



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

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

Tecnologías cartográficas para la caracterización del entorno de agrupaciones de yacimientos arqueológicos de cara a la gestión integrada de incendios forestales y patrimonio cultural

SOLARES-CANAL, A.¹, ALONSO, A.¹, RODRÍGUEZ, A. ¹, MUÑOZ, P. ³, PICOS, J., ¹ ARMESTO, J..^{1,2}

¹ Escuela de Ingeniería Forestal. Universidade de Vigo. Campus A xunqueira – Pontevedra.Fundación Centro de Servicios y

² CINTECX, GESSMin group (Gestión Segura y Sostenible de recursos Minerales), Universidade de Vigo-Vigo.

³ Escuela de Empresariales, Universidad de Vigo, R/ Torrecedeira 105, 36208 Vigo.

Resumen

El patrimonio cultural constituye un legado esencial de las sociedades y la manifestación de su contribución a la civilización universal. Contribuye al desarrollo económico de las regiones, reportando beneficios sociales y atrayendo recursos financieros. El cambio climático se ha convertido en una de sus principales amenazas, siendo los incendios forestales una de sus consecuencias directas. Estos son cada vez más numerosos, frecuentes y virulentos. Constituyen una amenaza especialmente para zonas de interés arqueológico, parajes naturales y sitios de interés etnográfico.

El proyecto PALEOINTERFAZ: ELEMENTO ESTRATÉGICO EN LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES. DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS 3D Y MULTIESPECTRAL PARA LA GESTIÓN INTEGRADA, financiado en la convocatoria Retos 2019, propone el desarrollo de metodologías basadas en tecnologías cartográficas, sistemas portables de mapeado 3D, y big data para la gestión de la prevención de incendios forestales en paleointerfaz, en el entorno de bienes culturales en áreas rurales.

Este trabajo aborda la primera fase del proyecto, la caracterización sistemática del medio fisiográfico, topográfico y natural del entorno de agrupaciones de bienes culturales en la comarca del Baixo Miño en Galicia. Este tipo de caracterización permitirá establecer agrupaciones susceptibles de ser consideradas como espacios estratégicos de defensa contra incendios forestales en la comarca.

Palabras clave

Paleointerfaz, GIS, áreas estratégicas de gestión, prevención incendios forestales, patrimonio.

1. Introducción

El patrimonio cultural de cualquier civilización es la prueba de su contribución a la humanidad y tiene un papel esencial en la integración de la cultura de cada comunidad (PHILLIPS, 2015; SESANA et al. 2021). Según la UNESCO (2014) el concepto de patrimonio cultural incluye estructuras de carácter arqueológico, obras arquitectónicas, esculturas, pinturas, inscripciones y cavernas. También pueden considerarse bienes culturales aquellos conjuntos de construcciones o lugares conformados por los seres humanos, o por la acción conjunta de éstos y la naturaleza, que gocen de un valor universal desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico (UNESCO, 2014).

En España hay una gran abundancia de elementos de interés cultural. El Anuario de Estadísticas Culturales (2020) (MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE, 2020), recoge 31.145 bienes de interés cultural o BICs. Además, existen otros muchos elementos de interés cultural no catalogados como BIC, pero sí tipificados con otras categorías recogidas en la legislación vigente (Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español y Ley 5/2016, de 4 de mayo, del patrimonio cultural de Galicia). Este patrimonio cultural, además de ser parte de la historia de España y constituir un legado de gran valor para las generaciones futuras (DE MASI et al., 2021), tiene también un gran valor económico en la sociedad actual, ya que es un importante impulsor del turismo (PHILLIPS, 2015). Es por ello que es esencial preservarlo en condiciones óptimas (DE MASI et al., 2021; PHILLIPS 2015).

La mayor parte del patrimonio arqueológico, se encuentra en áreas cercanas a zonas forestales o rodeado de vegetación (DIMITROPOULOS et al., 2010). Sin embargo, la presencia de vegetación en estas áreas puede entrar en conflicto con la propia conservación del enclave y la minimización de las amenazas para su preservación (CANEVA et al., 2018; BLASI Y CELESTI-GRAPOW, 2004). Uno de los motivos es que la vegetación constituye un factor clave en la propagación de incendios forestales (TARIQ et al., 2021 y DE DIEGO et al., 2021).

Actualmente los incendios forestales constituyen amenazas para el patrimonio tanto en climas secos como húmedos (HAMBRECHT Y ROCKMAN, 2017). Allí donde el patrimonio se encuentra cubierto de vegetación o cerca de bosques está expuesto a sufrir daños graves e incluso irreversibles en caso de incendio forestal (FIGUEIREDO et al., 2021). El calor extremo asociado al fuego puede provocar que los elementos patrimoniales (especialmente aquellos contruidos o realizados sobre roca) se agrieten, se rompan, acumulen sedimentos, o sufran cambios mineralógicos y texturales, lo cual puede desencadenar la pérdida o deformación de los materiales que lo forman (GOMEZ-HERAS et al., 2009; SESANA et al., 2021). Actualmente los grandes incendios forestales están acrecentando su frecuencia, su gravedad y su espectro geográfico (TEDIM et al., 2018). La evidencia científica muestra que el cambio climático es la causa principal de este aumento (SMITH et al., 2020). De hecho, desde la Convención del Patrimonio Mundial de 1972, el cambio climático ha sido considerado como uno de los riesgos más importantes que amenazan el patrimonio por su efecto sobre el aumento de eventos extremos, citando entre ellos precisamente los incendios forestales (MARKHAM et al., 2016).

En relación con la prevención de incendios forestales es importante destacar que de los tres factores que tienen una relación directa con el comportamiento del fuego, que son climatología, topografía y combustibles, solo es modificable el último de ellos. Esto significa que para cambiar sustancialmente el comportamiento del fuego solo se puede actuar alterando la cantidad y continuidad de la vegetación (ROTHERMEL, 1983). Es por ello que las políticas de desarrollo rural desarrolladas en el marco de los fondos FEADER para los últimos años en España contemplan la selvicultura preventiva como una herramienta clave para la prevención de incendios forestales (MITECO, 2020). En esta línea, algunas de las medidas legislativas de prevención de incendios vigentes en España contemplan restricciones geométricas y de especie para la vegetación en las áreas perimetrales en torno a núcleos de población, infraestructuras y elementos singulares como enclaves patrimoniales entre otros. Es el caso de Galicia, donde la “Lei 3/2007 de prevención e defensa contra os incendios forestais de Galicia”, junto con otros instrumentos complementarios, define y desarrolla el concepto de fajas de gestión de biomasa y especifica las actuaciones a acometer sobre la vegetación en estas áreas de cara a prevenir la propagación de los incendios forestales. En la práctica, el mantenimiento de estas fajas no se realiza de manera completa y sistemática debido a la enorme extensión de terreno que abarcan. En su lugar se realiza un reconocimiento visual por parte de operarios o personal técnico de cada ayuntamiento y se procede a realizar las labores de mantenimiento.

En este marco resulta evidente que la gestión de la vegetación en enclaves arqueológicos y en su entorno inmediato puede jugar un papel clave en la preservación del propio elemento, pero también puede actuar como elemento estratégico de prevención de incendios forestales a escala de paisaje. Adicionalmente dado que estos enclaves con frecuencia concentran visitas en épocas de alto riesgo, las actuaciones sobre la vegetación deberán tener en cuenta la seguridad de los visitantes y las actuaciones derivadas de una situación de emergencia sobrevenida por incendio forestal. Las herramientas de teledetección y análisis GIS pueden ser de gran utilidad para objetivar el análisis de las variables físicas y fisiográficas del territorio en torno a los enclaves patrimoniales. Las imágenes de satélite multiespectrales se han utilizado con éxito para detectar usos del suelo (ALONSO et al., 2021). Por su parte los datos LiDAR (por sus siglas en inglés *Light Detection and Ranging*) pueden

proporcionar estimaciones precisas de los parámetros del combustible disponible en escalas apropiadas para la modelización del comportamiento del fuego (STAVROS, 2018; BOTEQUIM, 2019; MUTLU, et al. 2008). Las herramientas GIS permiten analizar geodatos de forma conjunta y objetivar la toma de decisiones en la gestión del territorio (ELDRANDALY, 2013).

2. Objetivos

Este estudio tiene como objetivo desarrollar una metodología para reconocer aquellos enclaves arqueológicos que, por las características de su entorno físico y fisiográfico, y por su proximidad entre sí, podrían construir unidades de gestión de vegetación con entidad suficiente para prevenir la propagación de incendios forestales. El área de estudio se sitúa en el Baixo Miño, comarca situada en el extremo Suroeste de Galicia, España. Esta zona se caracteriza por una especial abundancia de elementos arqueológicos en áreas forestales. Se emplean datos de imágenes multiespectrales, datos LiDAR y herramientas GIS para la caracterización del entorno físico y fisiográfico de los enclaves patrimoniales. Esta información se utiliza para reconocer las agrupaciones de mayor interés para la realización de actuaciones sobre la vegetación y conseguir una eficaz prevención frente a incendios forestales.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El área de este estudio comprende el extremo Suroeste de Galicia, en la provincia de Pontevedra. Incluye los ayuntamientos de A Guarda, O Rosal, Tomiño y Oia, que conforman la comarca del Baixo Miño, y dos ayuntamientos colindantes: Baiona y Gondomar (ver Figura 1). En conjunto tienen una superficie de 36.519 ha, que representa el 1,23% del total de la Comunidad Autónoma. En el área predominan las llanuras; hay también dos sierras, Serra da Groba próxima y paralela a la costa atlántica, y Serra do Argallo paralela a la anterior que discurre por el centro de la comarca en dirección Sur-Norte. Ambas tienen vertientes de pendientes pronunciadas. El área de estudio se encuentra flanqueada por el extremo Sur por el río Miño, que define frontera con Portugal. Al este de la zona, se encuentran el Parque Natural do Monte Aloia y la Serra do Galiñeiro, que enmarca los concellos de Tomiño y Gondomar.

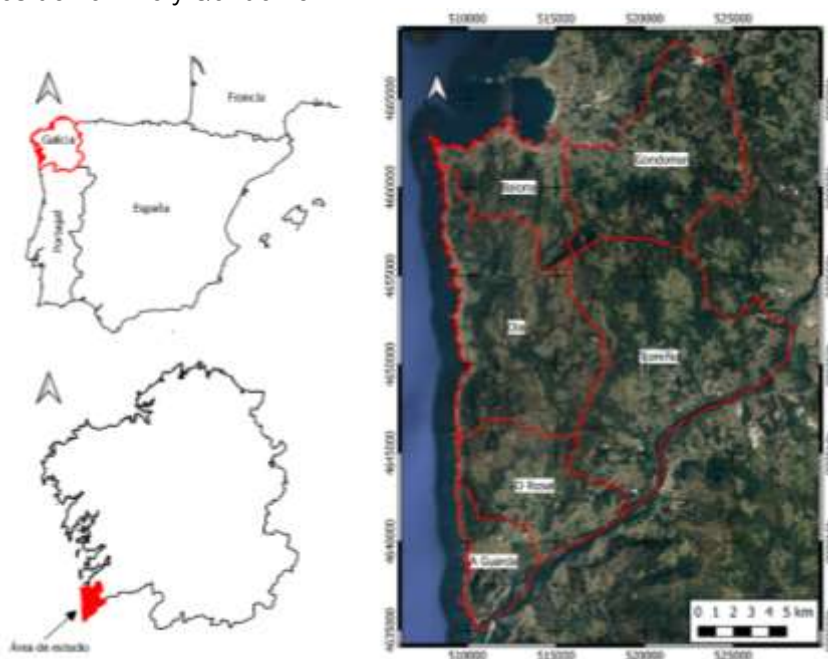


Figura 1. Área de estudio.

Galicia es una Comunidad representativa de la riqueza cultural del país. Muestra de ello es que el 7,6% de los BICs españoles se encuentran en esta región, si bien en superficie comprende solo el 5,8% del total. Recientemente la administración autonómica con competencias en materia de patrimonio, junto con el Instituto de Estudios del Territorio, han realizado una labor de compilación y georreferenciación de elementos de interés patrimonial para generar una base cartográfica con todos los elementos BICs y demás elementos censados (BTG, 2020). Esta cartografía incluye un total de 60.742 elementos. Los enclaves arqueológicos son especialmente abundantes en Galicia. Solo los elementos funerarios, castros y petroglifos suponen el 22% del total de elementos de la base cartográfica. La Figura 2 muestra la distribución en el territorio de las tipologías de elementos arqueológicos más frecuentes. En ella puede verse que la comarca del Baixo Miño es especialmente rica en este tipo de enclaves.

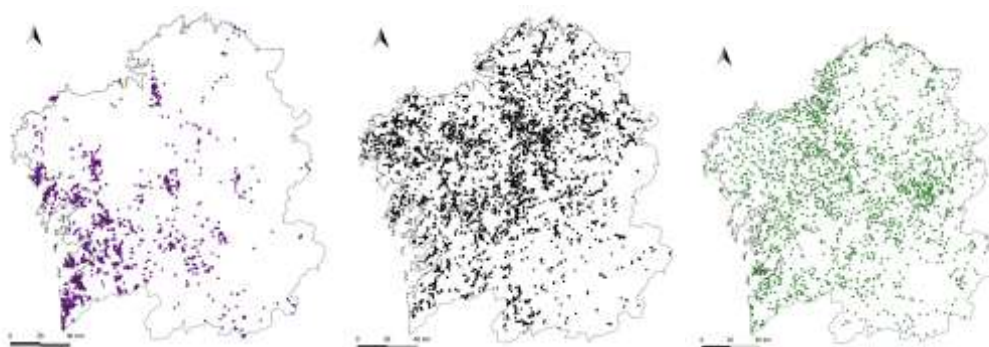


Figura 2. Distribución en Galicia de los petroglifos (izquierda), elementos funerarios (centro) y castros (derecha). Fuente: elaboración propia.

Según el Mapa Forestal Español (MFE) (MITECO, 2011), el área de estudio está principalmente ocupada por áreas de monte arbolado, tanto plantaciones como bosques naturales. Las masas predominantes en superficie son aquellas donde las especies principales son *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*. Las caducifolias predominantes son *Alnus glutinosa*, especie vinculada a los ríos y sus márgenes; también abundan *Salix spp.* y *Quercus robur*.

3.2. Materiales

En este trabajo se utilizaron fuentes cartográficas de acceso abierto, elaboradas por entidades oficiales: Instituto de Estudios del Territorio (IET), dependiente de la Xunta de Galicia; Instituto Geográfico Nacional (IGN), dependiente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; Agencia Espacial Europea. Se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación fuentes cartográficas utilizadas y especificaciones técnicas.

Producto cartográfico	Fecha	Tamaño píxel (m)	Fuente
Modelo Digital del Terreno (MDT)	2009/2010	5x5	IGN (IGN, s.f)
Mapa de pendientes (°)	2020	5x5	IGN (IGN, s.f.)
Mapa de orientaciones (°)	2016	2x2	IET (Xunta de Galicia, s.f)
Base de datos georreferenciada de Galicia	-	-	Xunta de Galicia
Mapa Forestal de	2011	-	MITECO (MITECO,

España (MFE25)		2011)	
Límites municipales, provinciales y autonómicos	2017	-	IGN (IGN, s.f.)
Base Topográfica de Galicia	2020	-	IET (BTG, 2020)
LiDAR PNOA	2015	1 punto/m ²	IGN (IGN, s.f.)
Imágenes Sentinel-2	2019	10x10 20x20	ESA (ESA, s.f.)

Las capas de geodatos se integraron y analizaron mediante el software QGIS (QGIS.org, 2022) y ARCGIS® (ESRI, 2011). La cartografía desarrollada *ad hoc* para la caracterización del entorno topográfico y fisiográfico de los yacimientos arqueológicos se obtuvo mediante el software de programación R (R Core Team, 2020).

3.3. Metodología

La metodología propuesta consiste en la identificación de los yacimientos arqueológicos presentes las áreas forestales del área de estudio, la definición de áreas de influencia en torno a los mismos, la agrupación de elementos próximos y la caracterización del medio físico y topográfico en dichas agrupaciones. Finalmente se seleccionan aquellas agrupaciones donde la actuación sobre la vegetación puede jugar un papel más relevante en la protección del territorio y de los propios yacimientos frente a incendios forestales. Para ello se emplea cartografía de acceso abierto de fuentes oficiales y cartografía desarrollada *ad hoc* para este estudio. Cada uno de los pasos se describe en detalle a continuación.

3.3.1. Identificación de yacimientos arqueológicos

Para la identificación de los elementos arqueológicos presentes en el área de estudio se utilizó la base de datos georreferenciada de Patrimonio Cultural elaborada por la Xunta de Galicia. Esta cartografía es fruto de los trabajos de revisión realizados por la Dirección Xeral de Patrimonio Cultural da Consellería de Cultura e Turismo, de la Consellería de Medio Rural y del Instituto de Estudios del Territorio. Esta capa fue facilitada por la Xunta de Galicia para la realización de este estudio.

La revisión detallada de los atributos asociados a la base de datos revela una gran diversidad de tipologías y designaciones de los elementos incluidos en ella. Esto requirió el diseño de criterios de selección basados en filtros de palabras para extraer todos los elementos arqueológicos presentes en el área de estudio y separarlos del resto de elementos de interés patrimonial. La relación detallada de palabras que conforman los filtros de inclusión y exclusión se detallan en las tablas 2 y 3. El resultado es una capa vectorial de puntos georreferenciados, donde cada punto se corresponde con un yacimiento arqueológico.

Tabla 2. Filtro de inclusión para la identificación de yacimientos arqueológicos en la base de datos georreferencia de la Xunta de Galicia: relación de palabras a considerar incluidas en la designación del elemento patrimonial.

Mámoa	Xacemento
Castro	Gravado
Achado	Rupestre
Petroglifo	Elementos funerarios

Tabla 3. Filtro de exclusión para la separación de los yacimientos arqueológicos del resto de enclaves patrimoniales de la base de datos georreferencia de la Xunta de Galicia: relación de palabras excluidas en la designación del elemento.

Centro sanitario	Hórreo	Parador
Fonte	Igrexa	Cheminea
Casa	Capela	Fábrica
Rúa	Torre	Mosterio
Presa	Museo	Ponte
Camiño	Escola	Mural
Explotación minera	Campo da festa	Lagar
Cruz	Convento	Forno
Cruceiro	Peto de ánimas	Hostal
Atalaia	Peto das ánimas	Faro
Casco histórico	Zona antiga de Baiona	Santuario
Pazo	Vivenda	Palco
Colexio	Vivendas	Palacete
Castelo	Vía Crucis	Núcleo tradicional
Praza	Aldea	Pombal
Lavadoiro	Ermida	Ponte
Edificio	Taller	Conxunto tradicional
Portalón	Cemiterio	Vivienda

3.3.2. Selección de yacimientos arqueológicos ubicados en áreas de forestales

Para identificar aquellos enclaves arqueológicos que se ubican en las áreas forestales del área de estudio se utilizó la cartografía del MFE de máxima actualidad disponible para Galicia. Este mapa está realizado en formato vectorial; incluye información sobre la distribución de los ecosistemas forestales españoles, el tipo estructural o uso principal, el grado de cobertura y las principales especies arbóreas cartografiadas, entre otros aspectos, todo ello organizado en teselas de superficie mínima general 1 hectárea (MITECO, 2011). Los campos empleados para identificar las áreas forestales en el área de estudio fueron:

- Uso en el Inventario Forestal Nacional (IFN). Se eliminaron las teselas cuyo uso en el IFN fuese "Agrícola", "Agua" o "Artificial".
- Tipo estructural. Se consideraron como superficie forestal las estructuras relacionadas en la Tabla 4.
- Modelo de combustible mayoritario. Se eliminaron aquellas teselas en las que, según el MFE, no existe ningún modelo de combustible. No obstante, se conservaron aquellas que, aun no teniendo combustible asignado, tuviesen uno de los tipos estructurales descritos en el punto anterior.

Tabla 4. Tipos estructurales considerados.

Tipos estructurales
Talas
Otras superficies artificiales
Superficies desarboladas quemadas
Superficies arboladas quemadas
Cortafuegos
Afloramientos rocosas
Acantilados marinos

El mapa forestal se filtró según estos tres campos, con el objetivo de identificar las teselas que se corresponden con áreas forestales. Las teselas resultantes se cruzaron con la capa de puntos

correspondientes a la geolocalización de los yacimientos arqueológicos en el área de estudio. De la intersección entre ambas se obtuvo la capa de yacimientos emplazados en las áreas forestales.

3.3.3. Generación de áreas de influencia y agrupaciones

Las áreas de influencia en torno a yacimientos arqueológicos se corresponden con la extensión de terreno en la que convendría realizar actuaciones sobre la vegetación de cara a la prevención de la propagación de incendios forestales. Para delimitar las áreas de influencia en torno a los elementos arqueológicos considerados se aplicaron buffers circulares en torno a los puntos que marcan la geolocalización de los mismos. La extensión de buffer a aplicar se definió en base a criterio experto y experiencia previa. En este caso se fijó en 100 m de radio.

Una vez aplicados los buffers en torno a cada punto, se observó que muchas áreas de influencia se solapan entre sí, lo cual era esperable dada abundancia de yacimientos y proximidad de muchos de ellos. De este modo aquellos polígonos solapados o tangentes se disolvieron para establecer agrupaciones. Como resultado se obtuvo una capa vectorial formada por polígonos, donde cada polígono se corresponde con el área de influencia de una agrupación de yacimientos arqueológicos. A cada agrupación se le asignó un código identificador y un campo descriptor con el número de yacimientos que incluye.

3.3.4. Cartografía de usos del suelo

Dado el grado de fragmentación de los usos del suelo en Galicia, y la superficie mínima de las teselas del MFE, se generó una cartografía detallada de usos del suelo en el área de estudio a partir de imágenes satelitales Sentinel-2. Se siguió para ello la metodología descrita en ALONSO et al. (2021). La leyenda del mapa se diseñó para recoger la realidad forestal del área de estudio. Se describe con detalle en la Tabla 5. La metodología aplicada se basa en la clasificación supervisada de un conjunto de imágenes del año 2019, concretamente se tomó una imagen por mes. Los 12 mapas obtenidos se agregan en uno final mediante la aplicación de criterios de decisión basados en la selección del uso más frecuente en el año. El mapa final general tiene una precisión del 87%. Las precisiones de usuario y productor en las clases de arbolado están entre el 86% y el 96%.

Tabla 5. Descripción de la leyenda del mapa de usos de suelo obtenido a partir de Sentinel-2.

Clase temática	Descripción
Eucaliptos	Masas adultas y jóvenes de eucaliptos (formadas principalmente por <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Eucalyptus nitens</i>) con fracción de cabida cubierta cercana al 100%.
Coníferas	Masas adultas y jóvenes de coníferas (formadas principalmente por <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus radiata</i> y <i>Pinus sylvestris</i>) con fracción de cabida cubierta cercana al 100%.
Frondosas	Masas adultas y jóvenes de frondosas (formadas principalmente por <i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Betula alba</i> y formaciones ripícolas) con fracción de cabida cubierta del 100%.
Cultivos y prados	Usos agroalimentarios.
Matorral	Áreas de matorral (destacan los géneros <i>Ulex</i> y <i>Cytisus</i> y la familia de las ericáceas) con fracción de cabida cubierta cercana al 100%.
Suelo desnudo	Roquedos y áreas naturales con escasa vegetación.
Antrópico	Zonas con edificaciones y canteras a cielo abierto.
Agua	Acumulaciones notables de agua, tanto marítimas como continentales.
Nubes	Zonas donde no es posible determinar el uso debido a la presencia de nubes en las imágenes satelitales.

3.3.5. Cartografía de alturas de vegetación

La altura de la vegetación es un factor determinante en la identificación de modelos de combustible (FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, 2019) y éstos a su vez son determinantes en la propagación de incendios forestales. Por ello se elaboró un mapa de alturas de la vegetación a partir de los datos LiDAR PNOA disponibles. Concretamente las hojas correspondientes a la zona de estudio corresponden a la segunda cobertura y datan de 2015. Para elaborar el mapa se normalizaron las nubes de puntos, de modo que las altitudes de los puntos de la nube se transformaron en coordenadas de elevación respecto al suelo. El algoritmo utilizado para ello fue “point-to-raster” (p2r) del paquete *lidr* disponible para el software libre R (ROUSSEL et al., 2020; ROUSSEL Y AUTY, 2021). Este algoritmo parte de una cuadrícula definida por el usuario, que en este caso se estableció en 10x10 metros. Para cada píxel se obtiene la altura de la vegetación a partir del valor máximo de elevación de los puntos en la celda considerada. El resultado es un modelo de alturas de la vegetación, conocido por sus siglas en inglés CHM. Este mapa fue reclasificado en cuatro intervalos, adaptados del modelo de combustibles *Prometheus* (ARROYO et al., 2006). Se detallan en la Tabla 6. El resultado es un mapa de clases de alturas de vegetación.

Tabla 6. Intervalos de alturas de vegetación establecidos según el modelo de combustibles de *Prometheus* (Arroyo et al, 2006).

Clase de altura de vegetación	Intervalo de alturas de la vegetación (m)
1	<0,6
2	0,6-2
3	2-4
4	>4

3.3.6. Cartografía de posición topográfica

La topográfica es también un factor clave en la propagación de incendios forestales. Existen diversos algoritmos para identificar de forma automatizada la posición topográfica de un punto del territorio a partir del Modelo Digital del Terreno. En este caso se ha utilizado el Índice de posición topográfica (TPI) mediante la herramienta “Corridor designer” disponible para ArcGis® (JENNESS, 2013). Este índice mide la posición topográfica de un punto como la diferencia entre la elevación del terreno en ese punto y la elevación promedio de su entorno (WEISS, 2001). El TPI permite analizar las propiedades morfométricas del terreno. En este caso se aplicó sobre el MDT 5x5.

La herramienta “Corridor designer” reclasificó automáticamente el índice TPI en cuatro clases según la tipología del mismo. El resultado obtenido es un mapa donde cada píxel tiene un valor en función de su posición topográfica. Los resultados se pueden interpretar en términos de píxeles situados en zonas llanas, zonas de pendientes pronunciadas, zonas de valle y elevaciones (Tabla7).

Tabla 7. Correspondencia de valores del índice TPI.

TPI	Morfología
1	Cañón
2	Pendiente suave
3	Pendiente pronunciada
4	Elevaciones

3.3.7. Otros productos cartográficos

Otras variables de interés desde el punto de vista de la prevención de incendios forestales son: la orientación topográfica, la pendiente del terreno, la proximidad de cursos de agua y la proximidad de edificaciones.

La orientación topográfica de los píxeles en las áreas de influencia de las agrupaciones se obtuvo del mapa correspondiente disponible en el portal de descargas del IET. En este mapa cada píxel tiene un nivel digital asociado que se corresponde con el ángulo formado por el vector de máxima pendiente con el Norte geográfico, expresado en grados sexagesimales.

La pendiente de los píxeles en las áreas de influencia de las agrupaciones de yacimientos se obtuvo del mapa de pendientes elaborado por el IGN. En este mapa cada píxel tiene un nivel digital que expresa la pendiente del terreno en ese punto expresada en %. Los valores de las pendientes fueron reclasificados en cuatro intervalos considerando los parámetros recogidos en la “Fotoguía de combustibles forestales de Galicia y comportamiento del fuego asociado” (ARELLANO et al., 2016). La correspondencia entre las categorías definidas y los intervalos de pendiente considerados se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Clases de pendiente.

Clases de pendiente	Poncentaje (%)	Grados(°)
1	<20	<11,31
2	20-30	11,31-16,70
3	30-40	16,70-21,80
4	>40	>21,80

La proximidad de cursos de agua se analizó a partir de la capa vectorial Red Hidrográfica de la Base Topográfica de Galicia (BTG, 2020). Se elaboró un mapa donde a cada píxel se le asignó el nivel digital correspondiente a la mínima distancia del píxel al curso de agua más próximo. De forma similar, la proximidad de edificaciones se analizó a partir de la capa vectorial Edificaciones de la Base Topográfica de Galicia (BTG, 2020). Se elaboró un mapa donde a cada píxel se le asignó un nivel digital correspondiente a la mínima distancia del píxel a la edificación más próxima.

3.3.8. Caracterización de las agrupaciones.

Las agrupaciones de yacimientos arqueológicos se caracterizaron a partir de las fuentes cartográficas disponibles y las elaboradas *ad hoc*. Para ello se obtuvo la intersección del mapa vectorial de los contornos de las agrupaciones con cada uno de los mapas de píxeles de interés. De este modo, cada píxel dentro de una agrupación dada tiene un valor para cada una de las variables consideradas. Estos valores se agregan según diferentes criterios. Se describen a continuación:

- Usos del suelo. El valor característico de vegetación para cada agrupación se determinó a partir del uso más frecuente en la misma.
- Altura de vegetación. El valor característico de altura de vegetación para cada agrupación se determinó a partir de la clase de altura más frecuente en la misma.
- Posición topográfica. El valor característico de posición topográfica para cada agrupación se determinó a partir de la clase de posición más frecuente en la misma.
- Pendiente: El valor característico de pendiente para cada agrupación se determinó a partir de la clase de pendiente más frecuente en la misma.
- Orientación: El valor característico de orientación para cada agrupación se determinó a partir de la clase de orientación más frecuente en la misma.

- Distancia a ríos: El valor característico de distancia a ríos para cada agrupación se determinó mediante la media de los valores de mínima distancia de los píxeles pertenecientes a la misma.

- Distancia a edificaciones: El valor característico de distancia a edificaciones para cada agrupación se determinó mediante la media de los valores de mínima distancia de los píxeles pertenecientes a la misma.

Como resultado de este paso, a la capa vectorial que incluye todas las agrupaciones de yacimientos arqueológicos emplazadas en suelo forestal en el área de estudio se le añaden tantos campos como variables consideradas. De este modo, a cada polígono se le hace corresponder un valor característico por cada una de las variables. Se analizan los resultados obtenidos para observar si concordancias entre los resultados de las variables.

3.3.9. Selección de agrupaciones de interés para la prevención de incendios forestales

Para realizar la selección de las agrupaciones de interés desde el punto de vista de la prevención de incendios forestales, se establecieron tres criterios (un resumen de estos se presenta en la Tabla 9):

- Usos del suelo. Las áreas de influencia de yacimientos arqueológicos donde la actuación sobre la vegetación puede comportar potencialmente una mejora en la prevención del territorio frente a incendios forestales, son aquellas actualmente ocupadas por las tipologías caracterizadas por una gran cantidad de combustible o más favorables a la propagación. En concreto se consideraron todas aquellas agrupaciones que tenían como uso mayoritario eucaliptos, coníferas, frondosas, matorral y suelo desnudo. Las tres primeras son las que presentan mayores alturas de vegetación y por tanto mayor cantidad de combustible.

- Extensión. Se consideraron todas aquellas agrupaciones con áreas de influencia de superficie total comprendida entre 5 y 15 ha. Las actuaciones sobre la vegetación en áreas de cierta entidad pueden llegar a modificar de forma significativa el comportamiento de un incendio forestal.

- Posición topográfica. Se consideraron todas aquellas agrupaciones con posición topográfica mayoritaria en elevaciones o laderas de pendiente pronunciada. El motivo es que en las cimas ocurren cambios en el avance de los incendios, y las elevadas pendientes pueden suponer un freno en direcciones de descenso. Además, se corresponden con las áreas más alejadas de cursos de agua, y por ello con más combustible disponible.

Tabla 9. Criterios generales para la selección de agrupaciones. Usos: (1) Eucaliptos, (2) coníferas, (3) frondosas, (7) matorral, (8) suelo desnudo. TPI: (3) zonas de pendiente pronunciada, (4) cimas.

Criterio de selección	Valores
Uso del suelo	1,2,3, 7 y 8
Superficie	5-15 ha
TPI	3 y 4

4. Resultados

4.1. Selección de elementos arqueológicos

En el área de estudio hay un total de 2059 enclaves georreferenciados de interés patrimonial según la cartografía oficial. Los criterios de selección establecidos han permitido extraer los yacimientos arqueológicos. Ascenden a 755 elementos, lo cual supone un 36,7% del total. La distribución en el territorio se muestra en la figura 3. Se observa que hay una mayor concentración en el extremo Sur de la Sierra da Grova, vertiente Oeste y proximidades de Baiona.

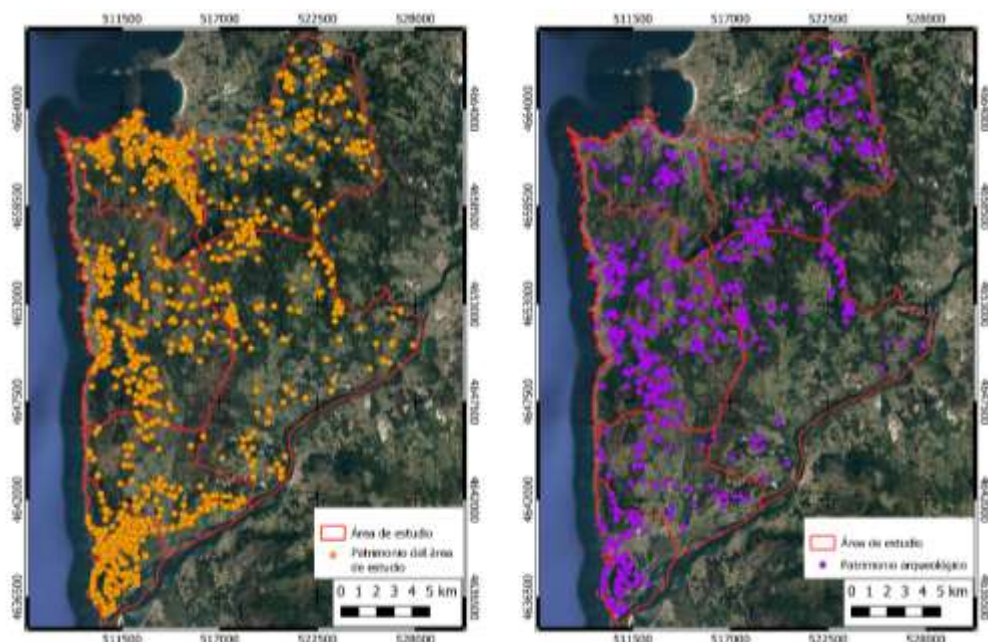


Figura 3. Distribución espacial de bienes de interés patrimonial en conjunto (izquierda) y yacimientos arqueológicos (derecha) en el área de estudio.

4.2. Selección de yacimientos arqueológicos en áreas forestales y definición de agrupaciones

Según los criterios definidos en la metodología para la consideración de suelo forestal, en el área de estudio hay 25.497 ha de suelo forestal, lo cual supone el 69,8% de la superficie total. El 91,7% de los yacimientos arqueológicos del área de estudio están en estas áreas, concretamente 692.

Sobre los puntos que definen la geolocalización de los yacimientos arqueológicos seleccionados se aplicaron los buffers de 100 metros de radio y se disolvieron los polígonos tangentes y secantes, como se describió en la metodología. Esto permitió generar 319 agrupaciones. Se muestran en la figura 4.

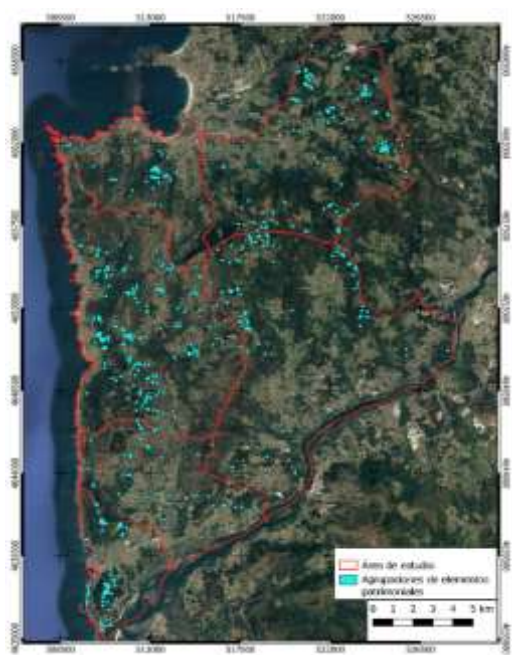


Figura 4. Distribución de las 319 agrupaciones de elementos patrimoniales.

4.4. Caracterización de las agrupaciones

Como se menciona en la metodología, las agrupaciones fueron caracterizadas según siete variables. A modo de ejemplo, se muestra en la siguiente figura, el aspecto de estas variables para dos de las agrupaciones obtenidas:

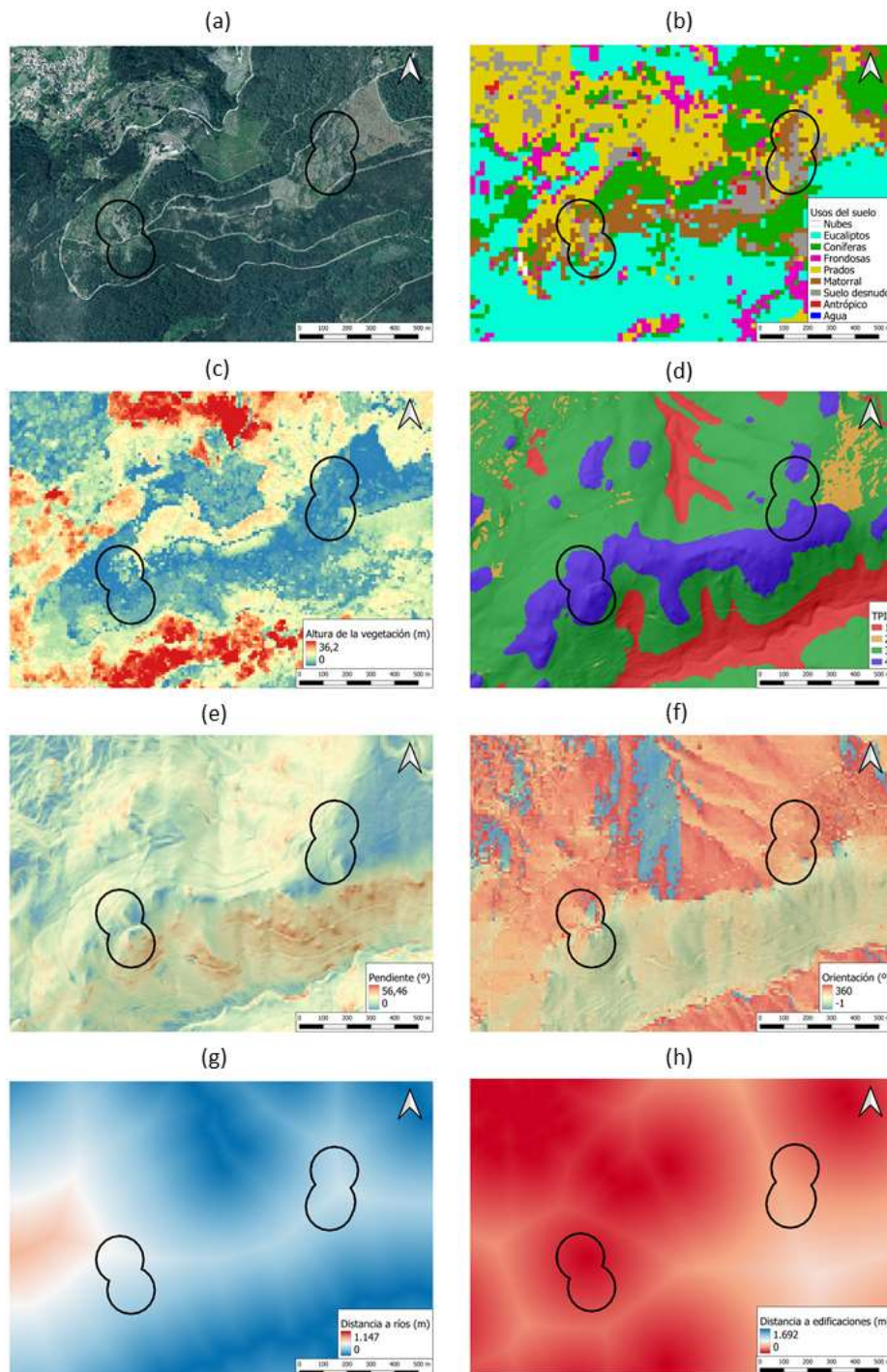


Figura 5. Se muestran detalles de las variables utilizadas para la caracterización en dos de las agrupaciones. (a) Vista aérea de las agrupaciones de ejemplo. (b) Mapa de usos de suelo. (c) Mapa de alturas de la vegetación en metros. (d) Mapa de TPI. (e) Mapa de pendientes en grados. (f) Mapa de orientaciones. (g) Mapa de distancia a ríos en metros. (h) Mapa de distancia a edificaciones en metros.

A partir de los datos contenidos en estas capas, se realizó la caracterización de cada una de las agrupaciones de elementos. Se obtuvieron sus valores característicos de pendiente, orientaciones, alturas, distancia a ríos, distancia a edificaciones, TPI y de uso del suelo. Una vez obtenidos los valores característicos para cada agrupación, se integraron todas las variables. En la tabla 10 se muestran las medias, desviaciones típicas y rangos de valores para los parámetros superficie de la agrupación, número de elementos por agrupación, distancia a ríos y distancia a edificaciones. La superficie de las 319 agrupaciones obtenidas es muy variable. También lo es el número de elementos por agrupación. Además, el número de elementos por agrupación no es directamente proporcional a su extensión.

Tabla 10. Medias, desviaciones típicas y rango de valores de algunos de los parámetros usados en la caracterización de las 319 agrupaciones patrimoniales arqueológicas que se encuentran en el área de estudio.

Parámetro	Media	Desviación típica	Rango de valores
Número de elementos por agrupación	2,2	3,4	1-35
Superficie de la agrupación (ha)	4,6	3,5	3,1 - 28,9
Distancia a ríos (m)	319,2	406,8	23,5 - 2600,4
Distancia a edificaciones (m)	345,0	325,4	8,6 - 1601,3

En la figura 6 puede verse un resumen de las variables como el uso del suelo, orientación, TPI y altura de la vegetación. Como puede observarse el uso mayoritario en el que se encuentran las agrupaciones es el uso de “Pastos” ya que el 26% de los elementos se encuentran en zonas de pasto. El 20% de los elementos se encuentran en masas de coníferas y el 17% en masas de eucaliptos. En áreas de matorral, se encuentran un 15% de los elementos. Por otro lado, según los resultados obtenidos, el 70% de las agrupaciones se encuentran en áreas donde la vegetación tiene una altura superior a los 4 metros. Además, es destacable, que el 58% de las agrupaciones se encuentra en zonas de pendiente pronunciada.

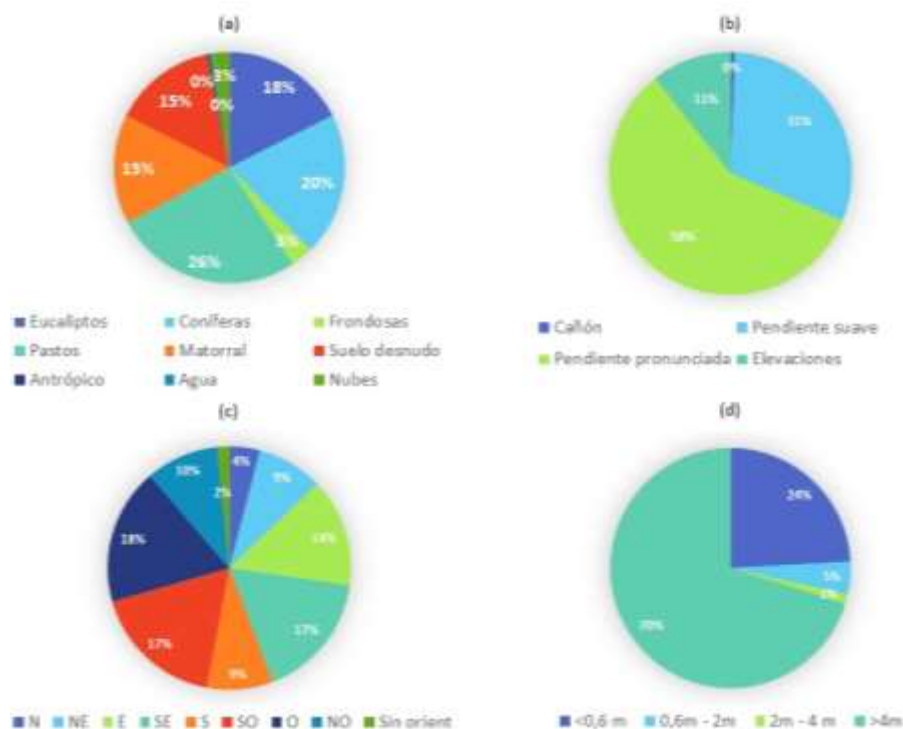


Figura 6. Distribución de las agrupaciones en porcentaje dependiendo de (a) uso de la vegetación, (b) TPI, (c) orientación y (d) altura de la vegetación.

4.5. Selección de agrupaciones de interés

Se determinaron las agrupaciones de interés a partir de los criterios de selección establecidos en la metodología de este trabajo. El número total de agrupaciones seleccionadas fue 37. Estas agrupaciones contienen en total 159 elementos patrimoniales y cubren una superficie total de 272,2 ha, cubriendo la más pequeña una extensión de 5,1 ha y 14,03 ha la más grande. En la Figura 7 se muestran fotos de algunas de las agrupaciones seleccionadas.

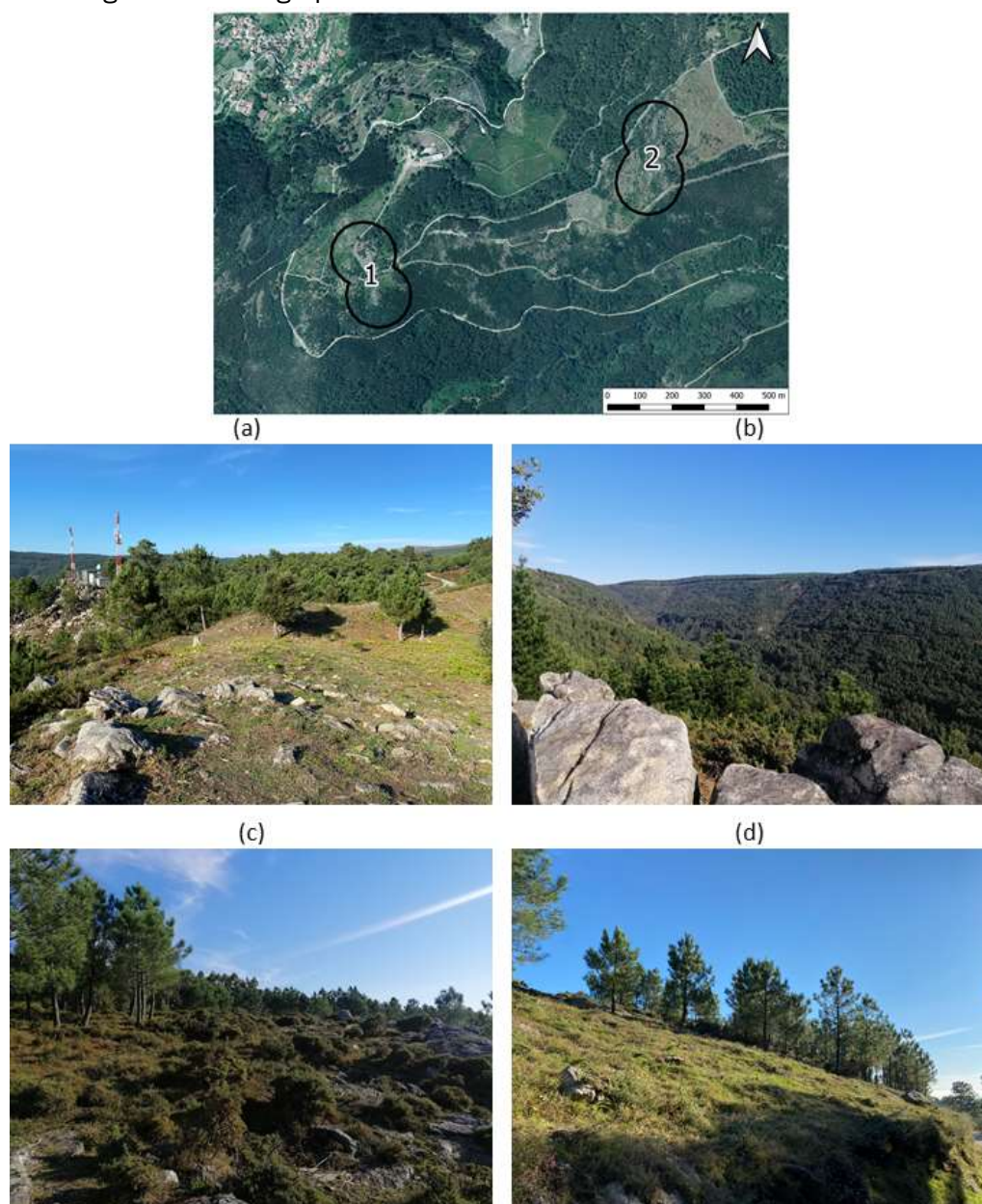


Figura 7. Vista aérea de las agrupaciones visitadas en campo. La foto (a) y (b) se corresponden con la agrupación 1 de la vista aérea. Las fotos (c) y (d) se corresponden con la agrupación 2.

5. Discusión

Este trabajo ha permitido constatar la abundancia de elementos patrimoniales en la comarca del Baixo Miño y ayuntamientos limítrofes. Muestra de ello es que el área recoge el 3,3% de los

elementos catalogados en la Comunidad, si bien supone únicamente el 1,2% de la superficie total. Este resultado concuerda con las conclusiones de RODRIGUEZ RELLÁN et al. (2018). Es importante destacar que la disponibilidad de cartografía de geolocalización de elementos patrimoniales es esencial para realizar estudios de este tipo. Los esfuerzos y el trabajo de investigación a lo largo de las últimas décadas han sido esenciales para elaborar la cartografía actual. Algunos estudios a destacar en el plano metodológico y teórico son RODRÍGUEZ RELLÁN et al. (2018), y VÁZQUEZ MARTÍNEZ et al. (2016). Sin embargo, las dificultades encontradas en el filtrado y selección de los yacimientos arqueológicos han evidenciado que la catalogación de los elementos patrimoniales todavía es mejorable.

De entre los elementos patrimoniales encontrados en la zona, hay que señalar que destacan de forma especial los elementos arqueológicos, principalmente castros, elementos funerarios, y petroglifos. Este tipo de elementos suponen un 36,7% del total. Esta riqueza de estaciones rupestres y patrimonio de carácter arqueológico fue ya señalada en otros trabajos como por ejemplo el de POZO-ANTONIO et al., (2018). El análisis espacial de la distribución de los yacimientos arqueológicos junto con otras fuentes cartográficas ha permitido evidenciar que la mayor parte de ellos se sitúan en áreas forestales, concretamente el 91,66%. Esto es algo que también se apunta en otros trabajos como, por ejemplo, en el de DIMITROPOULOS et al. (2010).

El desarrollo de cartografía ad hoc para la caracterización del entorno físico y fisiográfico de los yacimientos arqueológicos del área de estudio ha permitido llevar a cabo un análisis pormenorizado. Un alto porcentaje de elementos se encuentra en áreas con usos claramente forestales. El 20% de los elementos están en zonas de coníferas, el 18% se encuentra rodeado de eucaliptos, el 15% en zonas con matorral y el 3% en áreas de frondosas. Sin embargo, hay un 26% de los elementos patrimoniales que se encuentran en zonas que se corresponden con cultivos y prados. Esto resulta a priori contradictorio con el filtro aplicado para selección de yacimientos ubicados en teselas del MFE estrictamente forestales. Este resultado pone de manifiesto que el desfase temporal entre la cartografía de usos desarrollada en este estudio y la fecha de elaboración del MFE no es trivial. La tasa de cambio de usos del suelo en Galicia es muy significativa (CORBELLE et al. 2014), de modo que la cartografía debe ser actualizada de forma continua para reflejar el estado actual del territorio.

Finalmente, tras la aplicación de los criterios de selección establecidos en este trabajo, se contabilizaron 37 agrupaciones en el área de estudio donde la actuación preventiva sobre la vegetación podría favorecer la protección de los yacimientos frente a incendios forestales, la protección del territorio a escala de paisaje y la protección de los potenciales visitantes en caso de incendio. El paso siguiente y necesario es introducir el uso de simuladores de incendios para establecer el tipo e intensidad de las actuaciones que tendrían mayor eficacia para garantizar estos tres ejes de prevención contra incendios forestales.

6. Conclusiones

Este estudio describe un procedimiento para filtrar, agrupar, caracterizar y reconocer enclaves de patrimonio arqueológico donde la gestión preventiva de la vegetación circundante pueda ser eficaz en la protección del elemento en sí, del territorio a escala de paisaje y de los potenciales visitantes. El análisis de los yacimientos arqueológicos en el área de estudio ha permitido evidenciar la estrecha vinculación entre éstos y el medio forestal. También ha puesto de manifiesto la necesidad de disponer de información actualizada del territorio y de resolución espacial suficiente. Las fuentes cartográficas oficiales de acceso abierto actualmente disponibles en España satisfacen esta necesidad, permitiendo obtener de forma automatizada cartografía del medio físico y fisiográfico en áreas de influencia de yacimientos arqueológicos. Destaca la utilidad de las imágenes satelitales Sentinel-2 y los datos LiDAR PNOA, ya que permiten cartografiar con precisión la tipología y la altura de la vegetación respectivamente.

Este trabajo constituye un ejemplo de que el análisis agregado de fuentes cartográficas puede servir de base para abordar de forma integral la prevención de incendios forestales, la conservación del patrimonio cultural, y la protección de las personas que disfrutan del mismo en entornos

forestales. Estudios futuros deberán confirmar mediante herramientas de simulación de incendios la eficacia de las actuaciones preventivas sobre la vegetación en las áreas señaladas.

7. Agradecimientos

Este trabajo está financiado por el Proyecto PID2019-111581RB-I00 de la convocatoria Retos financiada por el Ministerio de Ciencia Innovación e Universidades del Gobierno de España. Además, por el Proyecto EP-INTERREG V A España Portugal (POCTEP) bajo la beca FIREPOCTEP. 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.; ARMESTO, J.; 2021. Forest land cover mapping at a regional scale using multi-temporal sentinel-2 imagery and rf models. *Remote Sensing*, 13(12) doi:10.3390/rs13122237

ESRI; 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

ARELLANO, S.; VEGA, J.A.; RUÍZ, A.D.; ARELLANO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; VEGA, D.J.; PÉREZ, E.; 2016. Fotoguía de combustibles de Galicia. Andavira Editora. Santiago de Compostela. 978-84-8408-986-5.

ARROYO, L. A.; HEALEY, S. P.; Cohen, W. B.; Cocero, D.; Manzanera, J. A.; 2006. Using object-oriented classification and high-resolution imagery to map fuel types in a mediterranean region. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(4) doi: 10.1029/2005JG000120

AGADER; 2011. Plan de zona rural de Pontevedra este y sur. Provincia de Pontevedra https://agader.xunta.gal/sites/w_pagade/files/documentacion/PDRS/planzona_final_pontevedraestesur.pdf (Visitado 20 Enero 2022).

BERTOLIN, C.; 2019. Preservation of cultural heritage and resources threatened by climate change. *Geosciences (Switzerland)*, 9(6) doi:10.3390/geosciences9060250

BLASI, C.; CELESTI-GRAPOW, L.; 2004. The role of alien and native weeds in the deterioration of archaeological remains in Italy. *Weed Technology*, 18.

BOSHER, L.; KIM, D.; OKUBO, T.; CHMUTINA, K.; JIGYASU, R.; 2020. Dealing with multiple hazards and threats on cultural heritage sites: An assessment of 80 case studies. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(1), 109-128. doi:10.1108/DPM-08-2018-0245

BOTEQUIM, B.; FERNANDES, P. M.; BORGES, J.G.; GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; GUERRA-HERNÁNDEZ J.; 2019. Improving silvicultural practices for Mediterranean forests through fire behaviour modelling using LiDAR-derived canopy fuel characteristics. *International Journal of Wildland Fire* 28, 823-839. doi: 10.1071/WF19001

BTG; 2020. Base Topográfica de Galicia 2020. <http://mapas.xunta.gal/base-topografica-2020> (Visitado 20 Enero 2022).

CANEVA, G.; BENELLI, F.; BARTOLI, F.; CICINELLI, E.; 2018. Safeguarding natural and cultural heritage on etruscan tombs (La Banditaccia, Cerveteri, Italy). *Rendiconti Lincei*, 29(4), 891-907. doi:10.1007/s12210-018-0730-7

CORBELLE RICO, E.; CRECENTE MASEDA, RAFAEL.; 2014. Urbanización, forestación e abandono. Cambios recentes na paisaxe de Galicia, 1985-2005. *Revista Galega de economía*, 23(1), 35-52.

DE DIEGO, J.; Rúa, A.; Fernández, M.; 2021. Vulnerability Variables and their effect on wildfires in Galicia (Spain). A Panel Data Analysis. *Land*, 10(10), 1004. doi:10.3390/land10101004

DE MASI, F.; LAROSA, F., PORRINI, D., MYSIK, J.; 2021. Cultural heritage and disasters risk: A machine-human coupled analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 59 doi:10.1016/j.ijdrr.2021.102251

DIMITROPOULOS, K., KÖSE, K., GRAMMALIDIS, N.; CETIN, E.; 2010. Fire detection and 3D fire propagation estimation for the protection of cultural heritage areas. *ISPRS Technical Commission VIII Symposium Networking the World with Remote Sensing (ISPRS2010)*, Kyoto, 38 620-625.

DUPUY, J.; FARGEON, H.; MARTIN-STPAUL, N.; PIMONT, F.; RUFFAULT, J., GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; FERNANDES, P.; 2020. Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern europe: A review. *Annals of Forest Science*, 77(2) doi:10.1007/s13595-020-00933-5

ELDRANDALY, K.; 2013. GIS and spatial decision making. *Geographic Information Systems*. 61-84. 978-161209925-5.

ESA, s.f.; Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (Visitado 20 Enero 2022)

FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, M.; ARMESTO, J.; PICOS, J.; 2019. LiDAR-Based Wildfire Prevention in WUI: The Automatic Detection, Measurement and Evaluation of Forest Fuels. *Forests*, 10(2), 148. doi: 10.3390/f10020148

FIGUEIRIDO, R.; PAUPÉRIO, E.; & ROMÃO, X.; 2021. Understanding the impacts of the october 2017 portugal wildfires on cultural heritage. *Heritage*, 4(4), 2580-2598. doi:10.3390/heritage4040146

GÓMEZ-HERAS, M.; McCAMBE, S.; SMITH, B. J.; FORT, R.; 2009. Impacts of fire on stone-built heritage. *Journal of Architectural Conservation*, 15(2), 47-58. doi:10.1080/13556207.2009.10785047

HAMBRECHT, G. & ROCKMAN, M.; 2017. International approaches to climate change and cultural heritage. *American Antiquity*, 82 (4), 627-641. doi:10.1017/aaq.2017.30

HILLMAN, S.; WALLACE, L.; REINKE, K.; JONES, S; 2021. A comparison between TLS and UAS LiDAR to represent eucalypt crown fuel characteristics. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 181, 295-307. doi:10.1016/j.isprsjprs.2021.09.008

IGN, s.f. Centro de descargas. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (Visitado 20 Enero 2022)

JENNESSESS, J., BROST, B; BEIER, P.; 2013. Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises. http://www.jennessent.com/arcgis/land_facets.htm

LEISSNER, J.; KILIAN, R.; KOTOVA, L.; JACOB, D.; MIKOLAJEWICZ, U., BOSTRÖM, T., VYHLIDAL, T.; 2015. Climate for culture: Assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. *Heritage Science*, 3(1) doi:10.1186/s40494-015-0067-9

Ley 3/2007, de 9 de abril, de prevención y defensa contra los incendios forestales de Galicia (2007). Boletín Oficial del Estado, 119, 18 de mayo de 2007, BOE-A-2007-10022. <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2007/04/09/3/con>

Ley 5/2016, de 4 de mayo, del patrimonio cultural de Galicia (2016). Boletín Oficial del Estado, 147, 18 de junio de 2016, BOE-A-2016-5942. <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2016/05/04/5/corrigendum/20161014>

Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (1985). Boletín Oficial del Estado, 155, 29 de junio de 1985, BOE-A-1985-12534. <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>

MARTÍNEZ, A.V.; VALCARCE, R.F.; RODRÍGUEZ-RELLÁN, C.; 2016. Going by the numbers, a quantitative approach to the Galician prehistoric petroglyphs. En R. Fábregas Valcarce y C. Rodríguez Rellán (eds.): Public images, private readings. Multi-perspective approaches to the Post-Palaeolithic rock art. Proceedings of the XVII UISPP World Congress (Burgos, Spain 2015) 5, Session A11e, Archaeopress Archeology. Oxford: 63-69.

MARKHAM, A., OSIPOVA, E., LAFRENZ SAMUELS, K. AND CALDAS, A. 2016. *World Heritage and Tourism in a Changing Climate. United Nations Environment Programme*, Nairobi, Kenya and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE; 2020. Anuario de estadísticas culturales 2020. *Subdirección General de Atención al ciudadano, Documentación y Publicaciones*, 2172-040.

MITECO (2020). La prevención de incendios forestales en el marco del desarrollo rural. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/prevencion/prevencion_incendios_desarrollo_rural.aspx (Vistado 20 Enero 2022).

MITECO (2011). Mapa forestal de España (MFE) a escala 1:2500. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/mapa-forestal-espana/mfe_25.aspx (Visitado 20 Enero 2022).

MUTLU, M.; POPESCU, S. C.; STRIPLING, C.; SPENCER T; 2008. Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment*, 112(1), 274-285. doi:10.1016/j.rse.2007.05.005

PHILLIPS, H.; 2015. The capacity to adapt to climate change at heritage sites—The development of a conceptual framework. *Environmental Science & Policy*, 47, 118-125. doi:10.1016/j.envsci.2014.11.003

POZO-ANTONIO, J.S.; RIVAS, T.; CARRERA F.; GARCÍA, L.; 2018. Deterioration processes affecting prehistoric rock art engravings in granite in NW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 43(11), 2435-2448. doi: 10.1002/esp.4406

QGIS.org, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org> (Visitado 20 Enero 2022)

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

RODRÍGUEZ-RELLÁN, C.; VÁZQUEZ MARTÍNEZ, A.; FÁBREGAS VALCARCE, R.; 2018. Cifras e imágenes: una aproximación cuantitativa a los petroglifos gallegos. *Trabajos de prehistoria* 75(1), 109-127. doi: <https://doi.org/10.3989/tp.2018.12206>

ROTHERMEL, R. C.; 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.*, 161.

ROUSSEL, J.; AUTY, D.; COOPS, N.C.; TOMPALSKI, P.; GOODBODY, T.R.; MEADOR, A.S.; BOURDON, J.; DE BOISSIEUS, F.; ACHIM, A.; 2020. "lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data." *Remote Sensing of Environment*, 251, 112061. ISSN 0034-4257, doi: 10.1016/j.rse.2020.112061.

ROUSSEL, J.; AUTY, D.; 2021. *Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry Applications*. R package version 3.2.3, <https://cran.r-project.org/package=lidR>.

SESANA, E.; GAGNON, A.S.; CIANTELLI, C.; CASSAR, J.; HUGHES, J.J.; 2021. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4) doi:10.1002/wcc.710

SMITH, A.; JONES, M.; ABATZOGLOU, J.; CANADELL, J., BETTS, R.; 2020. Climate change increases the risk of wildfires. *Electronic Green Journal*, doi:10.5070/G313516266

STAVROS, E.; COEN, J.; PETERSON, B.; SINGH, H.; KENNEDY, K.; RAMIREZ, C.; SCHIMEL, D.; 2018. Use of Imaging Spectroscopy and LIDAR to Characterize Fuels for Fire Behavior

Prediction. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 11. 10.1016/j.rsase.2018.04.010.

TARIQ, A.; SHU, H.; SIDDIQUI, S.; MAOUSA, B.; MUNIR, I.; NASRI, A.; WAQAS, H.; LU, L; FAHAD BAQA, M.; 2021. Forest fire monitoring using spatial-statistical and Geo-spatial analysis of factors determining forest fire in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1212-1233. doi: 10.1080/19475705.2021.1920477

TEDIM, F.; LEONE, V.; AMRAOUI, M.; TEDIM, F.; LEONE, V.; AMRAOUI, M; BOUILLON, C.; COUGHLAN, M.R.; DELOGU, G.M.; FERNANDES, P.M.; FERREIRA, C.; McCAFFREY, S.; McGEE, T.K.; PARENTE, J.; PATON, D.; PEREIRA, M.G.; RIBEIRO, L.M.; VIEGAS, D.X.; XANTHOPOULOS, G.; 2018. Defining extreme wildfire events: Difficulties, challenges, and impacts. *Fire*, 1(1), 1-28. doi:10.3390/fire1010009

UNESCO, 2014. Indicadores UNESCO de cultura para el desarrollo. Manual metodológico. 978-92-3-300001-8

XUNTA DE GALICIA; s.f. Información xeográfica de Galicia. Descargas de cartografía. <http://mapas.xunta.gal/visores/descargas/> (Visitado 20 Enero 2022).

YASTIKLI, N; 2007. Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 423-427. doi:10.1016/j.culher.2007.06.003

WEISS, A.D.; 2001. Topographic position and landforms analysis. Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA. http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf