERFICIE CONÍFERAS (HA)



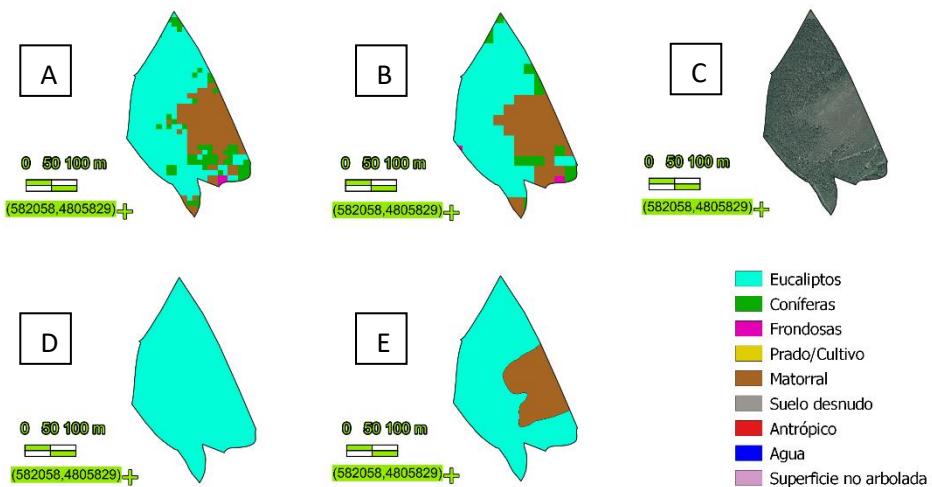
Figura 4. Recuento de superficie en las celdas de estudio en hectáreas para la clase Coníferas.

### SUPERFICIE FRONDOSAS (HA)

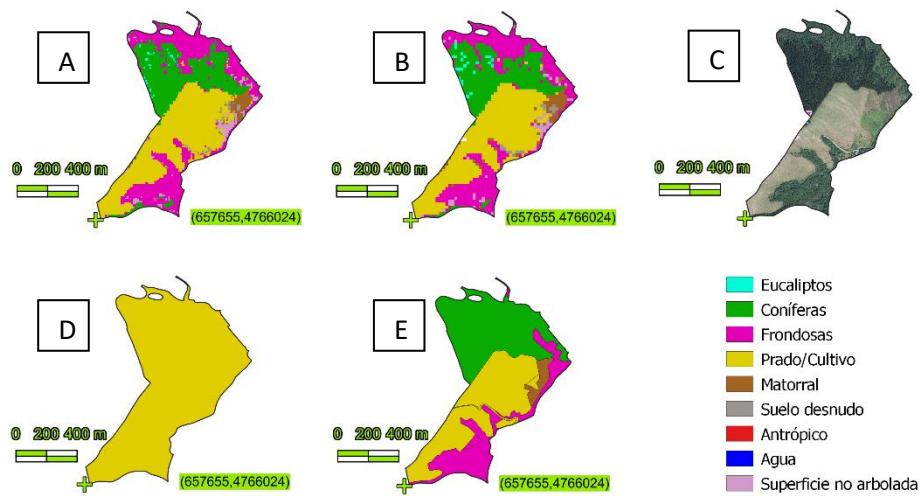


Figura 5. Recuento de superficie en las celdas de estudio en hectáreas para la clase Frondosas.

Las Figuras 6, 7 y 8 ilustran estas observaciones con ejemplos tomados en los mapas. Obsérvese que zonas con cierta heterogeneidad de clases según los mapas basados en píxeles, se vuelven homogéneos al considerar solo la clase mayoritaria en los mapas asociados a recintos. Sin embargo, cabe destacar que la consideración de los recintos SIGPAC permite representar mayor desagregación que las parcelas catastrales, sobre todo en aquellas parcelas catastrales de mayor tamaño. Cuando las parcelas catastrales tienen un único recinto SIGPAC, ambos mapas coinciden; un ejemplo de ello se muestra en la Figura 9. La observación detallada de los mapas ha permitido constatar además una clara asociación entre la distribución de especies y la distribución de la propiedad, como muestra la Figura 9. No obstante en ocasiones no sucede así, y en estos casos los mapas asociados a píxeles permiten representar más fielmente la realidad (ver Figura 10).



*Figura 6. Ejemplo donde SIGPAC añade más nivel de desagregación al delinear una zona de matorral en un eucaliptal. Además, se puede observar como la superficie asignada a Eucalipto es mayor en Catastro con respecto al resto. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.*



*Figura 7. Ejemplo donde SIGPAC añade más nivel de desagregación que Catastro, que ayuda a cartografiar la masa de coníferas al norte, y de frondosas al sur. Pese a ello, se pierde la masa de frondosas al norte, al estar en menor proporción en el recinto con respecto a la conífera. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.*

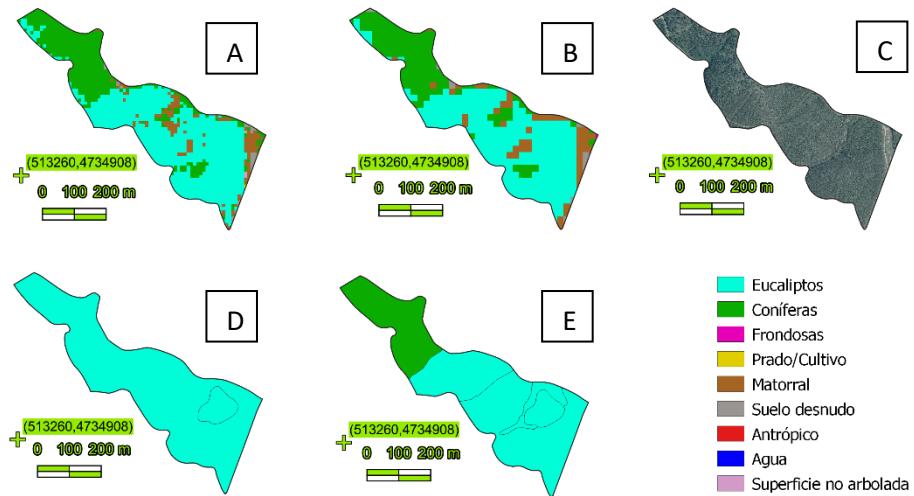


Figura 8. Ejemplo donde SIGPAC añade más nivel de desagregación que Catastro, que ayuda a detectar la masa de coníferas al norte, pero donde el resto de recintos no aportan nueva información o están obsoletos. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

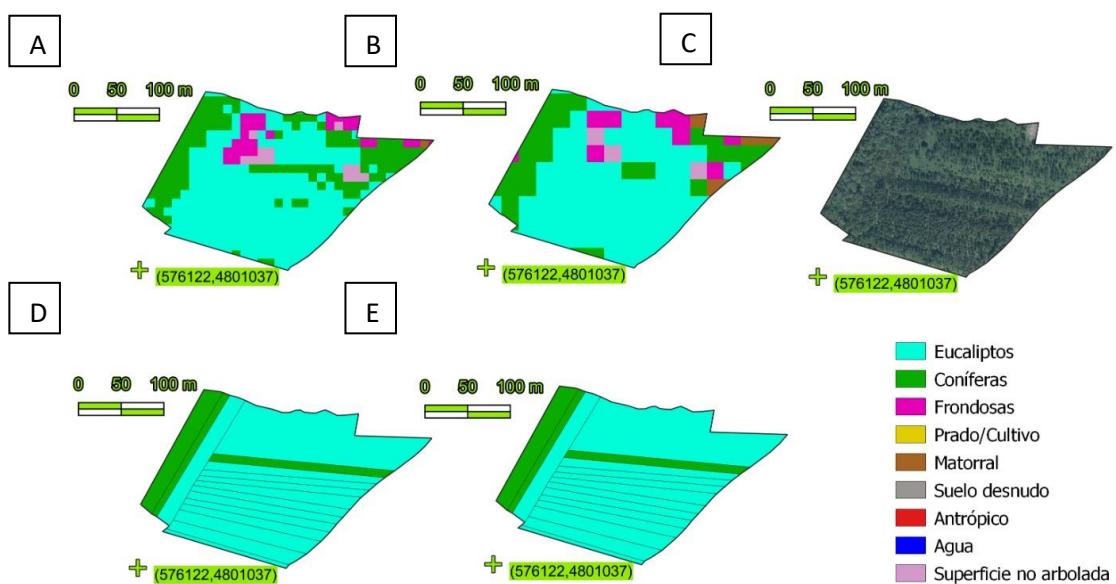


Figura 9. Ejemplo donde SIGPAC no aporta desagregación con respecto a Catastro. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

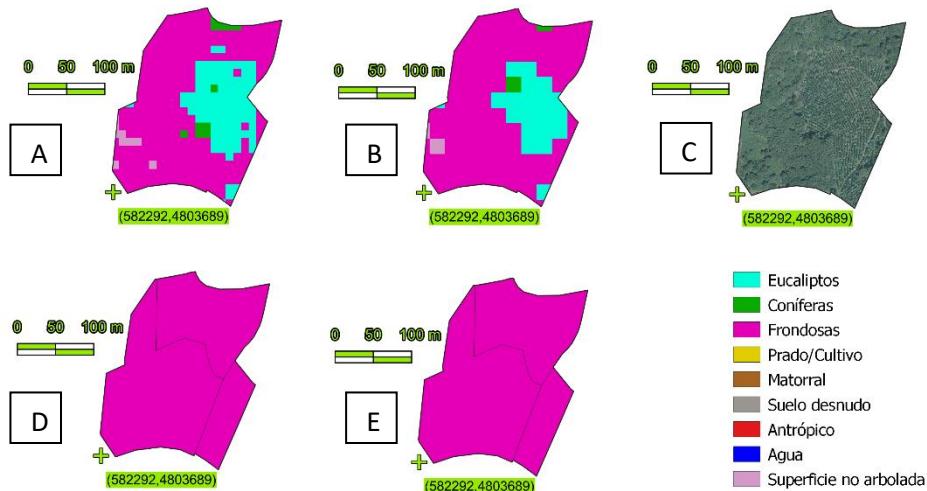


Figura 10. Ejemplo donde una masa de eucalipto se distribuye entre tres referencias catastrales diferentes. Al no circunscribirse a una única parcela, esta masa deja de reflejarse en un mapa asociado a recintos. En este caso, SIGPAC no aporta desagregación. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

La figura 11 ilustra un ejemplo frecuente en el mapeado de frondosas. Se trata de un caso de la celda AC01. Es preciso apuntar que en esta celda los mapas de parcelas catastrales y de recintos SIGPAC contienen multitud de polígonos de gran extensión, principalmente de coníferas y eucaliptos, que hacen que pequeñas zonas cubiertas por frondosas no se tengan en cuenta. La Figura 11 muestra uno de estos polígonos en más detalle. Puede observarse como en los mapas basados en pixeles aparecen píxeles de frondosas de forma dispersa. Estos se corresponden con pequeñas formaciones de frondosas dentro de la masa de coníferas. Por lo tanto, a efectos del cómputo de superficies, estos píxeles se tienen en cuenta en el cálculo del mapa de píxel, pero no en el cálculo asociado a polígonos. En el caso de las celdas OU01, LU01 y la superficie de Eucalipto, también parece suceder algo semejante, con la peculiaridad de que la distribución de Eucalipto es muy residual en la celda OU01, por lo que solo un mapa asociado a píxeles podría recabar datos sobre esta clase. Finalmente, es interesante señalar que los mapas asociados a recintos ayudan a corregir la presencia de píxeles sueltos de una clase derivados del efecto borde. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 12.

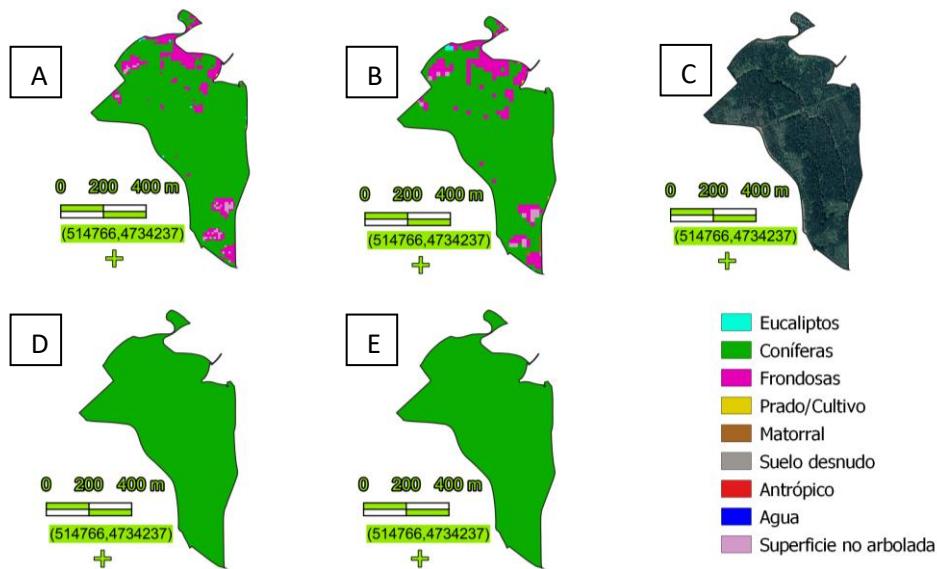


Figura 11. Ejemplo donde al generalizar, los mapas asociados a recintos pierden detalle de la clase frondosas. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

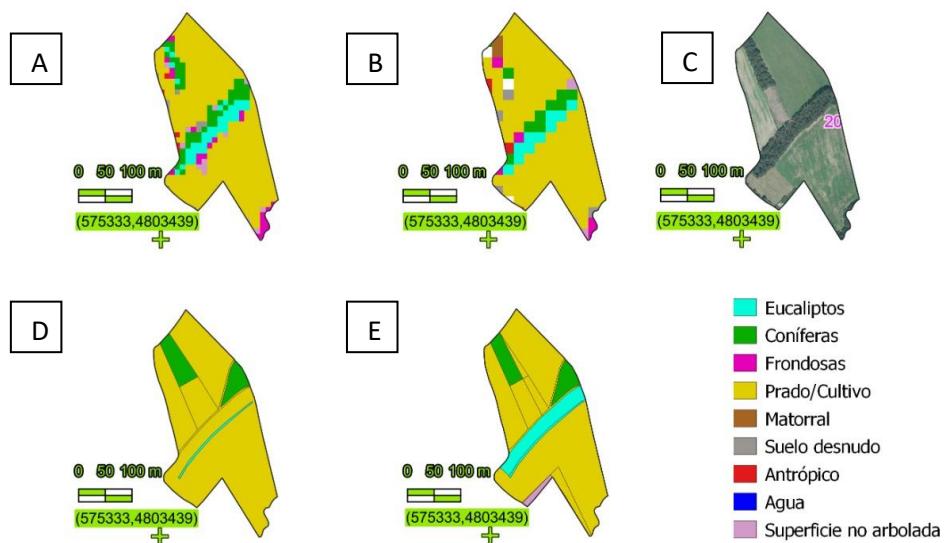


Figura 12. Ejemplo donde al generalizar, los mapas asociados a recintos omiten errores de clasificación derivados del efecto borde. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

#### 4.2.2. Recuento total de superficies

Además se recontaron las superficies totales, sin discernir entre áreas de estudio. En la Tabla 2 se presentan las superficies por clase y mapa obtenidas para el área de estudio. Así como la superficie total de clases arboladas para cada uno de los mapas. Se puede observar como el mapa que más superficie reporta para todas las clases es el mapa asociado a recintos catastrales.

Tabla 2. Resultado del recuento de superficies de cada clase para el conjunto del área de estudio en hectáreas.

CLASE	S10m (ha)	S20m (ha)	CATASTRO (ha)	SIGPAC (ha)
<i>Eucalyptus</i>	2.469	2.296	2.505	2.565
Coníferas	5.208	4.846	5.898	5.877
Frondosas	7.010	6.755	7.277	6.969
<b>TOTAL ARBOLADO</b>	<b>14.687</b>	<b>13.897</b>	<b>15.680</b>	<b>15.411</b>

En la Tabla 3 se hace un resumen de las diferencias de superficies entre mapas. Destaca que para la extensión del área de estudio (25600 ha) podemos encontrarnos con una diferencia aproximada de hasta 1.800 ha de superficie arbolada, según el mapa que se utilice. De este análisis también sobresale que la clase conífera es la que mayores diferencias de superficie presenta en las comparaciones entre los distintos mapas. Sin embargo, la conífera no es la clase mayoritaria del área de estudio. Una posible explicación es que esté afectando el tipo de parcela o recinto en el que se distribuye una clase. En este caso, el promedio del tamaño de una parcela de conífera para el área de estudio es de 0,56 ha, mientras que para eucalipto es de 0,37ha y para frondosas de 0,22 ha. Esto indica que de media las parcelas de conífera son más grandes que el resto de clases arboladas. Si nos volvemos a fijar en la Figura 2, observamos que hay recintos muy extensos de conífera en los mapas asociados a recintos, mientras que los mapas basados en píxeles presentan mayor heterogeneidad. Además, en el caso de las coníferas también son muy comunes los casos en los que la fracción de cabida cubierta de coníferas es baja y el mapa basado en píxeles detecta gran cantidad de matorral. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 13.

Tabla 3. Diferencias de superficie de cada clase para el conjunto del área de estudio en hectáreas.

CLASE	S10m - S20m (ha)	S10m- Catastro (ha)	S10m- Sigpac (ha)	S20m- Catastro (ha)	S20m- Sigpac (ha)	Catastro- Sigpac (ha)
<i>Eucalyptus</i>	174	-35	-95	-209	-269	-60
Conífera	362	-690	-669	-1052	-1031	21
Frondosa	255	-267	42	-522	-214	308
<b>TOTAL</b>	<b>790</b>	<b>-993</b>	<b>-724</b>	<b>-1.783</b>	<b>-1.514</b>	<b>269</b>

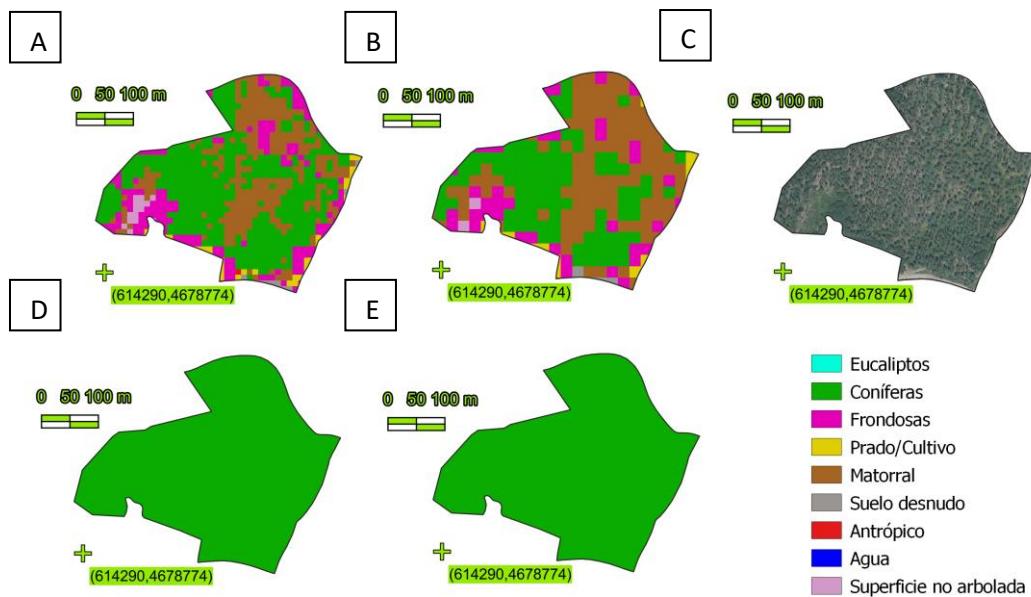


Figura 13. Ejemplo donde la masa de coníferas fue objeto de una clara y el mapa de píxeles clasifica como matorral. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC. A: Mapa Sentinel 10m, B: Mapa Sentinel 20m, C: Ortofoto PNOA 2020, D: Mapa Catastro y E: Mapa SIGPAC.

Finalmente se calculó el promedio de las diferencias de superficie en valor absoluto entre todas las celdas de estudio y clases, así como el máximo y el mínimo. Los resultados se muestran en la Tabla 4. Se observa las mayores diferencias se dan entre los mapas de píxeles y el mapa de recintos asociado a parcelas catastrales. El valor máximo se da en la comparación con el mapa basado en pixeles a 20 m, que alcanza las 570 ha.

Tabla 4. Resumen de las diferencias de superficie calculadas en valor absoluto para todas las celdas de estudio y todas las áreas de estudio en hectáreas.

ESTADÍSTICOS	S10m-S20m	S10m-Catastro	S10m-Sigpac	S20m-Catastro	S20m-Sigpac	Catastro-Sigpac
Promedio	67	168	133	208	170	52
Mín	3	7	1	3	3	0
Máx	108	462	391	570	500	207

## 5. Discusión

En este estudio se analizaron en detalle las implicaciones de los mapas basados en píxeles y de los mapas asociados a recintos. El análisis realizado confirma la premisa de que existe cierta relación entre la distribución del recurso forestal y la distribución de la propiedad (GONZÁLEZ-CARPIO Y RODRÍGUEZ, 2017). Por ello, un mapa asociado a recintos podría facilitar en cierta medida la gestión de los recursos disponibles y el análisis de los cambios del territorio, tal y como apuntaban estudios previos (GONZÁLEZ-CARPIO Y RODRÍGUEZ, 2017; SOHL et al., 2017). Además, permiten obviar el ruido presente en los mapas asociados a píxeles que se da por efecto de la radiometría híbrida en los píxeles correspondientes a áreas de borde, confirmando los resultados de estudios previos KUSSUL et al. (2016).

Sin embargo, este estudio también demuestra que los mapas asociados a recintos tienden a mayorar la superficie de las clases mayoritarias y minorar las clases minoritarias, como resultado de la generalización. Debido a ello, determinadas clases pueden pasar desapercibidas en los mapas asociados a recintos de un territorio concreto. Por ello, los mapas basados en píxeles son clave para la gestión de coberturas minoritarias o para la detección temprana de cambios de uso forestal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la utilización de un tipo de mapa u otro dependerá de los objetivos del usuario final. Los resultados de este estudio pueden ayudar al usuario a sopesar las implicaciones de ambos mapas y ayudarlo en la elección. De hecho, actualmente existen agencias como el Centro de Datos del Medioambiente del Reino Unido que proporciona su mapa de usos del suelo en ambos formatos (U.K. CEH, 2020). Entendiendo así que ambos mapas pueden ser útiles y que el usuario final debe seleccionar cual de ellos satisface en mayor medida sus necesidades de información.

Por otro lado este estudio pone en valor la utilidad de los recintos SIGPAC, concebidos como una herramienta de gestión agrícola, para la gestión forestal. Se observa que el mapa asociado a recintos SIGPAC refleja mejor la distribución del recurso que el mapa asociado a parcelas catastrales. Por ello podría ser interesante disponer a escala regional de una cartografía vectorial orientada a usos forestales o refinrar la propia cartografía SIGPAC con la identificación de clases forestales. De esta manera se convergería en un producto único asociado a la propiedad que podría facilitar la gestión del territorio, tal y como persiguen otros productos cartográficos generados por órganos oficiales tales como el SIOSE (2014).

Por último, se observa que las diferencias entre mapas están altamente asociadas al área de estudio: a su composición (especies mayoritarias, especies minoritarias), a la fragmentación de sus usos y a la existencia o no de asociación entre parcela y uso del suelo. Por ello, podrían ser interesante observar las implicaciones de ambos mapas en territorios diferentes territorios.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se han analizado en detalle las implicaciones de utilizar un mapa asociado a píxeles y un mapa asociado a recintos. Se pudo concluir que los mapas asociados a píxeles, a pesar de poder contar con ruido, presentan mayor detalle acerca de la distribución espacial de los recursos en el territorio mientras que los mapas asociados a recintos tienden a generalizar esta información. Además también se observó que la superficie reportada por cada uno de ellos varía significativamente. En concreto, los mapas asociados a recintos acrecientan la superficie de las especies mayoritarias en una zona determinada y causan el efecto contrario sobre las minoritarias. A pesar de ello los mapas asociados a recintos simplifican la información, pudiendo ser esto útil para agilizar el tratamiento de datos y la toma de decisiones sobre la gestión del territorio. Del análisis realizado también se desprende que las implicaciones de ambos mapas están relacionadas con la configuración del área de estudio, por lo que un estudio comparado similar al aquí presentado podría ser útil antes de definir el mapa final para un territorio o uso concreto. Los resultados de este estudio pueden ayudar al usuario a sopesar las implicaciones de ambos mapas y ayudarlo en la elección.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Convenio para la realización del Inventario Forestal Continuo de Galicia financiado por la Consellería de Medio Rural de la Xunta de Galicia bajo el proyecto: 2020CONVINVENTARIOFORESTALR002. También está bajo el Proyecto PID2019-111581RB-I00 financiado por el Ministerio de Ciencia Innovación e Universidades del Gobierno de España. Además, para su realización se contó con la financiación del Ministerio de Ciencia Innovación e Universidades del Gobierno de España bajo el contrato FPU19/02054.

## 8. Bibliografía

- ALONSO, L.; PICOS, J.; ARRESTO, J.; 2021. Forest Land Cover Mapping at a Regional Scale Using Multi-Temporal Sentinel-2 Imagery and RF Models. *Remote Sensing*, 13(12), 2237. DOI: 10.3390/rs13122237
- BASTON, D.; 2021. Exactextractr: Fast Extraction from Raster Datasets using Polygons. Disponible en Internet: <https://isciences.gitlab.io/exactextractr/> [consulta: 01 de diciembre de 2021].
- DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO; 2020. Servicios INSPIRE de Cartografía Catastral. Disponible en Internet: <http://www.catastro.minhap.es/webinspire/index.html> [consulta: 15 de septiembre de 2020].
- DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO; 2021. Usos y actividades Disponible en Internet: [http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/otros\\_usos.asp](http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/otros_usos.asp) [consulta: 22 de diciembre de 2021].
- FONDO ESPAÑOL DE GARANTÍA AGRARIA (FEWA); 2018. Servicio ATOM de descarga de datos SIGPAC. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en Internet: <https://www.fega.gob.es/orig/> [consulta: 03 de septiembre de 2021]
- GIRI, C.; LONG J.; 2014. Land Cover Characterization and Mapping of South America for the Year 2010 Using Landsat 30 m Satellite Data. *Remote Sensing*. 2014; 6(10):9494-9510. DOI: 10.3390/rs6109494
- GONZÁLEZ-CARPIO, L.; RODRÍGUEZ, R.; 2017. El catastro como base del análisis territorial y ambiental: incorporación de servicios ambientales. En 7º Congreso Forestal Español: gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía, 26-30 de junio de 2017, Plasencia, Cáceres, Extremadura. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- GRIFFITHS, P.; NENDEL, C.; HOSTERT, P.; 2019. Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote sensing of environment*, 220, 135-151. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.031
- INGLADA, J.; VINCENT, A.; ARIAS, M.; TARDY, B.; MORIN, D.; RODES, I.; 2017. Operational High Resolution Land Cover Map Production at the Country Scale Using Satellite Image Time Series. *Remote Sens*. 2017, 9, 95. DOI: 10.3390/rs9010095
- KUSSUL, N; LEMOINE, G; GALLEGOS, F. J.; SKAKUN, S.V.; LAVRENIUK, M.; SHELESTOV, A.Y.; 2016. "Parcel-Based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 9, no. 6, pp. 2500-2508. DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2560141.

LABERTI, F. M.; 2010. El SIGPAC:" Hoy las ciencias adelantan...". Ciudad y territorio: Estudios territoriales, (165), 597-606.

REGLAMENTO (UE) No 1089/2010 DE LA COMISIÓN de 23 de noviembre de 2010 por el que se aplica la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a la interoperabilidad de los conjuntos y los servicios de datos espaciales. 2010. (DOUE núm. 323, de 08/12/2010)

SIOSE; 2014. Documento técnico SIOSE 2014. Versión 1, Instituto Geográfico Nacional. Disponible en Internet: [https://www.siose.es/SIOSEtheme-theme/documentos/pdf/Doc\\_tec\\_SIOSE2014\\_v1.pdf](https://www.siose.es/SIOSEtheme-theme/documentos/pdf/Doc_tec_SIOSE2014_v1.pdf) [consulta: 03 de diciembre de 2021]

SOHL, T.; DORNBIEKER, J.; WIKA, S.; SAYLER, K.; QUENZER, R., 2017. Parcels versus pixels: modeling agricultural land use across broad geographic regions using parcel-based field boundaries. Journal of Land Use Science, 12(4), 197–217. DOI:10.1080/1747423x.2017.1340525

U.K. CEH, 2020. Land cover map 2020. Disponible en Internet: <https://catalogue.ceh.ac.uk/documents/14a9ec05-071a-43a5-a142-e6894f3d6f9d> [consulta: 25 de marzo de 2022]