



INSTITUTO INTERUNIVERSITARIO
DE GEOGRAFÍA



Facultat de
Filosofia i Lletres
Escriu el teu futur

Facultad de
Filosofía y Letras
Escribe tu futuro



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

INSTITUTO INTERUNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SIG y Teledetección aplicados al
estudio de la ocupación del territorio y
su influencia en la severidad del
incendio de la Vall d'Ebo (Agosto 2022)**

AUTORA: Rosa Valero Esparcia

TUTOR: Alfredo Ramón Morte

ALICANTE, 17/01/2024

Agradecimientos

Doy las gracias a mis seres queridos por vuestra paciencia, aliento y el constante recordatorio de que cada desafío es una oportunidad de crecimiento. En lo académico, a mi tutor, a los profesores y ponentes del Máster de Planificación y Gestión en Riesgos Naturales, que me han enseñado tanto y siempre me han hecho ver la Geografía como una herramienta muy poderosa e intersectorial.

Agradecer también al Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante y a su personal administrativo, técnico y de servicios, que me ofrecieron un entorno de trabajo excelente.

Además, agradecer al Área de Cooperación Universitaria para el Desarrollo, por la concesión de la Beca para impulsar los Trabajos de Fin de Máster en el marco de la promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), del curso académico 2022/2023, que se traduce en la realización de este trabajo.

Por último, trasladar todo mi cariño a los afectados por el incendio de la Vall d'Ebo y municipios circundantes.

ÍNDICE

RESUMEN / ABSTRACT.....	6
1. Introducción.....	7
2. Justificación, objetivos e hipótesis.....	10
3. Metodología y fuentes de información	12
3.1. Bibliografía.....	12
3.2. Fuentes de información sobre la ocupación del territorio en España... 13	
3.2.1. Sistemas de Información sobre la Ocupación del Suelo en España (SIOSE).....	15
3.2.2. Corine Land Cover (CLC).....	16
3.3. Fuentes y Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	17
3.4. Estrategia de trabajo.....	19
3.4.1. Obtención del área quemada y las zonas de severidad.....	20
3.4.2. Uso de los datos de ocupación del suelo.....	24
3.4.3. Matriz de tabulación cruzada, Pontius et al. (2004) aplicada en el área quemada y las zonas de severidad.....	26
4. Caracterización de la zona de estudio.....	29
4.1. Elementos físicos.....	30
4.2. Elementos antrópicos.....	33
5. Estado de la cuestión.....	37
5.1. Marco legal sobre prevención de incendios forestales a escala nacional.....	37
5.2. Marco legal sobre prevención de incendios forestales de la Comunitat Valenciana.....	38
6. Resultados de la investigación.....	41
6.1. Análisis de la superficie total afectada por el incendio.....	41
6.1.1. Matriz de tabulación cruzada.....	42
6.1.2. Severidad de incendio.....	48
6.2. Análisis de las zonas de mayor severidad del incendio.....	49
7. Conclusiones.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXO I: Recopilación de composiciones.....	64
ANEXO II: Abreviaturas.....	70

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de localización del área de estudio. Elaboración propia.	10
Figura 2: Comportamiento de las curvas de respuesta espectral. Fuente: U.S. Forest Service.....	18
Figura 3: Bandas del Satélite Sentinel 2. Fuente: ESA.....	20
Figura 4: Esquema del desarrollo del cálculo para los índices NBR y dNBR y sus geometrías correspondientes. Elaboración propia.....	21
Figura 5: Valores de gravedad de incendio del USGS-USDA.....	23
Figura 6: Esquema del procedimiento para obtener las capas de LUCC para 1956 y 2022. Elaboración propia.....	26
Figura 7: Esquema del proceso en SIG para la matriz de tabulación cruzada. Elaboración propia.....	29
Figura 8: Climograma contenido en el Mapa de climas valencianos 1:350.000. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià (2023).....	32
Figura 9: Climograma contenido en el Mapa de climas valencianos 1:350.000. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià (2023).....	31
Figura 10: Mapa de los Hábitats Naturales de la Directiva Hábitat afectados por el incendio. Elaboración propia.....	33
Figura 11: Evolución de asentamientos urbanos mediante imágenes de satélite de 1956 y 2022. Fuente IDEV (Ortofotos 1956 y 2022). Elaboración propia.....	34
Figura 12: Mapa de la zona quemada. Elaboración propia.....	42
Figura 13: Mapas de LUCC 1956-2022 de la zona quemada. Elaboración propia.....	43
Figura 14: Mapas de las transiciones que han sufrido el pinar y las otras formaciones forestales entre 1956 y 2022. Elaboración propia.....	46
Figura 15: Mapas de las transiciones que han sufrido los cultivos y las zonas urbanas entre 1956 y 2022. Elaboración propia.....	47
Figura 16: Mapa de la zona quemada categorizada por el índice dNBR. Elaboración propia.....	49

Figura 17: Mapa de ubicación y agrupación de las zonas de mayor severidad de incendio. Elaboración propia.....49

Figura 18: Mapas de las zonas de mayor severidad con los LUCC de 1956. Elaboración propia.....51

Figura 19: Mapas de las zonas de mayor severidad con los LUCC de 2022. Elaboración propia.....52

Índice de tablas

Tabla 1: Ejemplo de la tabla de atributos que tiene la capa de LUCC de 1956. Elaboración propia.....24

Tabla 2: Categorización de LUCC desde el SIOSE. Elaboración propia.....25

Tabla 3: Matriz de tabulación cruzada. Elaboración propia a partir de Pontius et al. (2004).....28

Tabla 4: Cálculos a partir de la matriz de tabulación cruzada. Elaboración propia a partir de Pontius et al. (2004).....28

Tabla 5: Superficie total en hectáreas de los cultivos de los municipios de estudio. Datos de 2022 tomados de las Estadísticas agrícolas del Portal Agrario GVA. Elaboración propia.....35

Tabla 6: Matriz aplicada a los LUCC de la zona quemada entre 1956-2022. Elaboración propia.....44

Tabla 7: Variables de cambios de la zona quemada entre 1956-2022. Elaboración propia.....44

Tabla 8: Matriz aplicada a los LUCC de la zona A entre 1956-2022. Elaboración propia.....53

Tabla 9: Variables de cambios de la zona A entre 1956-2022. Elaboración propia.....53

Tabla 10: Matriz aplicada a los LUCC de la zona B entre 1956-2022. Elaboración propia.....54

Tabla 11: Variables de cambios de la zona B entre 1956-2022. Elaboración propia.....54

Tabla 12: Matriz aplicada a los LUCC de la zona C entre 1956-2022. Elaboración propia.....55

Tabla 13: Variables de cambios de la zona C entre 1956-2022. Elaboración propia....	55
Tabla 14: Matriz aplicada a los LUCC de la zona D entre 1956-2022. Elaboración propia.....	56
Tabla 15: Variables de cambios de la zona D entre 1956-2022. Elaboración propia....	56
Tabla 16: Matriz aplicada a los LUCC de la zona E entre 1956-2022. Elaboración propia.....	57
Tabla 17: Variables de cambios de la zona E entre 1956-2022. Elaboración propia.....	57
Tabla 18: Matriz aplicada a los LUCC de la zona F entre 1956-2022. Elaboración propia.....	58
Tabla 19: Variables de cambios de la zona F entre 1956-2022. Elaboración propia....	58

Índice de gráficos

Gráfico 1: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona quemada, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	46
Gráfico 2: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona A, periodo 1956-2022. Elaboración propia.	53
Gráfico 3: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona B, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	54
Gráfico 4: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona C, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	55
Gráfico 5: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona D, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	56
Gráfico 6: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona E, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	57
Gráfico 7: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona F, periodo 1956-2022. Elaboración propia.....	58

RESUMEN

En este trabajo se analiza la gravedad del incendio de agosto de 2022 en la Vall d'Ebo, uno de los mayores incendios que ha sufrido la Comunidad Valenciana durante su historia. Desde un enfoque geográfico, existe un gran interés en estudiar la evolución y cambio de los usos del suelo (CCUS), por su implicación en los cambios de paisaje y su influencia en el aumento de la peligrosidad y la severidad de los incendios forestales. En este sentido, la Teledetección Espacial, gracias a la información procedente de los sensores multiespectrales de los satélites Sentinel de la Agencia Espacial Europea (ESA), junto con la fotointerpretación de los vuelos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), constituyen una poderosa fuente de información para analizar los eventos recientes, como el de la Vall d'Ebo. La capacidad de proceso de este tipo de información desde Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el empleo de álgebra de mapas y geoprocursos de superposición, ayudará a analizar la gravedad de las zonas quemadas y los cambios de usos del suelo, para determinar en qué medida los recientes cambios de paisaje acaecidos a lo largo de los últimos decenios han favorecido la existencia de estas zonas de mayor gravedad de incendio. Además, este análisis se hará partiendo de la definición del marco legal sobre incendios forestales y analizando las características geográficas de la zona de estudio, incluyendo la situación climática que propició el origen de este incendio reciente.

Palabras clave: Incendios forestales, Vall d'Ebo, usos del suelo, cambios de coberturas y usos del suelo (CCUS), riesgos naturales, severidad de incendio, Sistemas de información Geográfica (SIG), Teledetección Espacial.

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to analyse the severity of the August 2022 fire in the Vall d'Ebo, one of the largest fires that the Valencian Community has suffered during its history. From a geographical perspective, there is great interest in studying the evolution and change of land uses, due to their implication in landscape changes and their influence on the increase in danger and severity of forest fires. In this sense, Remote Sensing, thanks to the information from the multispectral sensors of the European Space Agency's (ESA) Sentinel satellites, together with the photo-flights interpretation of National Plan of Aerial Photography (PNOA), constitute a powerful source of information to analyse recent events, such as the Vall d'Ebo. The

processing capacity of this type of information from Geographic Information Systems (GIS), with the use of map algebra and overlay geo processes, will help to analyse the severity of burned areas and changes in land use, to determine to what extent the recent changes in landscape that have occurred over the last decades have favoured the existence of these areas of greater fire severity. In addition, this analysis will be carried out based on the definition of the legal framework on forest fires and analysing the geographical characteristics of the study area, including the climatic situation that led to the origin of this recent fire.

Key words: Wildfires, Vall d'Ebo, land use, land use and cover changes (LUCC), natural hazards, Geographical Information System (GIS), Remote Sensing.

1. Introducció

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal evidenciar las zonas de mayor severidad del incendio del 13 de agosto de 2022 en la Vall d'Ebo (Alicante) y además, comprobar si durante el paso de los años, en este lugar ha habido cambios en los usos del suelo que pudieron favorecer la virulencia de este incendio, uno de los más importantes de entre los grandes incendios forestales (GIF) de la Comunidad Valenciana de los últimos diez años (Generalitat Valenciana, 2023). Se interpreta la severidad del incendio como el impacto que produce este suceso en un medio, teniendo en cuenta primero la quema de combustible y a largo plazo las consecuencias que deja en la recuperación del medio. El motivo de la elección de este tema se debe al interés en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección Pasiva para conocer el origen o evolución de diferentes tipos de riesgos naturales. En este caso se eligieron los incendios forestales debido a que en los últimos años se ha aumentado el número de sucesos en la provincia y existe cierta cercanía e interés personal sobre ellos.

La definición de incendio forestal se recoge en la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes en su artículo 6.k) y se define como “*fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte*”. Este tipo de

riesgo puede ser de origen natural o antrópico, pero también se debe considerar que hay factores que favorecen el desencadenante y el desarrollo de un incendio. Debido a periodos de sequía, el innegable cambio climático, el despoblamiento y abandono de la actividad rural, hay incendios que se suceden con mayor virulencia y es en este momento, cuando se habla de incendios de sexta generación o megaincendios. Este tipo de incendios son consecuencia directa del cambio climático y se comienza a hablar de ellos en 2017, a raíz de sucederse diferentes incendios en Portugal y Chile. Esta tipología de incendios de sexta generación la explica Ramón María Bosch (2019) en la revista *Seguritecnia* y dicta: son incendios que (...) generan nubes convectivas a capas altas de la atmósfera (los pyrocumulonimbus) que, a través de procesos de downdraft o colapso de la columna convectiva van a alimentar su crecimiento errático y sorpresivo.

Es innegable que la acción del cambio climático está afectando a las consecuencias de los eventos naturales y a su incidencia catastrófica, pero los cambios en la ocupación del territorio que realizan los seres humanos también tienen grandes consecuencias en el entorno. En este caso, destaca el despoblamiento del medio rural, que supone el cese de la actividad agrícola y ganadera, el abandono de cultivos y, por tanto, el aumento de la masa o combustible forestal. Esta acción tiene graves consecuencias para los montes, pero también pone en peligro a la población rural en caso de incendio, ya que los núcleos habitados están todavía más cerca de las masas forestales. Sin embargo, existen otras causas antrópicas más graves, ya que según la FAO (2007), el 95 % de los incendios forestales que se dan en la región mediterránea son producidos por causas humanas, ya sea por accidentes, negligencias, actos intencionados, etc.

El incendio forestal de la Vall d'Ebo está considerado por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias como Gran Incendio Forestal, lo cual significa que se quemaron más de 500 ha, un total de 12.152 ha (Alloza *et al.* 2022), por lo que fue necesaria la intervención de figuras como Protección Civil, medios del MITECO, medios de la UME y su declaración como Situación

Operativa de tipo 2¹. Se evacuaron 1.580 personas de sus hogares durante los tres días que duró el incendio y fue solicitada la utilización de los Servicios de Gestión de Emergencias que ofrece el Programa Copernicus en estas situaciones para la monitorización y evolución del incendio (Protección Civil, 2022).

La magnitud de este incendio generó una superficie quemada de unas 10.609,05 ha según el informe de Protección Civil, sin embargo, al realizar los cálculos mediante QGIS se obtuvo el resultado de 11.949 ha. Los municipios que se vieron afectados por este incendio fueron catorce (los cuales se observan en la figura 1): Adsubia, Balones, Benimassot, Castell de Castells, Famorca, Orba, Pego, Planes, Tollos, Tormos, Vall d'Alcalà, Vall d'Ebo, Vall de Gallinera y Vall de Laguar. Estos municipios se encuentran situados en el noreste de la provincia, perteneciendo a la comarca de la Marina Alta y algunos de ellos son el linde con la provincia de Valencia. Si se reflexiona sobre el impacto de los incendios en un extenso lapso de tiempo, es crucial destacar que el incendio que se va a estudiar se inserta en un patrón más amplio de eventos devastadores. Datos como los 2.816 incendios en el sur de Europa en las últimas tres décadas, con más de 500 hectáreas afectadas, y los 1.037 incidentes a nivel nacional, (Camia & Amatulli, 2009), resaltan la persistente amenaza que representan los incendios forestales. Este panorama subraya la necesidad urgente de comprender y abordar las causas fundamentales detrás de estos eventos, como los cambios en los usos del suelo, el cambio climático y factores antrópicos.

¹ Se trata de una situación de emergencia provocada por uno o varios incendios forestales que, en su previsible evolución, puedan afectar gravemente a la población y a los bienes de naturaleza no forestal, y que exige la adopción inmediata de medidas de protección y socorro –"puede ser necesario que, a solicitud del órgano competente de la comunidad autónoma, sean incorporados medios extraordinarios"– o que puedan comportar situaciones que deriven al interés nacional.

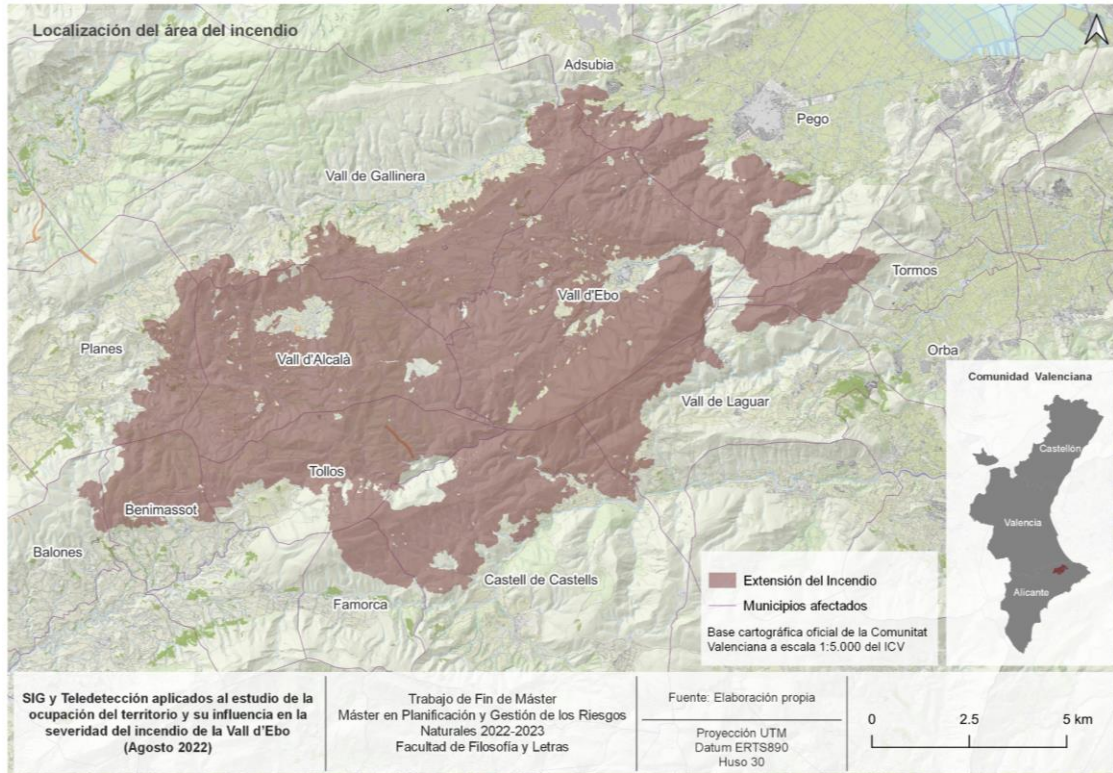


Figura 1: Mapa de localización del área de estudio. Elaboración propia.

2. Justificación, objetivos e hipótesis

Este trabajo se plantea y desarrolla debido a la aparición y conocimiento el 13 de agosto de 2022 del incendio estudiado. Al iniciar el Máster que este trabajo culmina, se estableció de forma clara y concreta que el tema debía ser acerca de ese incendio y que el enfoque que se le daría sería el de aplicación de las Tecnologías de la Información Geográfica. Todo esto, motivado por las asignaturas cursadas que despertaron el interés acerca de los incendios forestales, la manera de gestionarlos, prevenirlos y la concienciación social que se ha de realizar sobre la gravedad de este tipo de eventos. Se conoce que los incendios forestales representan una amenaza creciente para el medio ambiente, la biodiversidad y las comunidades humanas en todo el mundo. Este estudio se justifica en la medida en que se espera que sus resultados no solo arrojen luz sobre la dinámica de los incendios forestales, sino que también proporcionen información crucial para la toma de decisiones en la prevención y gestión de estos eventos. La aplicación de técnicas avanzadas de análisis espacial y tecnologías emergentes permiten una evaluación más precisa del

riesgo, así como la identificación de áreas críticas que requieren intervención prioritaria, siendo estas últimas el principal objeto de estudio.

La hipótesis que se plantea en esta investigación es que la utilización de herramientas informáticas para procesar *Geo-información* y las fuentes de información oficiales, normalizadas y abiertas pueden ayudar a analizar la relación territorial entre la evolución de las actividades humanas y el aumento de severidad de los incendios forestales. En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal contribuir al avance de la investigación en el análisis de incendios, proponiendo enfoques innovadores y herramientas tecnológicas que permitan una comprensión más profunda de los factores que influyen en la propagación y comportamiento de los incendios. Para ello, se presenta el objetivo principal del trabajo y unos objetivos específicos que ayudarán a desarrollar el objetivo general.

Objetivo principal:

- Analizar mediante teledetección, SIG y trabajo de campo la relación entre la evolución reciente de la ocupación del territorio y la severidad de los incendios forestales.

Objetivos específicos:

- Consultar la información del Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo de España (SIOSE), Corine Land Cover, Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo en España de Alta Resolución (SIOSE AR), Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana (COSCV) y vuelos históricos de fotografía aérea del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) para obtener una evolución de la ocupación del territorio en la zona de estudio.
- Descargar y procesar imágenes multiespectrales de los satélites Sentinel-2.
- Aplicar índices espectrales diferenciales de severidad de incendios (NBR y dNBR) para aplicarlos al caso concreto del Incendio de la Vall d'Ebo de agosto de 2022.

- Aplicar métricas de análisis de la evolución de los usos y coberturas del suelo (LUCC) que nos permitan analizar y comparar la evolución de la actividad humana en las zonas de mayor severidad del incendio estudiado.

3. Metodología y fuentes de información

Para alcanzar los objetivos de este proyecto, se ha empleado un enfoque metodológico que implica la obtención de información mediante la revisión de fuentes bibliográficas, los recursos geoespaciales y las fuentes y los sistemas de información geográfica (SIG). A partir de la información proporcionada por estas tres herramientas se aplica una estrategia de trabajo determinada que se explicará en el desarrollo de este apartado.

3.1. Bibliografía

Respecto a la consulta de fuentes bibliográficas, principalmente se ha basado en libros, artículos científicos y diferentes trabajos relacionados con la temática de las TIG, los cambios de uso del suelo y la severidad de los incendios. Todos ellos se recogen en el apartado número 9 de este trabajo destinado a las citas bibliográficas, algunos autores que se destacan son Marc Castellnou (2018), Ramón Maria Bosch (2019) o José Antonio Alloza et al (2022). Por otra parte, la consulta del marco legal, de planes referentes a incendios y de planes ajustados al municipio, permitirá conocer las bases legales asentadas en cada territorio y saber que métodos de análisis han empleado, si se incluyen las TIG, cálculos o índices de severidad de incendio, etc. Es por ello que se ha considerado necesaria, aparte de su estudio, la explicación a modo de pequeños resúmenes de las leyes y planes más relevantes, como son el Real Decreto (RD) de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales de 1993, el Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR), o el Plan Local de Prevención de Incendios Forestales de la Vall d'Ebo (PLPIF), recogidos en los apartados 5.1 y 5.2.

Los trabajos que han servido de inspiración y motivación para la realización de este proyecto son “Detecting important categorical land changes while accounting for persistence” desarrollado por Potius *et al.* (2004) y el texto sobre “Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras” escrito por Pineda de Carias *et al.* (2015). Ambos sirven de precedente en la aplicación de la matriz de tabulación cruzada que ha sido objeto de estudio y ha sido aplicada en este trabajo.

Además, se considera necesario mencionar algunos trabajos que otros alumnos han realizado como finalización de sus estudios, como puede ser: el Trabajo de Fin de Grado de Victoria Wilke (Universidad de Alicante) llamado “Cambios en la ocupación del suelo (LULCC), interfaz urbano-forestal (IUF) y riesgo de incendio en la Marina Alta” o el Trabajo de Fin de Grado de Alexandra Bazán Barrios (Universidad Politécnica de Madrid) acerca de la “Determinación de la Severidad de Incendios a partir de Imágenes SENTINEL-2”. El primer trabajo analiza el riesgo de incendio en IUF en relación a la evolución de usos del suelo y el segundo estudia la aplicación de las TIG sobre imágenes satelitales con el fin de obtener la severidad de un incendio. Mientras que este trabajo, se orienta en el uso de las TIG para el análisis de las zonas de mayor severidad de los incendios y la implicación que en ello han podido tener los cambios de ocupación del territorio.

3.2. Fuentes de información sobre la ocupación de territorio en España

El territorio, sus usos y su ocupación aporta información muy importante para poder legislar, planificar y ordenarlo. Por ello es necesario que se cree una base de datos o fuentes que recopilen esta información de manera permanente y pública. De esta manera perdurará en el tiempo, almacenará todos los cambios y evoluciones que sufre el territorio, así como también será objeto de estudio para trabajos como el presente. Estas bases de datos son el Corine Land Cover y el SIOSE y en este apartado se va a explicar su importancia, su utilidad y más adelante su aplicación en este trabajo.

El Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) se encarga de organizar la recopilación y divulgación de información geográfica a nivel nacional, facilitando la colaboración entre diversas Administraciones Públicas. Este plan surge como respuesta a la implementación de la Directiva Europea INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), que busca establecer sistemas de información integrados para todo el territorio de manera coordinada y distribuida entre los participantes, abordando así las necesidades de observación del territorio de los organismos integrantes, la Unión Europea y otros actores sociales. El PNOT, desarrollado por el Consejo Superior Geográfico del Instituto Geográfico Nacional, representa una de las actividades fundamentales de la institución en temas relacionados con Teledetección, Fotogrametría y Ocupación del Suelo (IGN, s.f.).

El IGN para ajustarse e integrarse en la nueva normativa, dirigió y coordinó los siguientes Planes Nacionales: el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, dentro del cual se encuentra PNOA-LiDAR y por último el Plan Nacional de Teledetección. Por otro lado, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) puso en funcionamiento la Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente (EIONET), donde todos los estados miembros colaboran en proporcionar la información necesaria a la Comisión Europea para implementar medidas de protección ambiental.

Su misión es facilitar datos, información y conocimientos especializados, oportunos y de calidad asegurada. En este caso el IGN también intervino respondiendo a su función como Centro Nacional de Referencia en Ocupación del Suelo y se encargó de desarrollar los siguientes proyectos: en primer lugar, el proyecto europeo Proyecto Corine Land Cover (CLC); en segundo lugar el proyecto nacional SIOSE y el SIOSE AR; y por último el Servicio de Vigilancia Terrestre de Copernicus (Land Monitoring Service). Como se puede observar, la respuesta a las políticas europeas de desarrollo fue la creación del SIOSE y la puesta en marcha del proyecto Corine Land Cover en los territorios españoles. Es por ello que los siguientes subapartados están destinados a la explicación de estos proyectos y Planes Nacionales sobre la información de la ocupación del suelo.

3.2.1. Sistemas de Información sobre la Ocupación del Suelo en España (SIOSE)

El Proyecto SIOSE representa una base de datos vectorial que ofrece información detallada sobre la ocupación del suelo a nivel nacional, iniciando su desarrollo en 2005 como continuación del proyecto europeo CORINE Land Cover (CLC). Este proyecto sirve como actualización de una base de datos preexistente sobre la ocupación del suelo en España. Se ha consolidado como un punto de referencia tanto a nivel nacional como europeo en términos de información geográfica sostenible, armonizada y normalizada en sus procesos. Este recurso es crucial para la formulación de políticas de gestión ambiental y territorial por parte de administraciones y usuarios españoles, así como para instituciones europeas (Comisión Europea - INSPIRE, CLC, etc.) y organismos internacionales (UNFCCC) (Benito *et al*, 2012). La ocupación del suelo se aborda como la interacción entre el entorno físico y las actividades humanas, conceptos esenciales definidos en los Anexos II y III de la Directiva INSPIRE:

- **Cobertura del suelo:** categorización física y biofísica del territorio que origina unidades específicas de superficie, por ejemplo, superficies artificiales, agrícolas, etc.
- **Uso del suelo:** categorización socioeconómica o funcional de la superficie terrestre, véase, uso residencial, aprovechamiento forestal, etc.

Las especificaciones técnicas del SIOSE se clasifican en aspectos geométricos y semánticos. En cuanto a las especificaciones geométricas, se destaca la escala espacial de 1:25.000, donde el polígono es la entidad con geometría propia y debe tener un tamaño mínimo de 0,5 a 2 hectáreas, dependiendo de su cobertura, y una anchura mínima de 15 metros. Las especificaciones semánticas incluyen un modelo de datos orientado a objetos que detalla objetos, atributos, reglas de consistencia, estructura y filosofía de los datos geográficos. Se establece una relación entre polígonos y clases en una proporción de 1 a N, con 40 clases simples, 45 clases predefinidas y múltiples asociaciones creadas por los usuarios. Finalmente, se debe mencionar que el

SIOSE proporciona información más detallada en comparación con el CORINE LC, respecto a geometrías. El SIOSE utiliza el sistema geodésico de referencia ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) y el sistema cartográfico de representación UTM con los husos 28, 29, 30 y 31 (proyección Universal Transversal de Mercator).

3.2.2. Corine Land Cover (CLC)

El proyecto CORINE Land Cover se creó mediante una resolución de la Unión Europea que tenía como objetivo recopilar, coordinar y homogeneizar información sobre el medio ambiente y los recursos naturales. En 1990, la Unión Europea creó la Agencia Europea de Medioambiente (EEA) y la Red de Información y Observación del Medioambiente (EIONET), y responsabiliza a la EEA y a los Centros Nacionales de Referencia (en España esta figura es el IGN, tal y como se ha visto anteriormente) el desarrollo del proyecto CLC. Inicialmente, el programa se centró en la adquisición de imágenes y fue el primer sistema de información sobre ocupación del suelo en Europa (IGN, 2018).

CORINE Land Cover proporciona datos sobre la cubierta terrestre, uso del suelo y cambios temporales, siendo útil para la gestión del territorio, forestal, del agua y de las emergencias. Entre sus características se incluyen: la homogeneidad en toda Europa, las escalas y las clases temáticas pertinentes para decisiones medioambientales, producción y coordinación a nivel europeo. Hay versiones de 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018. El CLC opera a una escala de referencia de 1:100.000, con un tamaño mínimo de polígono de 25 hectáreas, estructurado mediante un modelo de datos jerárquico con solo 44 clases predefinidas de ocupación del suelo en una nomenclatura jerárquica (europea) de tres niveles. En el caso de España, se extendió hasta 5 niveles con 64 clases para el CLC90, mientras que para el CLC2000 se amplió a 85 clases. Este proyecto tiene una resolución temporal de 6 años, a diferencia del SIOSE que se actualiza cada 3 años. Utiliza el ETRS89 como Sistema Geodésico de referencia y el sistema cartográfico de representación UTM (IGN, 2018) (MAPA, 2010).

Se ha decidido incluir en este apartado sobre información de ocupación del territorio en España un subapartado que explique el origen y características del CORINE LAND COVER, ya que este proyecto estableció las bases que más tarde se tomaron para el desarrollo del SIOSE. La aplicación del CLC en este trabajo no ha sido posible debido a que la escala de las zonas de máxima gravedad de incendio necesita información más adecuada, por ello se utiliza el SIOSE. Sin embargo, se han usado los metadatos de la capa como marco de referencia para la selección de las categorías de coberturas utilizadas en el uso de la matriz de transición de Pontius *et al.* (2004) que más adelante se explica.

3.3. Fuentes y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Una parte fundamental del desarrollo de esta investigación depende de los cálculos de los índices, que se explican más adelante. Para su realización ha sido necesaria la descarga y manipulación de imágenes Sentinel 2, por lo que, se recurre al Navegador que ofrece el Programa Copernicus de la Observación de la Tierra², donde se puede buscar información relativa a la zona de estudio, delimitarla mediante la creación de un polígono AOI (área de interés en Teledetección) y recortar las capas necesarias para el desarrollo del trabajo. Sin embargo, durante la realización de este trabajo, ha sido actualizado y ahora permite realizar procesos de datos y cálculos en la *nube*, mediante la aplicación de falso color, comparador de imágenes o para nuestro caso, la elaboración de índices espectrales, todo ello sin necesidad de proceder a la descarga de las imágenes. Al realizarse este cálculo de índices espectrales con la web de descarga, se facilita y agiliza el trabajo.

Los satélites Sentinel 2 poseen la tecnología para aportar imágenes de alta resolución en 13 bandas multiespectrales, con el objetivo de dar a conocer y advertir desde una perspectiva diferente el mundo. Estas bandas permiten visualizar una misma imagen en color natural o visible (Rojo, Verde y Azul - RGB), pero también en falso color. Como se observa en la figura 2, el color

² La Comisión Europea coordina y gestiona el programa Copernicus, en cuya ejecución colaboran los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (Eumetsat), el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo, las agencias de la UE y la empresa Mercator Ocean.

natural se consigue combinando las bandas 2, 3 y 4, pero además también se pueden realizar otras combinaciones de falso color a destacar de un lugar, por ejemplo, la vegetación o masas de agua. Por otro lado, las bandas también comprenden el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), los cuales pueden detectar aquello que el ojo humano no es capaz. En este estudio se han utilizado estas últimas bandas para la realización de índices de severidad de incendios, ya que necesita las bandas B8a (NIR) y B12 (SWIR) para sus cálculos.

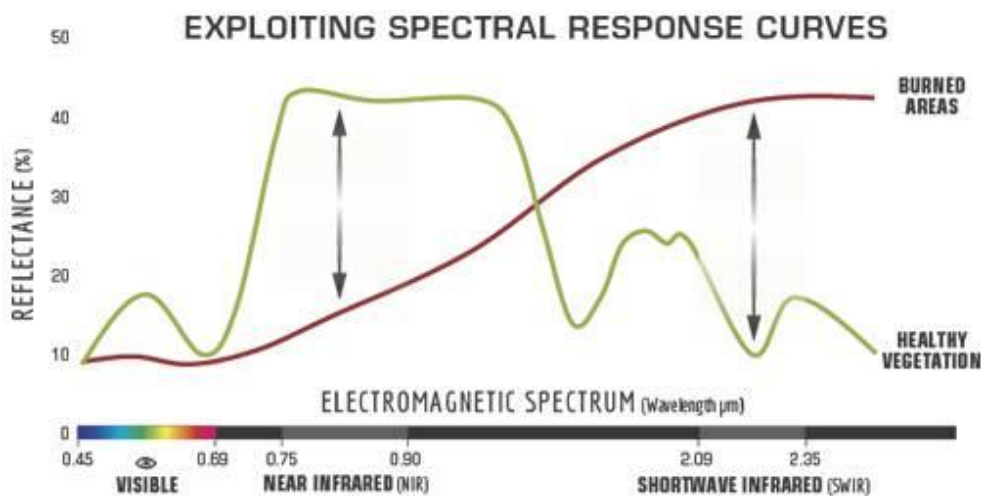


Figura 2: Comportamiento de las curvas de respuesta espectral. Fuente: U.S. Forest Service.

El índice NBR permite evaluar el daño forestal tras un incendio y observar la regeneración de la vegetación, aunque este último aspecto no se va a estudiar en el presente trabajo. Este índice se beneficia de las funciones que tienen las bandas NIR y SWIR: la primera recoge la reflectancia de las hojas de los árboles y la segunda detecta la ausencia de agua en las mismas, por lo que tras un incendio ambas se complementan, el NIR deja de captar la reflectancia de las hojas debido a la pérdida de vegetación y el SWIR aumenta su efectividad al eliminar la presencia de agua de cualquier elemento vegetal (Alcaras, 2022). Además del cálculo del NBR, también se ha hallado el mismo índice diferenciado (dNBR), que es más preciso, ya que evita superficies que puedan tener un NBR bajo, así se puede asegurar que es únicamente la zona quemada y mide la severidad en el mismo incendio, a valores más altos, mayor el daño. Durante el

desarrollo del siguiente apartado se explica su método de cálculo y aplicación de las imágenes multiespectrales.

Por último, para el proceso de la información ha sido indispensable la utilización de los SIG. Suponen herramientas fundamentales en el ámbito de la gestión y análisis de datos espaciales, desempeñando un papel crucial en la comprensión y solución de diversos problemas. Es por ello que son la pieza indispensable que sustenta todo este trabajo. Su aplicación va desde la realización de los mapas más sencillos hasta el cálculo y desarrollo de la matriz de transición de usos y coberturas del suelo que se explicará más adelante.

De forma más concreta, se va a explicar qué tareas se han realizado: en primer lugar, para la realización de la base de algunos mapas como el de localización (figura 1) se han descargado las capas necesarias desde el ICV, las cuales se han trabajado en función de la intencionalidad y comprensión de cada mapa, se ha realizado la composición y maquetación final. En segundo lugar, gracias a los SIG se han realizado tareas de fotointerpretación para crear los usos del suelo de 1956, tanto de la zona quemada en general como para las zonas de mayor severidad estudiadas, así como los usos de 2022 obtenidos del SIOSE 2015 que se han modificado en función de las necesidades del trabajo. A continuación, como tercera tarea, a partir de las capas desarrolladas de usos de suelo, se realizaron labores de rasterización y cálculos siguiendo la metodología de la Matriz-P de Pontius *et al.* (2004) (se explicará posteriormente).

En resumen, los SIG han sido la herramienta que ha unido todos los elementos de manera eficiente. Como se ha demostrado, son una herramienta versátil que permite la generación de mapas detallados y resultados analíticos fundamentales para la comprensión y resolución de problemas espaciales en esta investigación geoespacial.

3.4. Estrategia de trabajo

Para el cumplimiento de los objetivos planteados y la finalización de los resultados de este trabajo se han llevado a cabo tres procedimientos que se recogen en el desarrollo de este apartado. La redacción de esta sección está realizada de forma cronológica y dividida en tareas, aunque es importante

mencionar que todos los procesos están conectados entre sí y son indispensables unos de otros.

3.4.1. Obtención del área quemada y las zonas de severidad

En primer lugar se llevó a cabo la descarga de imágenes de satélite necesarias para el cálculo de los índices NBR (Normalized Burn Ratio) y dNBR. Como ya se ha mencionado, el Programa Copernicus de la Observación de la Tierra ofrece un novedoso Navegador con el que se visualizaron las imágenes de satélite con el objetivo de seleccionar fechas en las que el índice de nubosidad fuera muy bajo o nulo, preferentemente, para así disponer de unos datos completamente limpios y obtener unos resultados mejores. Las fechas debían ser dos: una previa al incendio y una posterior al mismo, se optó por el 3 de agosto de 2022 y el 18 de agosto de 2022, respectivamente.

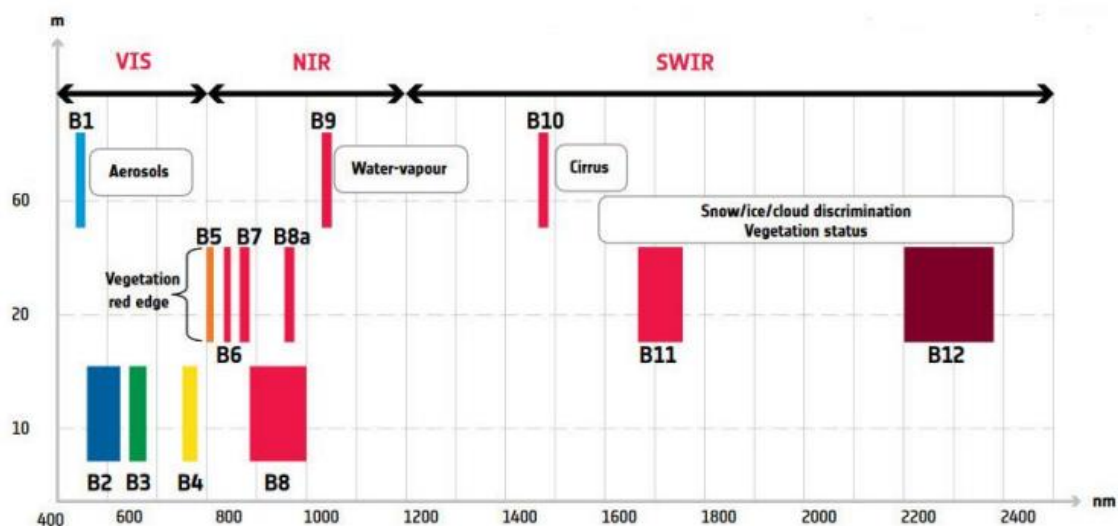


Figura 3: Bandas del Satélite Sentinel 2. Fuente: ESA

Como ya se ha mencionado, este navegador permite *in situ* el cálculo de índices como los utilizados para esta investigación: NBR y dNBR. Por lo tanto, con las fechas escogidas se procedió a realizar el cálculo de NBR para cada una de las fechas. El índice NBR es el resultado de la diferencia entre una banda de infrarrojo (IR) cercano (NIR) y un infrarrojo medio o de onda corta (SWIR). Por lo que se necesitaba la banda B8a del NIR y la banda B12 del SWIR. Tal y como se observa en la figura 3 estas bandas detectan diferentes situaciones: el NIR refleja el agua existente en las hojas de los árboles y el SWIR detecta la

ausencia de la misma, pudiendo identificar la sequía, por lo que la combinación de ambas a modo de índice NBR resulta en un medio para obtener resultados de zonas quemadas. Este resultado se obtiene en forma de capa ráster, lo que supone que cada píxel aporta una información determinada. En la figura 4 se representa un esquema del procedimiento llevado a cabo para la obtención de una parte de los resultados.

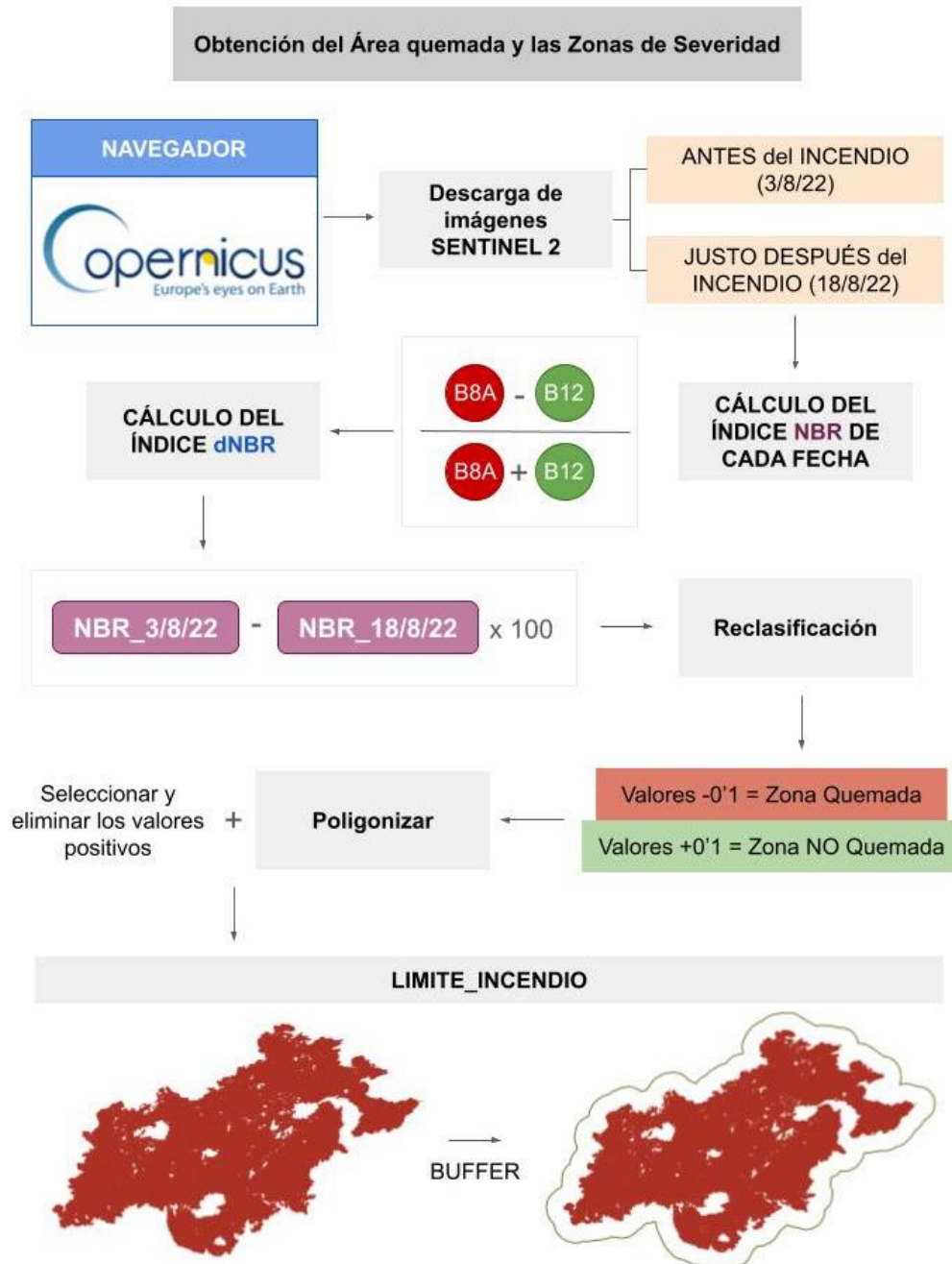


Figura 4: Esquema del desarrollo del cálculo para los índices NBR y dNBR y sus geometrías correspondientes. Elaboración propia.

Tras el cálculo del NBR, se procede a calcular el dNBR, que es la versión diferenciada del mismo, es por ello que se necesitaban dos fechas para la descarga de satélite, ya que este índice compara una imagen anterior y una posterior con el objetivo de obtener un resultado más puro y se asegura de que lo único que saca a relucir sean zonas quemadas. Este cálculo se desarrolla gracias a la utilización de la herramienta de *calculadora ráster*, la cual permite realizar álgebra de mapas, es decir, operaciones matemáticas con la información integrada en los píxeles de las capas. Una vez realizados los cálculos, los valores que aporta este índice son los necesarios para obtener el área quemada y las zonas de mayor severidad de incendio y se alcanzan del siguiente modo. Cuando se ha logrado una capa ráster del índice dNBR, ésta contiene en sus píxeles valores que se transformarán en información que se debe organizar. Esto se realiza mediante un proceso de reclasificación, también llevado a cabo con la ejecución de la herramienta de *calculadora ráster*. En este caso se escribe un código que multiplicará los valores ya existentes en los píxeles del dNBR por +0'1, para obtener la zona quemada y por -0'1 para determinar los valores de la zona sin quemar. Este procedimiento resulta en otra capa ráster en formato GEOTIFF que contiene los valores asignados en los píxeles.

Posteriormente este ráster se transforma a una capa vectorial mediante la herramienta de *Poligonizar (Ráster a vectorial)*, una vez se obtiene la capa vectorial de la zona quemada se realizan dos acciones: primero se eliminan todos los valores positivos para poder obtener el área de la zona quemada, que en el caso de este estudio se llama *limite_incendio* y se le aplica la herramienta *buffer* que sirve de cinturón entre la zona quemada y la no quemada, para así poder abarcar en este estudio la zona en transición. De esta manera se obtiene la capa vectorial de la zona quemada que servirá de plantilla para la extracción de otras capas que se explicarán más adelante.

La segunda acción se centra en obtener las zonas de mayor severidad de incendio, ya que serán estudiadas en los resultados de este trabajo. Por lo tanto, el objeto de estudio recae en los valores numéricos hallados en los píxeles del dNBR. Si se observa la figura 5 se puede detectar que los números que representan las zonas de severidad de incendio según determina el USGS-USDA se encuentran entre el 100 y 1300 y aquellos que no se han quemado o

que incluso muestran mayor rebrote se encuentran entre el -100 y -500. Los valores resultantes de la zona quemada en el cálculo del dNBR de la zona estudiada oscilan entre 100 y 699'20, este último como valor más alto, por lo que se determina que sí existen zonas de gran severidad. Estas zonas de severidad están representadas con una leyenda inspirada en los intervalos y colores que establece el USGS-USDA.

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +0.99	-0.100 to +0.099
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Figura 5: Valores de gravedad de incendio del USGS-USDA.

3.4.2. Uso de los datos de ocupación del suelo

Para el desarrollo de este trabajo ha sido necesaria la descarga de datos provenientes de las fuentes de información antes mencionadas que tras su manipulación mediante SIG y junto con la metodología de la matriz de tabulación cruzada de Pontius *et al.* (2004), dan lugar a los resultados con los que se concluye el presente trabajo.

En primer lugar, para la elaboración de los LUCC se ha actuado de dos formas, debido a las dos fechas que son objeto de estudio 1956 y 2022. En el caso de 1956 se ha decidido elaborar una cartografía propia mediante fotointerpretación debido a la inexistencia de cartografías espaciales para ese periodo de tiempo. La Ortofoto pancromática de 1956-1957 de la Comunitat Valenciana elaborada a 50 cm de resolución que es resultado del vuelo americano de serie B a escala de vuelo 1:33.000 en formato TIFF que se distribuye en hojas 1:10.000 ha sido la base para poder crear este material.

De forma complementaria, se ha creado una nueva capa vectorial de naturaleza poligonal a la que se le han aplicado las herramientas de *División de objetos espaciales*, para crear los polígonos dentro del área de estudio y

Combinar *elementos espaciales seleccionados*, con el objetivo de fusionar unos polígonos con otros de su misma categoría y completar la tabla de atributos con la información necesaria, la cual se resume en la tabla 1. La tabla 1 es un ejemplo de lo que se podría visualizar al abrir la tabla de atributos de esta capa vectorial, para ello se creó una columna numérica del 1 al 4 de identificación a modo de código para los LUCC y otra columna de texto para el nombre de LUCC que recibe cada uno de esos números. Por último, esta capa final se recorta con la capa de *buffer* del *limite_incendio*, de modo que se obtienen los LUCC final acotados a la zona quemada.

id_usos	LUCC
1	Otras formaciones forestales
2	Pinar
3	Cultivos
4	Zonas Urbanas

Tabla 1: Ejemplo de la tabla de atributos que tiene la capa de LUCC de 1956.

Elaboración propia.

En segundo lugar, para la elaboración de los LUCC para 2022 se ha tomado una vía que hace uso de los recursos disponibles gracias a instituciones como el ICV, que es la aplicación del SIOSE de 2015 como base de los usos de 2022. El procedimiento sobre este material es diferente al antes mencionado: en primer lugar se descargó desde el ICV la capa vectorial del SIOSE y también las tablas que contienen la información sobre las coberturas, mediante un proceso vectorial de unión se añadieron los datos de coberturas.

Posteriormente, esta capa resultante se recorta con la capa de *buffer* realizada sobre la capa de *limite_incendio* y se obtiene el área de la zona del incendio. Sin embargo, para la aplicación de matriz de tabulación cruzada es necesario tener en las tablas de atributos de las dos capas a utilizar (1956 y 2022) los mismos datos, por lo que se realizó una reasignación de las coberturas del SIOSE a la categorización determinada en este trabajo (tabla 1). Para ello primeramente se realizó un análisis visual sobre la Ortofoto de 2022 del PNOA

de la Comunitat Valenciana en RGBI y de 25 cm de resolución, en formato TIFF y se descarga en hojas 1:5.000 desde el IDEV. Posteriormente se han empleado los criterios de recategorización que se recopila en la tabla 2, a excepción de aquellas coberturas que presentan un asterisco, las cuales se han comprobado mediante fotointerpretación. Finalmente se obtiene la capa de LUC de 2022 que forma parte de los resultados.

Clases LUC	Cobertura del suelo SIOSE. Descripción (CODIGE)
1. Otras formaciones forestales	Otras Construcciones (111)*, Lámina de Agua Artificial (103)*, Pastizal (300), Frondosas Perennifolias (313), Coníferas (316)*, Matorral (320)*, Suelo Desnudo (333)*, Afloramientos Rocosos y Roquedos (352)*, Canchales (353)*,
2. Pinos	Lámina de Agua Artificial (103)*, Otras Construcciones (111)*, Olivar (232)*, Coníferas (316)*, Suelo Desnudo (333)*, Ramblas (336)*, Afloramientos Rocosos y Roquedos (352)*, Canchales (353)*,
3. Cultivos	Lámina de Agua Artificial (103)*, Otras Construcciones (111)*, Arroz (211), Cultivos Herbáceos distintos de Arroz (212), Frutales Cítricos (222), Frutales No Cítricos (223), Viñedo (231), Olivar (232)*, Frondosas Caducifolias (312), Coníferas (316)*, Pastizal (300), Matorral (320)*, Suelo Desnudo (333)*,
4. Zonas urbanas	Edificación (101), Zona Verde Artificial y Arbolado Urbano (102), Vial, Aparcamiento o Zona Peatonal sin Vegetación (104), Suelo No Edificado (121), Lámina de Agua Artificial (103)*, Otras Construcciones (111)*, Suelo Desnudo (333)*

Tabla 2: Categorización de LUC desde el SIOSE. Elaboración propia.

Por último, ambas capas correspondientes a los LUC de cada año son el material que más adelante se aplicará en la matriz de tabulación cruzada. Para facilitar la comprensión de la explicación de los procesos vectoriales mencionados, se aporta la figura 6, que a modo de esquema simplifica el procedimiento adecuado a sendos años. También se destaca que tras identificar las zonas de mayor severidad se ha llevado a cabo el mismo procedimiento que para el área total de incendio. Recortando un área aproximada donde poder

visualizar en detalle la evolución de los LUCC para cada zona de mayor severidad.

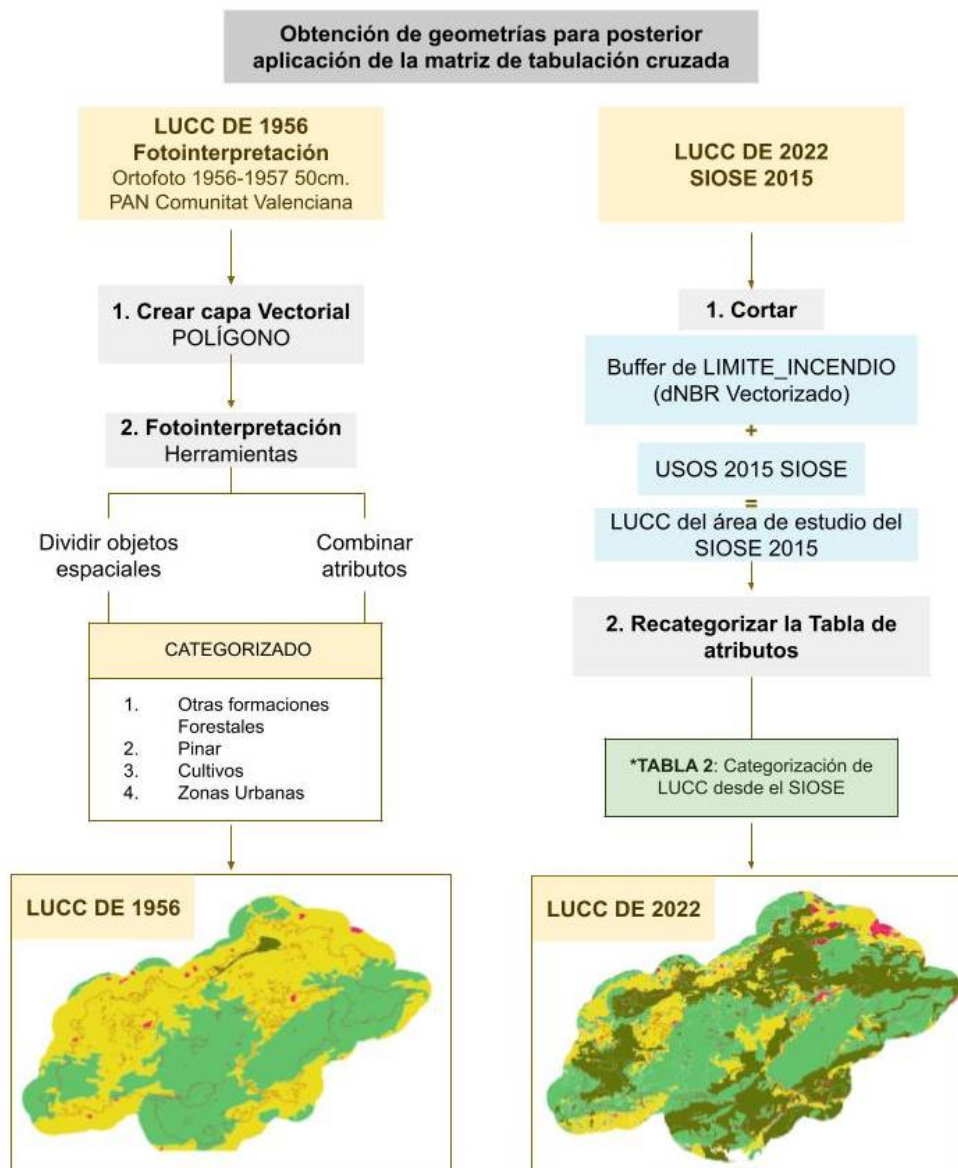


Figura 6: Esquema del procedimiento para obtener las capas de LUCC para 1956 y 2022. Elaboración propia.

3.4.3. Matriz de tabulación cruzada, Pontius *et al.* (2004) aplicada en el área quemada y las zonas de severidad

Por último, en este momento de la investigación es donde los resultados de las tareas anteriores se utilizan para la obtención de los resultados finales. Es

necesario destacar que para la aplicación de esta matriz de transición se ha hecho uso de los SIG para la representación de los resultados y de EXCEL para calcular y plasmar en forma de tablas los resultados numéricos. Para ello se ha utilizado una metodología ya aplicada por algunos estudiosos, en este caso se destaca al ya mencionado profesor Pontius *et al.* (2004). La matriz de tabulación cruzada permite analizar en un territorio los cambios de uso del suelo que se han producido durante un periodo de tiempo, en este caso se utilizan dos fechas concretas, pero hay trabajos en los que han utilizado más variables. La aplicación de esta matriz aporta mediante la utilización de SIG datos espaciales, que son una herramienta visual muy poderosa y además datos tangibles en forma de números, con lo que se puede cuantificar la variabilidad de una extensión de terreno concreta.

Partiendo de las capas de LUCC realizadas en formato vectorial, cada una de ellas se rasteriza, de esta manera se evita que puedan existir errores en las geometrías que impidan o entorpezcan el proceso. Como siguiente medida, a través de la asignación de un nuevo atributo que contenía códigos específicos para cada clase según el año, se procedió a un cálculo ráster, mediante álgebra de mapas, para combinar los valores de las capas de usos obtenidas de la interpretación de los vuelos de 1956 y los valores del SIOSE de 2022 mediante los programas QGIS y SAGA. A partir del área resultante de cada clase, fue creada la matriz de transición de tabulación cruzada para la cuenca de la zona quemada que se había obtenido mediante teledetección y aplicación de diferencias de los índices de ratio de zona quemada (NBR) al incendio de la Vall d'Ebo. De esta manera, fue posible identificar la persistencia, ganancia y pérdida en los usos del suelo para cada una de las zonas identificadas como de mayor gravedad de incendio según los valores normalizados por USGS-USDA (figura 5). Adicionalmente, fueron hallados otros parámetros que se han ofrecido en porcentaje, como el **cambio total**, **intercambio**, **cambio neto** y **persistencia**, permitiendo entender cómo ha sido la evolución de los usos en estas zonas de estudio.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas		
1956	O. form. forestales	11	12	13	14	P+1	P+1-1
	Pinar	21	22	23	24	P+2	P+1-2
	Cultivos	31	32	33	34	P+3	P+1-3
	Zonas Urbanas	41	42	43	44	P+4	P+1-4
Total (1956)		P+1	P+2	P+3	P+4	Total Ha	Pérdidas totales
Ganancias (Ha)		P+1-1	P+1-2	P+1-3	P+1-4	Ganancias Totales	P (sum d) <= Persistencia Total

Tabla 3: Matriz de tabulación cruzada. Elaboración propia a partir de Pontius et al. (2004)

Uso del Suelo	Ganancias (%)	Pérdidas (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
Clase 1	G1	P1	$CT1 = G1 + P1$	$I1 = 2 * \min(G1 \& P1)$	$CN1 = G1 - L1 $	P1
Clase n	Gn	Pn	$CTn = Gn + Pn$	$In = 2 * \min(Gn \& Pn)$	$CNn = Gn - Ln $	Pn
Totales	$G1 + \dots + Gn$	$P1 + \dots + Pn$	$(CT1 + \dots + CTn) / 2$	$(I1 + \dots + In) / 2$	$(CN1 + \dots + CNn) / 2$	$P1 + \dots + Pn$

Tabla 4: Cálculos a partir de la matriz de tabulación cruzada. Elaboración propia a partir de Pontius et al. (2004)

Tal y como se aprecia en la tabla 3, se consideran las métricas necesarias para poder hacer una comparación entre las diferentes zonas de mayor gravedad del incendio, con el fin de establecer un patrón común de cambio, si es que lo hubiera. Para ello se han calculado los parámetros según la metodología de Pontius et al., (2004) y Pineda de Carías et al., (2015), en ellos el valor de intercambio (I) resulta de calcular el doble del mínimo valor resultante de la diferencia entre las ganancias (G) y las pérdidas (P), esto parte de asumir que cada celda (píxel del ráster) que gana es apareada con una celda que pierde, produciéndose de esta forma el intercambio. El cambio neto (CN) resulta del valor absoluto de la diferencia entre las ganancias (G) y las pérdidas (P), el resultado corresponde a las celdas que no tuvieron intercambio. El cambio total (CT) fue calculado de la suma del cambio neto (CN) y el intercambio (I). De forma aclaratoria, se añade en forma de esquema la explicación del desarrollo en SIG antes explicado (figura 7).

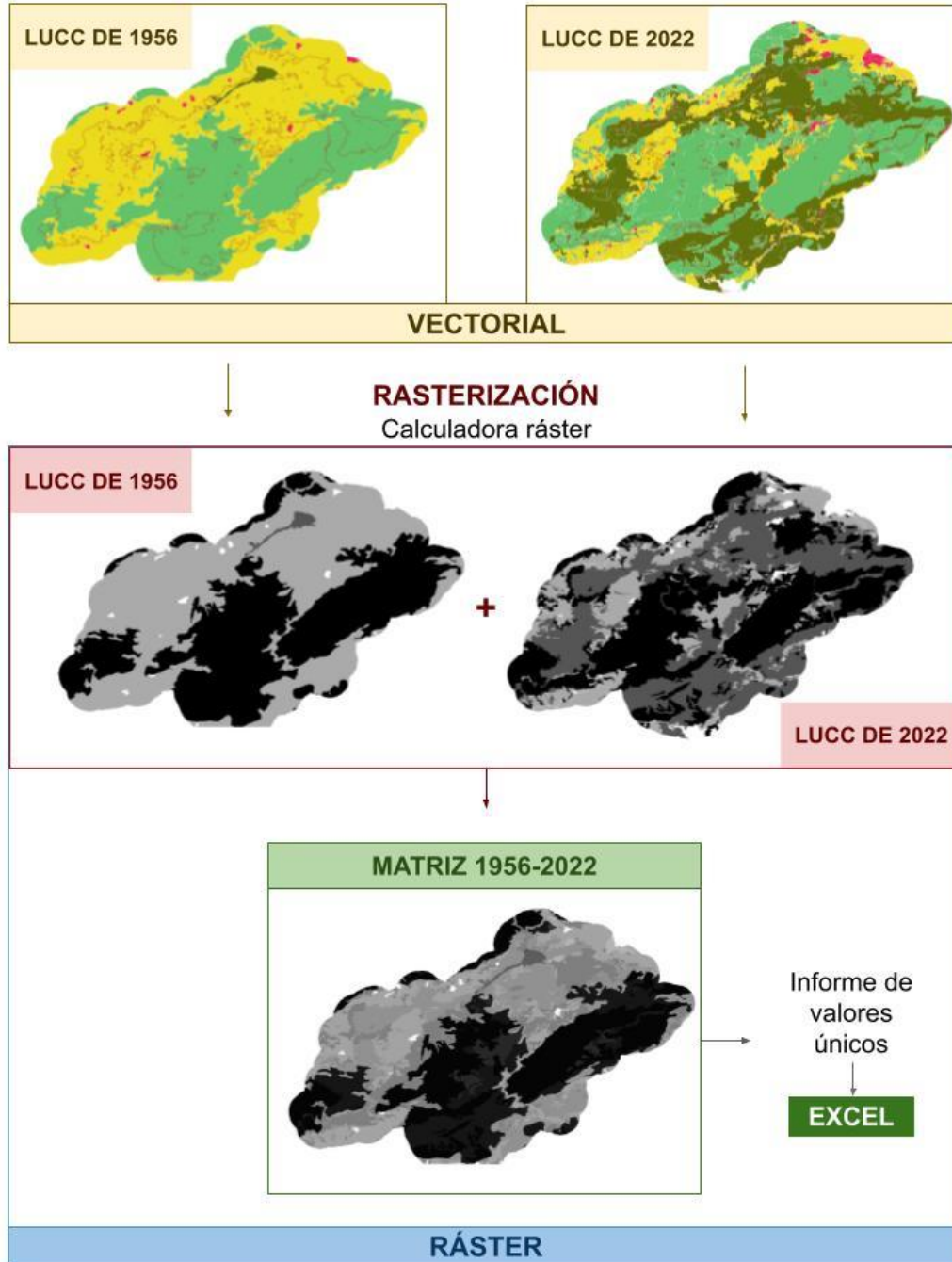


Figura 7: Esquema del proceso en SIG para la matriz de tabulación cruzada.
Elaboración propia.

4. Caracterización de la zona de estudio

La zona estudiada durante este trabajo presenta una rica diversidad de elementos físicos y antrópicos que influyen de manera significativa en su paisaje y entorno. Situada en el norte de la provincia de Alicante, en el sureste de España (tal y como se puede observar en la figura 1), esta región se caracteriza por una

interacción compleja entre factores naturales y aquellos generados por la actividad humana. En este apartado, se va a explorar detalladamente los componentes geofísicos, climáticos y geológicos que definen la estructura natural de la zona, así como los elementos antrópicos, tales como asentamientos urbanos, cultivos y actividades humanas relacionadas con los bosques, que contribuyen a moldear su configuración actual. Este análisis integral permitirá comprender la interconexión entre la naturaleza y la influencia humana en esta fascinante área de estudio.

4.1. Elementos físicos

En este subapartado, se va a estudiar detalladamente los elementos físicos que configuran la singularidad de la zona de estudio. Desde las características topográficas que definen su relieve hasta los factores climáticos que influyen en su ecosistema, se analiza minuciosamente la dinámica que da forma a este entorno. Los elementos físicos, como ríos, montañas y flora, desempeñan un papel crucial en la comprensión de la identidad geográfica de la región, aportando dimensiones únicas que influyen en su biodiversidad, recursos naturales y dinámicas medioambientales. Este análisis exhaustivo nos permitirá profundizar en la intrincada red de factores físicos que caracterizan la zona de estudio.

Comenzando por la caracterización climática de la zona, según se determina en el mapa de las regiones climáticas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en esta zona se da un clima mediterráneo costero, sin embargo, el Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) realiza un mapa de climas valencianos donde concreta que la zona de estudio está entre un clima lluvioso de la llanura litoral y un clima propio de la fachada lluviosa del Macizo de Alcoy. De este último mapa se han extraído dos climogramas de los municipios más cercanos al incendio, que se pueden ver en las figuras 8 y 9. A rasgos generales, se puede extraer de estas dos clasificaciones la conclusión siguiente: es un sector en el que las lluvias son abundantes, las temperaturas son suaves, debido a la influencia del mar, y en los meses de verano se produce un periodo de sequía que será determinante para analizar este incendio.

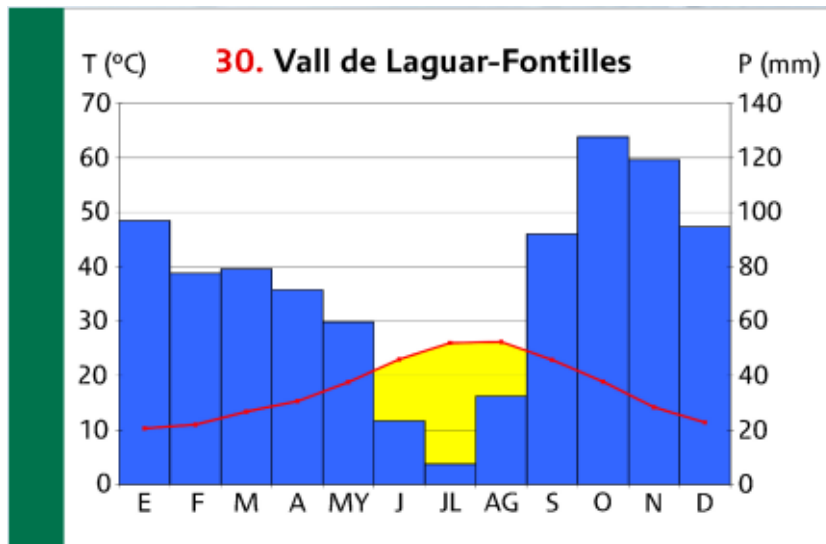


Figura 8: Climograma contenido en el Mapa de climas valencianos 1:350.000. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià (2023).

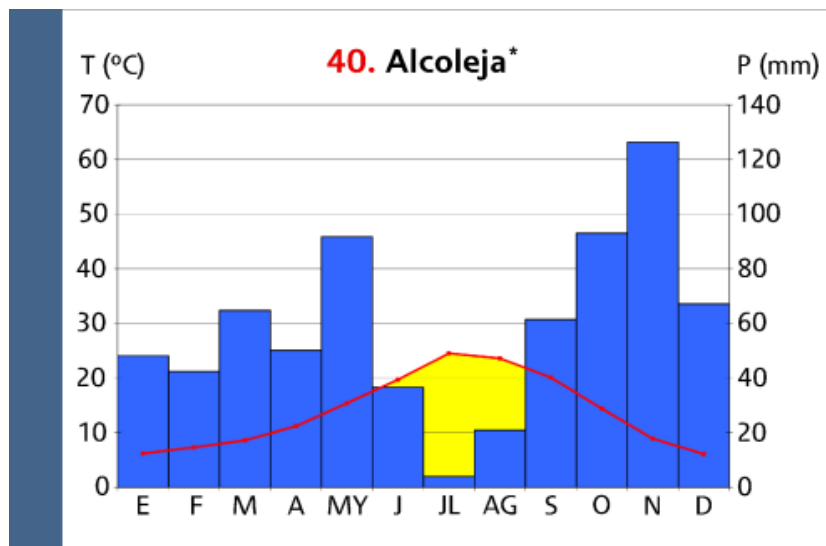


Figura 9: Climograma contenido en el Mapa de climas valencianos 1:350.000. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià (2023).

El sector donde se produjo el incendio está compuesto de multitud de valles que dan nombre a algunos de los municipios que allí se encuentran, algunos de ellos se han formado gracias al transcurso de los ríos. Los ríos a destacar en esta zona afectada por el incendio son el Riu de Gallinera, el Riu Girona i el Riu de Xaló o de Gorgos. Esta sucesión de valles y ríos está delimitada por diferentes cumbres entre las que destacan: Serrella (1380 msnm) por el sur, el Montcabrer (1390 msnm) por el suroeste, el Alt de la Safor (1020 msnm) por el norte y el Montgó (753 msnm) por el este.

Los valles que destacan son el Valle de Gallinera, el de Alcalá, el de Ebo y el de Laguar, los cuales dan lugar a llanuras aluviales que se encadenan hasta llegar a la costa. Los montes ubicados dentro de la zona de estudio y que se han visto afectados por el incendio son la Serra de l'Almirant, la Serra de l'Albureca, el Tossal Blanc y la Cova Negra, el Tossal del Caragols, la Serra d'Alfaro, L'ombria de Bodix, la Serra del Cavall (o Migdia) y la Sierra de Laguar, entre otros. Todas estas sierras y valles son una sucesión de materiales del cretácico y del terciario, junto con depósitos de carácter aluvial propios del cuaternario. Por lo tanto, los materiales que se pueden encontrar en este sector estudiado son calizas y margas cretácicas, las cuales se pueden observar en las sierras; dónde se asientan los núcleos urbanos, se observan materiales terciarios como margas, arcillas o arenas y, por último, en las inmediaciones de los ríos y fondos de valle se pueden apreciar depósitos de acumulación, arenas, limos y arcillas del cuaternario.

La vegetación que ha actuado como combustible en este incendio se encuentra registrada y catalogada por la Directiva Hábitat que forma parte de la Red Natura 2000, la cual asigna a cada territorio un tipo de hábitat atendiendo a las especies presentes. Todos los Hábitats de la Comunidad Valenciana se ven recogidos en el Atlas y Manual de los Hábitats Naturales y Seminaturales de España, a escala 1:50.000. A partir de esta clasificación, se ha utilizado la herramienta del Visor cartográfico que facilita el ICV y en el que se puede comprobar esta información, por lo que se ha observado que en la zona del incendio destacan sobre todo cinco hábitats. El primero y más abundante es el de las "Pendientes rocosas calcícolas con vegetación casmofítica" (código 8210), le siguen en menor abundancia los "Matorrales arborescentes de *Juniperus* spp" (código 5210) y los "Bosques endémicos de *Juniperus* spp" (código 9560) y por último, con una aparición reducida y de forma salpicada de "Zonas subestépicas de gramíneas y anuales del *Thero-Brachypodietea*" (código 6220) y de los "Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*" (código 9340).

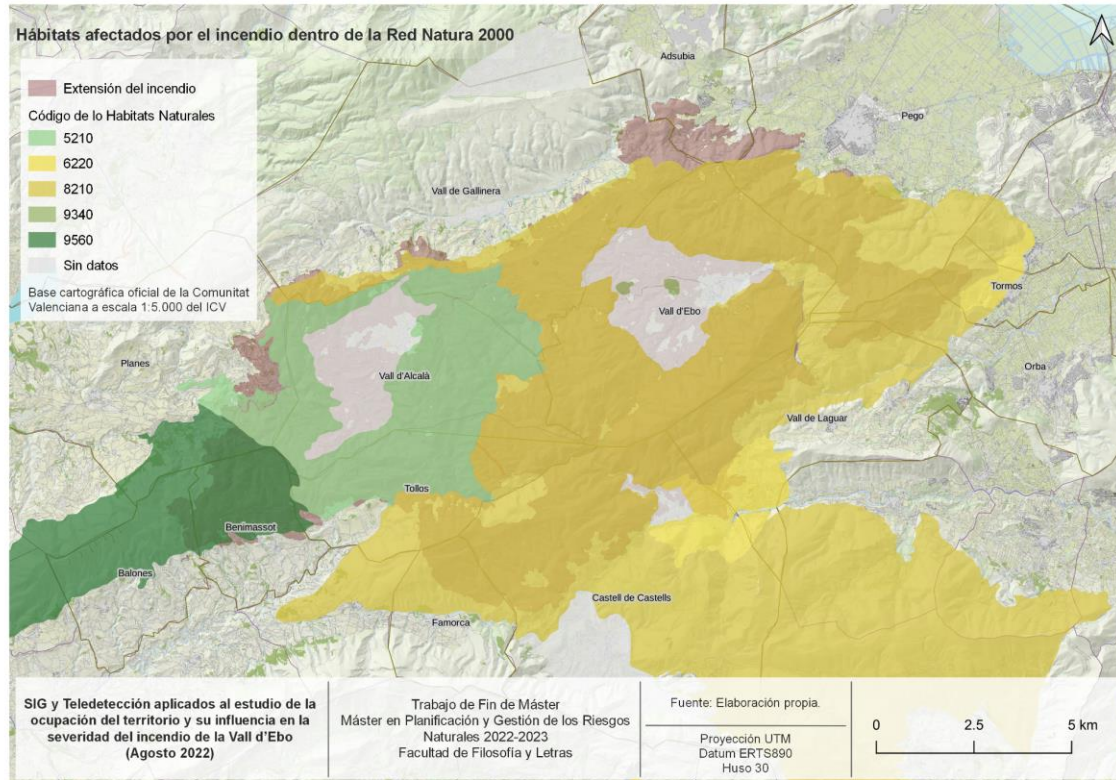


Figura 10: Mapa de los Hábitats Naturales de la Directiva Hábitat afectados por el incendio. Elaboración propia.

4.2. Elementos antrópicos

En este subapartado destinado a analizar los elementos antrópicos que modelan la fisonomía y dinámica de la zona de estudio, se ha decidido acotar a los patrones de asentamientos urbanos, a las prácticas agrícolas que dibujan la impronta humana en la tierra y a las interacciones específicas relacionadas con los bosques, abordando tanto la explotación como las prácticas sostenibles que definen la relación entre la comunidad local y los recursos forestales. Este análisis detallado proporciona una visión integral de cómo la presencia humana ha contribuido a la configuración actual de la zona, fusionando la naturaleza con la huella cultural que la caracteriza y que aspectos negativos ha podido aportar al territorio.

Comenzando con los patrones de asentamientos urbanos es natural que durante el paso de los años todas las ciudades evolucionan, se renuevan, crecen y los usos tradicionales se transforman en otros más novedosos. Las ciudades o pueblos que se encuentran en la zona afectada por el incendio han evolucionado

de diferentes maneras: algunas han crecido doblando su tamaño y otras han surgido de la nada. Para visualizar esta explicación se va a comparar las situaciones mencionadas anteriormente con ayuda de las imágenes de satélite.

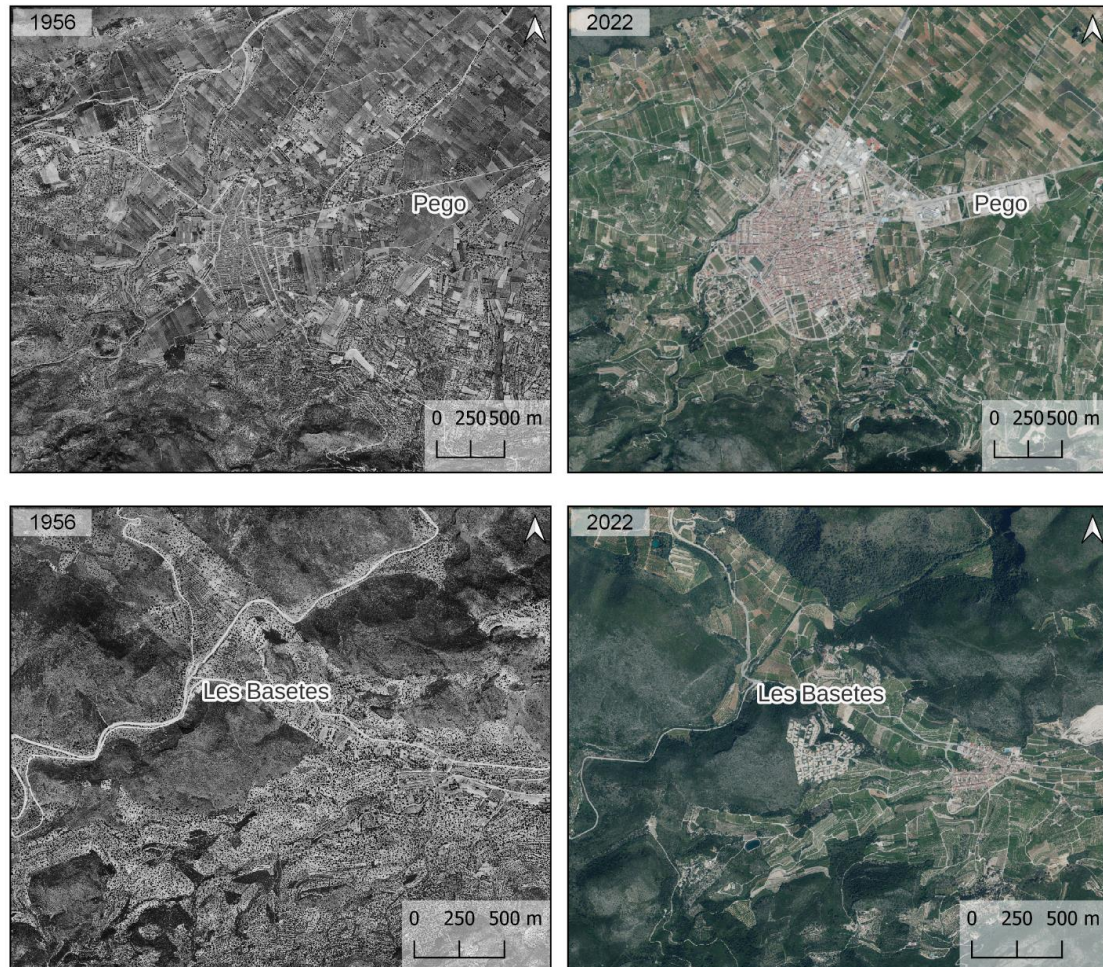


Figura 11: Evolución de asentamientos urbanos mediante imágenes de satélite de 1956 y 2022. Fuente IDEV (Ortofotos 1956 y 2022). Elaboración propia.

Tal y como se puede observar en la figura 11, en las imágenes superiores se representa el municipio de Pego, el cual ha crecido y expandido su núcleo urbano, ha desarrollado carreteras y creado espacios de uso industrial sacrificando campos de cultivo. Por otro lado, en las imágenes inferiores se representa la Urbanización Les Basetes que forma parte del municipio de Adzúbia y que en 1956 ni siquiera existía, por lo que el paso del tiempo y el crecimiento de la población ha generado la necesidad de crear este asentamiento.

Atendiendo al siguiente elemento antrópico que caracteriza este ámbito de estudio se encuentran las prácticas agrícolas. Este tipo de actividad está muy arraigada en la Marina Alta y el Comtat. Principalmente se cultivan árboles cítricos y frutales como pueden ser naranjos, olivos o almendros, también existen cultivos de cereales y de viña para la producción de vino, tal y como se puede observar en la tabla 5. Además de estos cultivos extensivos, se practica la horticultura de carácter particular, se mantienen tierras para pastos y otros cultivos herbáceos.

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE CULTIVADA TOTAL (hectáreas)
Cereales para grano	312
Citricos	1950
Forraje	4
Flores	8
Frutales	1248
Hortalizas	52
Legumbres	1
C. Leñosos	142
C. Industriales	1
Olivo	2614
Tuberculos	4
Viña	160
Viveros	8
Total	6504

Tabla 5: Superficie total en hectáreas de los cultivos de los municipios de estudio. Datos de 2022 tomados de las Estadísticas agrícolas del Portal Agrario GVA. Elaboración propia.

Sin embargo, estos números han variado con el paso de los años, ya que en 1956 existía mucha más superficie agrícola que en la actualidad. Esto se debe por un lado, al factor anteriormente mencionado que es el crecimiento de las ciudades, que ocupa antiguos espacios agrarios para poder expandir y construir infraestructura urbana; y por otro lado al abandono del medio rural en búsqueda

de nuevas oportunidades, que conlleva la falta de cuidado y mantenimiento de los cultivos, que terminan por incluirse en el combustible vegetal y forestal. Además algunos de estos cultivos se encuentran situados en las inmediaciones de los pueblos o ciudades, lo cual supone un riesgo, ya que al no mantener y limpiar de materia vegetal estas áreas permite que la extensión de la IUF aumente.

El último elemento antrópico que no se puede olvidar son las interacciones específicas relacionadas con los bosques, éstas se pueden dividir en dos partes: las actividades lúdicas o de descanso y las actividades de explotación o mantenimiento forestal. En primer lugar, las actividades lúdicas que pueden realizarse en un bosque siempre son susceptibles de un riesgo, por accidente o no, ya que aumentan las visitas y por tanto aumenta el riesgo o probabilidad de que pueda iniciarse un incendio. Algunas de las actividades que se recogen en esta catalogación son el senderismo, la pernoctación y la existencia de áreas recreativas. Si se presta atención en las actividades de mantenimiento forestal se realizan con maquinaria que basa su funcionamiento en el consumo de combustibles y tienen una naturaleza mecánica, por lo que suponen un riesgo ya que en casos excepcionales podrían generar fuego y provocar un incendio.

Por último, en referencia a las actividades dedicadas a la explotación forestal, se reitera lo mencionado anteriormente, el hecho de que haya presencia humana que visite el bosque aumenta y expone al medio a un riesgo de combustión. Sin embargo, en la Comunidad Valenciana se considera que el aprovechamiento forestal sostenible es positivo para el desarrollo de la actividad económica y se pueden utilizar o extraer de él las siguientes materias: prados de pastoreo, madera en todas sus formas (leña o corteza), frutos y resinas, plantas aromáticas o medicinales, setas, trufas, productos apícolas y piezas de caza.

Es necesario destacar que en el PLPIF de la Vall d'Ebo se recoge que en concreto en su término municipal existen actividades como la caza, la ganadería y la apicultura, pero no hay evidencias de que alguna de ellas haya suscitado el origen de un incendio forestal.

5. Estado de la cuestión

5.1. Marco legal sobre prevención de incendios forestales a escala nacional

Se considera relevante para este trabajo la recopilación del marco legal que aborda la prevención de incendios forestales tanto a nivel nacional como en la Comunidad Valenciana.

La Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes es una normativa estatal. En el Título IV, dedicado a la conservación y protección de montes, centra el Capítulo III a los Incendios Forestales, tanto para la defensa, la prevención, extinción, restauración de terrenos incendiados, hasta trata las zonas de alto riesgo de incendio. La prevención de los incendios forestales está desarrollada en el Artículo 44 y en el apartado 3 del mismo dicta que es competencia de las comunidades autónomas regular las actividades que pueden dar lugar a un incendio forestal, dando especial atención a las zonas de IUF. Es necesario mencionar la ausencia en este texto de preparación o planificación frente a grandes incendios forestales, tampoco se realiza una catalogación de los mismos en cuanto a su gravedad y en el mismo caso se encuentran los usos del suelo, que se mencionan a efectos de catalogación o cambio de uso.

Por otro lado, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales se aprobó en 1993 y desde entonces se ha modificado en varias ocasiones, adaptándose a las experiencias adquiridas de los mecanismos de prevención y extinción de los incendios forestales, siendo resultado el Real Decreto 893/2013, de 15 de noviembre, por el que se aprueba y actualiza este documento. Es la norma por la cual se establecen los elementos básicos de planificación de protección civil en caso de emergencia por incendios forestales. Determina la estructura general y el contenido mínimo que deben tener los Planes Estatales y Planes Autonómicos en materia de Protección Civil ante el riesgo de incendios forestales, así como la coordinación entre unos y otros. Cabe destacar que en el Título III se menciona la utilización de Sistemas de Detección Satelital para detectar focos potenciales de incendios, de modo que se incorporan las TIG a los contenidos del Plan Estatal de Protección Civil. Además, pone especial atención a los incendios forestales que ocurren en las

zonas de IUF, dedicando un anexo a especificaciones que se deben tener en cuenta en los planes de autoprotección por riesgo de incendio forestal de las nuevas edificaciones o instalaciones localizadas en las IUF. Se menciona que los Planes Autonómicos y Planes de actuación de ámbito local de emergencia por incendios forestales deben incluir en el apartado de zonificación del riesgo la IUF.

El Plan Estatal de Protección Civil para Emergencias por Incendios Forestales se adopta según la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales y determina la actuación de recursos y servicios del Estado para ofrecer una respuesta eficaz de las Administraciones Públicas cuando un incendio forestal se convierte en un problema de interés nacional o para asegurar apoyo a las CCAA afectadas cuando estas lo soliciten. El Plan Estatal también sirve para facilitar la cooperación y colaboración entre los Planes de las comunidades autónomas.

En el Anexo I de este documento se ha recurrido a través de AEMET a TIG para la realización de un índice de peligro meteorológico de incendios forestales, el cual establece cinco clasificaciones de nivel de alerta en función de los datos recabados en las estaciones meteorológicas. Es por ello que en el caso de este texto se tratan escenarios de GIF. También se ha calculado en el Anexo III el índice de gravedad potencial a través de una matriz, donde se tiene en cuenta la topografía, el combustible, la meteorología y además la vulnerabilidad de personas y bienes y el valor añadido del propio territorio. Sin embargo, aquello referente a los usos del suelo, su degradación o tratamiento preventivo no se comprende en este escrito.

5.2. Marco legal sobre prevención de incendios forestales de la Comunitat Valenciana

La Ley 3/1993, de 9 de diciembre, Forestal de la Comunitat Valenciana establece el marco normativo para la gestión y conservación de los recursos forestales en la región. Su objetivo principal es promover el desarrollo sostenible del sector forestal, garantizando la protección de los ecosistemas forestales, la prevención de incendios, la ordenación del territorio y la promoción de prácticas

forestales responsables. La ley aborda aspectos como la planificación forestal, la regulación de actividades forestales, la protección contra incendios y la participación ciudadana en la gestión forestal, contribuyendo así a la preservación y mejora del patrimonio forestal valenciano. Además esta ley, establece la obligación de las entidades locales con terrenos forestales de redactar Planes locales de prevención de incendios forestales (PLPIF), subordinados a los planes de prevención de cada demarcación.

En la Ley de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, en el contexto del Decreto Legislativo 1/2021, de 18 de junio, del Consell, de la Comunidad Valenciana se dedica un apartado exclusivo a la prevención de incendios forestales, siendo el Anexo XI. En él se detallan las medidas de prevención de incendios forestales que deben integrarse en urbanizaciones, núcleos de población, edificaciones o instalaciones destinadas a uso residencial, industrial o terciario en terreno forestal o colindante. Se destaca la obligatoriedad de establecer una faja perimetral de protección de al menos 30 metros de ancho, medidas de discontinuidad entre terrenos urbanos y vegetación forestal, y la posibilidad de incorporar zonas ajardinadas bajo criterios de jardinería preventiva. Además, se especifican requisitos para viales, tratamiento de vegetación interior, instalación de hidrantes y otros sistemas de protección con agua, así como la necesidad de planes de autoprotección conforme al Plan especial frente al riesgo de incendios forestales de la Comunitat Valenciana. Este enfoque integral busca reducir la vulnerabilidad ante incendios forestales y garantizar la seguridad de las áreas urbanas en contextos de riesgo.

El Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR) aborda entre otros temas relacionados con el territorio forestal, la problemática de los incendios forestales. Destaca la importancia de la regulación de incendios para prevenir daños materiales, así como para preservar la biodiversidad, la hidrología y mitigar el cambio climático. El documento analiza la situación actual de los incendios en la región, evaluando riesgos y proponiendo estrategias de gestión forestal para reducir la frecuencia y peligrosidad de los incendios. Por un lado, se detalla la importancia de la pérdida o transformación de los cultivos en terreno forestal que tiene como consecuencia el aumento de la interfaz urbano-forestal y el aumento de la exposición al riesgo. Por otro lado,

se tiene en consideración la existencia de GIF para los cuales existen grupos de prevención y extinción, además se les atribuyen graves consecuencias como el aumento de la erosión, favorece la desertificación, la proliferación de especies resistentes al fuego, etc.

El Plan Especial ante el Riesgo de Incendios Forestales (PEIF) es una estrategia integral diseñada para prevenir, controlar y mitigar los riesgos asociados a los incendios forestales en la Comunitat Valenciana. Este plan establece medidas específicas de vigilancia, detección, intervención y recuperación, así como la coordinación de recursos humanos y materiales para garantizar una respuesta eficaz ante situaciones de emergencia. Cabe destacar la existencia de un índice de gravedad potencial donde se clasifica la situación del incendio y se le aplican las medidas equiparables. En este caso el plan se enfoca en la sensibilización y participación ciudadana, la investigación y la educación ambiental para promover una gestión forestal sostenible y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a los incendios forestales en la Comunitat Valenciana.

El Plan Local de Prevención de Incendios Forestales del término municipal de la Vall d'Ebo tiene una vigencia de 15 años con revisiones cada cinco años, además de aportar un informe anual obligatorio. En él se recogen dos apartados uno acerca de la IUF y el otro de la interfaz agrícola-forestal. En el primero determina que es un núcleo compacto ante el que no existe riesgo de inicio de un fuego, sin embargo en el segundo caso se expone que los bancales abandonados suponen un riesgo, ya que la falta de labranza permite al matorral crecer y a la hora de realizar las quemas de poda existe una mayor exposición al descontrol del fuego. Unido a lo mencionado anteriormente, se destaca del apartado de peligrosidad o riesgo de incendio forestal que el PATFOR no determina como combustibles los cultivos en abandono, mientras que la redacción de este documento expresa lo contrario.

En este texto se detecta una falta de perspectiva ante GIF, ya que se han centrado en antecedentes sufridos en el municipio, y de empleo de las TIG para plantear posibles escenarios basados en experiencias anteriores. A pesar de ello, al ser un municipio que ha sufrido varios incendios existe una percepción de

la gravedad de lo IF, que queda demostrado al leer este documento y como ejemplo, se debe mencionar la incorporación de quemadores en las parcelas cultivadas y el análisis que se hace de los mismos, ya que necesitan un mantenimiento y buen uso. Como análisis global del Plan Local de Prevención de Incendios Forestales de la Vall d'Ebo, es evidente que se ha realizado un análisis exhaustivo y se han implementado medidas significativas para mitigar los riesgos. Sin embargo, a la luz de la reciente experiencia con el incendio, queda claro que ningún plan puede garantizar una tranquilidad absoluta. La complejidad y la imprevisibilidad de los incendios forestales requieren una constante evaluación y adaptación de las estrategias de prevención.

6. Resultados de la investigación

6.1. Análisis de la superficie total afectada por el incendio

Los resultados obtenidos del proceso de obtención del área quemada son fruto de la aplicación de los índices NBR y dNBR y demás procesos vectoriales explicados previamente en el apartado “3.4. Estrategia de trabajo”. El resultado es una capa vectorial diferenciada en dos polígonos, uno que determina los valores de la zona quemada y otro que determina los del área sin quemar, por lo tanto estos últimos se eliminan con el objetivo de conseguir únicamente la zona quemada.

Con la obtención de este polígono se pretende aportar una representación fidedigna de la extensión del incendio. Además este polígono junto con su correspondiente buffer conforman el troquel necesario para trabajar con el resto de capas vectoriales, de modo que los geoprocursos tienen mayor ligereza al ejecutarse y los resultados son más óptimos. Si se observa en la figura 12, se distingue el área afectada, así como los municipios que han sufrido los efectos del incendio.

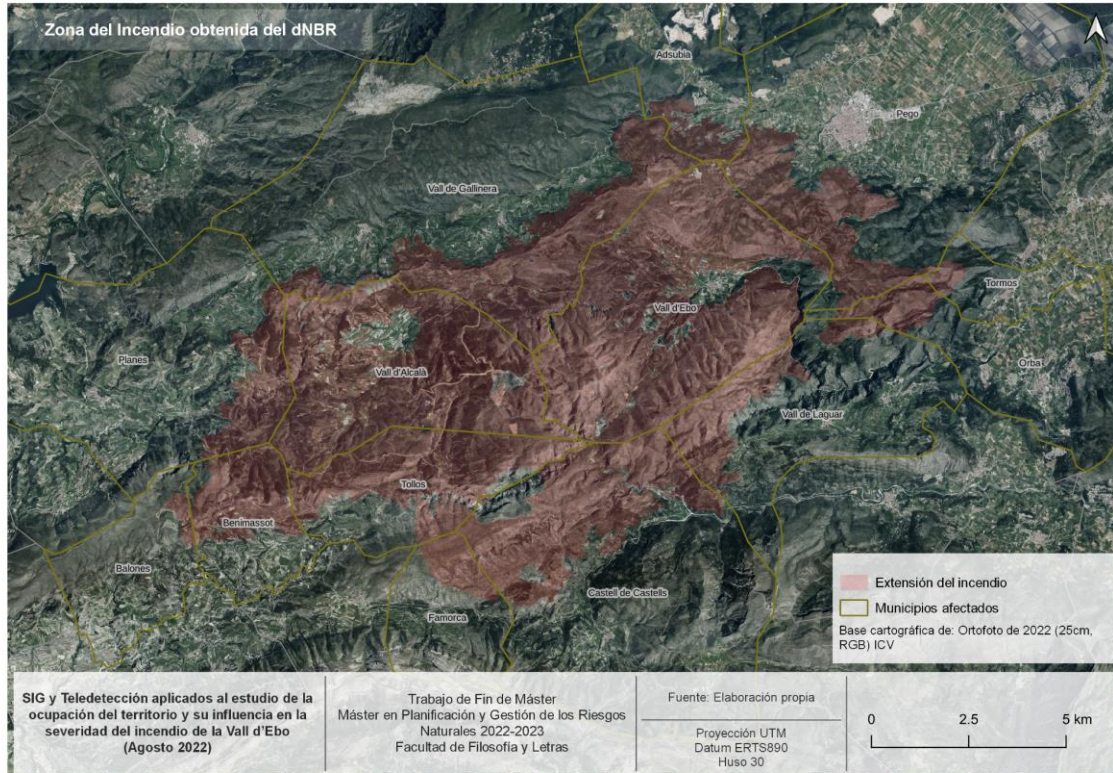


Figura 12: Mapa de la zona quemada. Elaboración propia.

6.1.1. Matriz de tabulación cruzada

“La actividad que desde muchos siglos atrás domina en el paisaje en el interior de los valles es la agricultura. (...) Además del cerezo, los principales cultivos que históricamente han estado presentes en la zona son de olivo, almendro y algarrobo. (...) Además de la existencia de otros frutales, actualmente se están extendiendo otros cultivos más modernos de regadío como los naranjos.” Tal y como explica Torró *et al.* (2016) en su “Estudio del paisaje cultural y arquitectónico mediterráneo. La Vall D'Alcalà-La Vall D'Ebo-La Vall de Gallinera”, la agricultura ha sido y es una parte fundamental de la extensión de esta zona. Sin embargo, durante el paso del tiempo y por diferentes factores la agricultura ha sido abandonada como primera actividad o uso en el área de estudio.

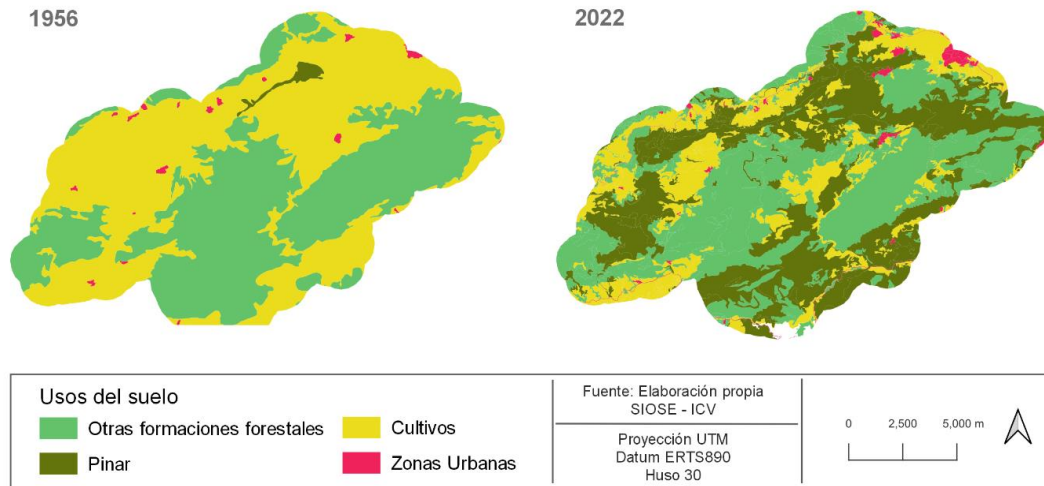


Figura 13: Mapas de LUCC 1956-2022 de la zona quemada. Elaboración propia.

Tras un incendio el paisaje cambia radicalmente, las áreas que antes estaban cubiertas por vegetación ahora presentan una gran reducción de su cobertura forestal, revelando gran vulnerabilidad. Este suceso, ha generado una alteración multiescalar en el suelo en sí, pero también en los usos del suelo, desafiando la sostenibilidad y la diversidad biológica que antes poseía la región. Los resultados obtenidos en la zona quemada son los siguientes: en 1956 predominaba la existencia de cultivos por encima de cualquier otro uso, otras formaciones forestales abarcaban una extensión considerable, y las zonas urbanas aparecían de forma muy salpicada y reducida. Tal y como se observa en la figura 13, en 2022 los LUCC se han modificado notablemente: a grandes rasgos se ve que los cultivos han perdido extensión, mientras que el pinar gana superficie, las zonas urbanas han aumentado su tamaño y las otras formaciones forestales se mantienen.

A este análisis visual que se puede realizar de la zona quemada se añade el soporte cuantitativo que supone la matriz de tabulación cruzada, gracias a ella se puede analizar qué tipos LUCC se han transformado en otros y en qué medida. En el caso del área quemada, se dispone de las tablas 6 y 7 para poder entender la evolución sufrida. En primer lugar, la tabla 6 recoge las hectáreas (ha) que cada LUCC ha perdido, ganado o las superficies que han persistido, así como también las ganancias y pérdidas totales. Gracias a esta tabla que recoge los datos cuantitativos se puede proceder a realizar la tabla 7, la cual transforma en porcentajes las cifras anteriores. Si se atiende a la tabla 7, se observa que el

pinar y las otras formaciones forestales han sufrido una ganancia territorial considerable, se trata de un 65,68% y un 26,80%, respectivamente. Esto supone que en el mismo territorio hay usos como los cultivos (64,54%) y las otras formaciones forestales (34,93%) que han perdido superficie. En el caso de las zonas urbanas, esta evolución ha supuesto un 0,42% de pérdidas y un 2,17% de ganancias, dando como resultado una persistencia del 0,38%. Si se observa la persistencia de los LUC más abundantes destacan las otras formaciones forestales con un 27,86% y los cultivos con un 17,12%, mientras que la persistencia del pinar es de un 0,67%

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas		
1956	O. form. forestales	5498,8	3181,57	524,75	14,04	9219,16	3720,36
	Pinar	2,36	132,8	10,07	0	145,25	12,43
	Cultivos	2844,01	3813,03	3379,5	216,81	10253,32	6873,85
	Zonas Urbanas	8,01	1	35,34	74,8	119,11	44,35
Total (2022)		8353,18	7128,42	3949,63	305,61	19736,84	10650,99
Ganancias (Ha)		2854,38	6995,6	570,16	230,85	10650,99	9085,85 <= Total P.

Tabla 6: Matriz aplicada a los LUC de la zona quemada entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	26,80%	34,93%	61,73%	69,86%	-8,13%	27,86%
Pinar	65,68%	0,12%	65,80%	131,36%	-65,56%	0,67%
Cultivos	5,35%	64,54%	69,89%	10,71%	59,18%	17,12%
Zonas Urbanas	2,17%	0,42%	2,58%	0,83%	1,75%	0,38%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	106,38%	-6,38%	46,03%

Tabla 7: Variables de cambios de la zona quemada entre 1956-2022. Elaboración propia.

Los datos de la tabla 7, han sido utilizados para la creación del gráfico 1, a través del mismo, se puede comparar de manera visual cuales han sido las superficies que han ganado superficie y cuales han perdido. Como ya se ha mencionado, las ganancias más significativas son las del pinar y las formaciones forestales, asimismo, los cultivos y las formaciones forestales han sido las principales superficies que han perdido en pro de la ganancia de las anteriores. Todos estos datos de carácter numérico se trasladan a un formato visual a través

de las figuras 14 y 15, las cuales contienen mapas que responden a las transiciones sufridas por cada LUCG debido a la aplicación de la matriz de transición.

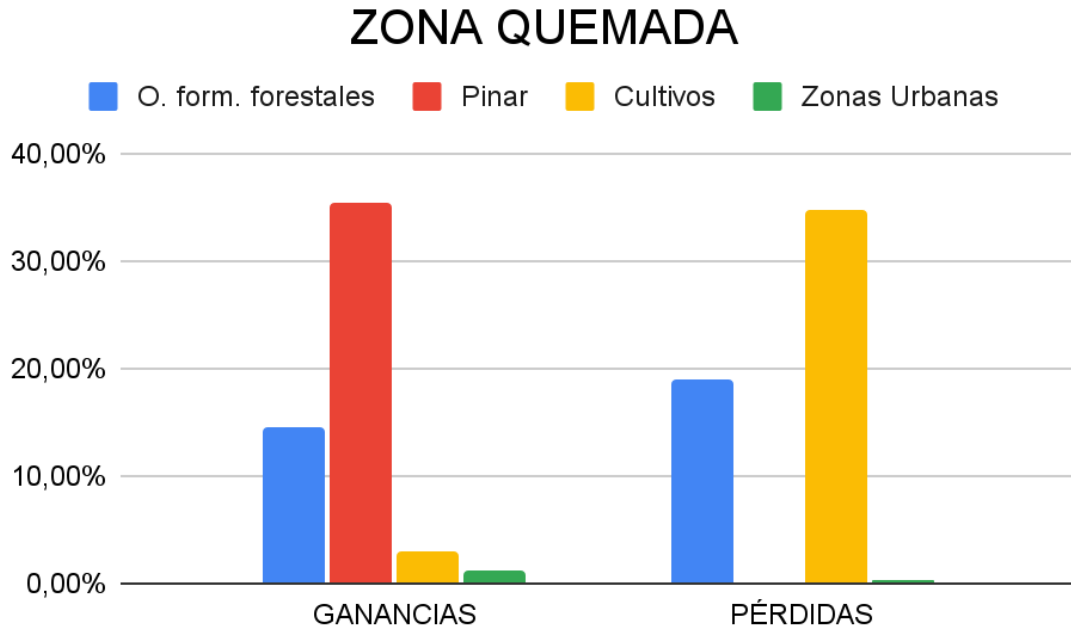


Gráfico 1: Ganancias y pérdidas de LUCG para la zona quemada, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

RESULTADO CARTOGRÁFICO DE LA MATRIZ DE TRANSICIÓN 1956 - 2022 (1)

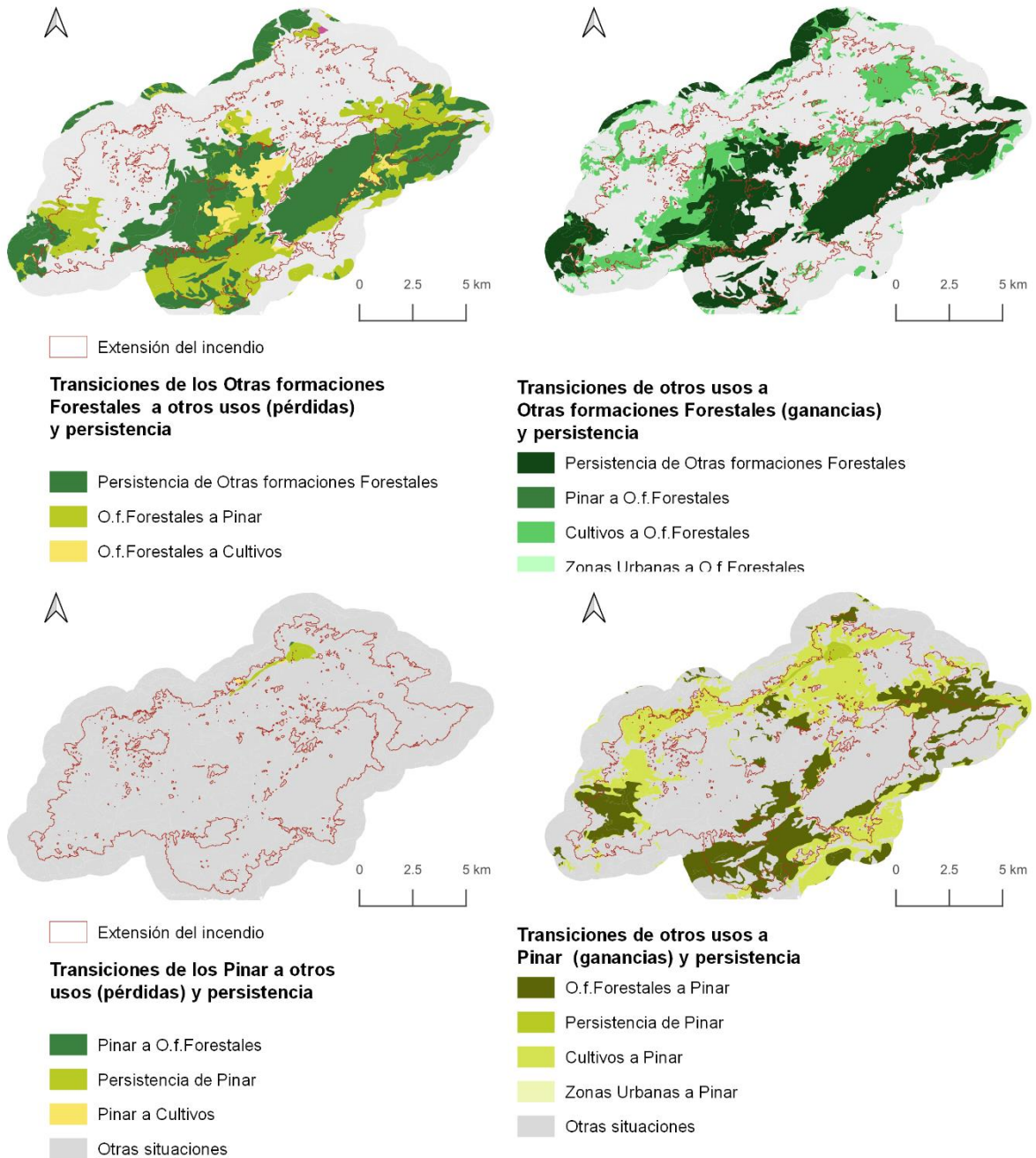


Figura 14: Mapas de las transiciones que han sufrido el pinar y las otras formaciones forestales entre 1956 y 2022. Elaboración propia.

RESULTADO CARTOGRÁFICO DE LA MATRIZ DE TRANSICIÓN 1956 - 2022 (2)

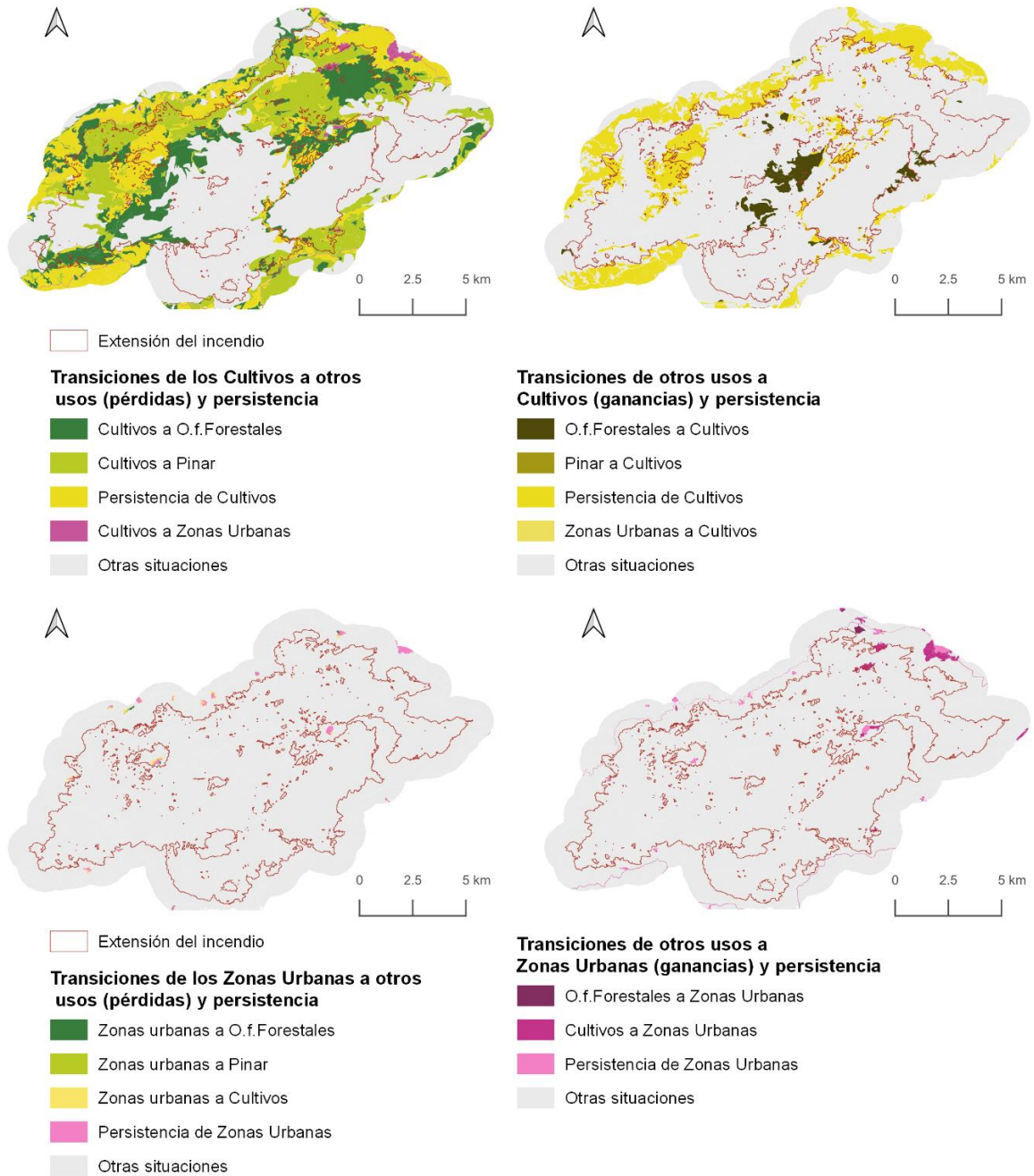


Figura 15: Mapas de las transiciones que han sufrido los cultivos y las zonas urbanas entre 1956 y 2022. Elaboración propia.

6.1.2. Severidad de incendio

En primer lugar, hay que considerar que existen lugares en los que el fuego ha incidido más y otros en los que no tanto, esto puede deberse a diferentes factores. Algunos de ellos pueden ser la topografía del terreno, ya que esta puede influir en la dirección y velocidad del avance de las llamas; el tipo de vegetación presente en estas áreas de mayor severidad influye en la combustibilidad y la rapidez con la que el fuego pudo haberse propagado. Estos factores conforman una pequeña parte de todo lo que influye, pero además se quiere hacer mención a la importancia que tiene la evolución de los LUCC cuando se observa con retrospectiva un incendio, ya que está muy vinculada con el combustible vegetal.

Los resultados que se han obtenido tras el proceso de elaboración de este trabajo son fruto del cálculo de los índices NBR y dNBR y sus respectivas geometrías. Este proceso finaliza con la creación de la figura 16, la cual representa un mapa en el que aparece la zona del incendio categorizada mediante la leyenda que el USGS-USDA establece para este tipo de representación. Se ha decidido representar únicamente la zona quemada, para poder enfocar toda la atención en dicho suceso.

Más adelante, este resultado sirve como punto de partida para obtener y delimitar las zonas del incendio donde hubo una severidad más alta, entendiendo la severidad como concepto que “hace referencia a los efectos del fuego sobre el medio ambiente, siendo comúnmente definido como la magnitud del cambio ecológico causado por el fuego” (Montorio Llovería, 2014; Key & Benson, 2006). Es importante destacar que estas zonas fueron las más perjudicadas en el incendio, debido a este motivo, se incide en ellas en detalle para conocer el proceso que han sufrido los LUCC en estas áreas.

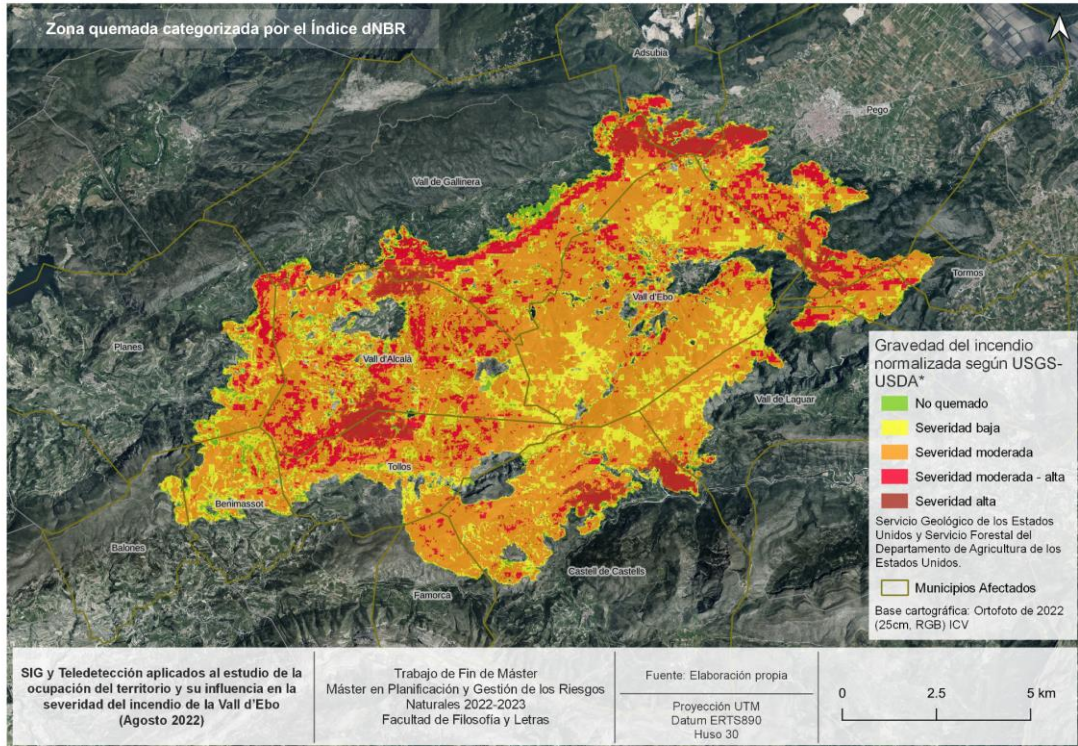


Figura 16: Mapa de la zona quemada categorizada por el índice dNBR. Elaboración propia.

6.2. Análisis de las zonas de mayor severidad del incendio

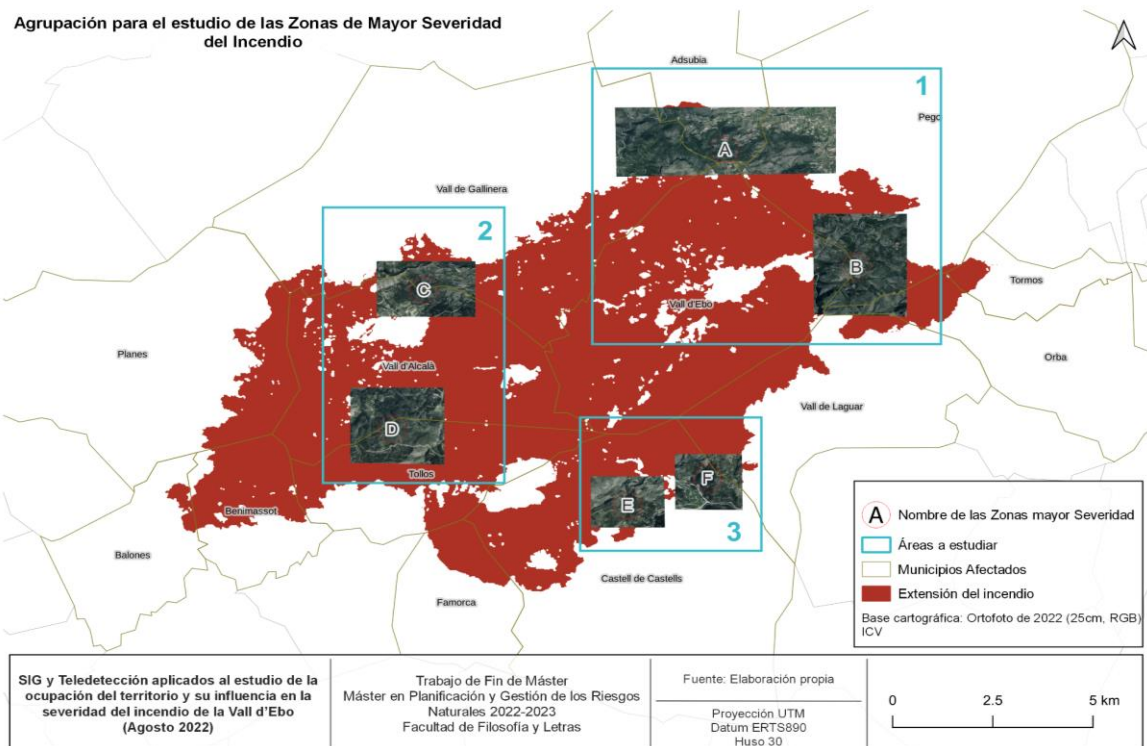


Figura 17: Mapa de ubicación y agrupación de las zonas de mayor severidad de incendio. Elaboración propia

El análisis de las zonas de mayor severidad del incendio revela una panorámica crítica para comprender la magnitud de los daños. Esta evaluación ha permitido identificar las áreas más afectadas, donde el fuego ha persistido con mayor intensidad. Realizando un análisis de estas zonas, se descubren patrones o factores que contribuyeron a aumentar la severidad.

Para el procedimiento y explicación de esta parte del trabajo se ha realizado un mapa y dos composiciones de tres mapas cada una. En primer lugar se va a explicar el mapa, que es la figura 17. Esta figura tiene como principal objetivo asignar a cada una de las zonas de mayor severidad un nombre, en este caso se ha optado por un criterio alfabético (de la A a la F). Con la realización de este mapa también se pretende organizar dichas áreas en pares para poder estudiarlas. Además se permite ver las zonas de mayor severidad como estaban antes del incendio, gracias a la utilización de la Ortofoto de 2022 como base

Una vez se han identificado las zonas de mayor de severidad, se puede analizar las figuras 18 y 19. Son composiciones donde se representan tres mapas, numerados de 1 a 3, donde se advierte en detalle cada área y su leyenda correspondiente. Si se observa la figura 18, en ella se puede ver los LUCC de 1956. En el mapa número 1, se ubican el área C y el D: los usos que dominan ambas zonas son los cultivos y las formaciones forestales, destacando únicamente una pequeña sección de zonas urbanas en el área D. En el caso del mapa 2 se visualizan dos situaciones completamente contrarias: el A posee una gran extensión de cultivos, un sector de formaciones forestales más limitado y de forma aislada una extensión de pinar y apenas una región de zonas urbanas al norte del polígono; en el área B se descubre una gran extensión de otras formaciones forestales y unas zonas de cultivos aisladas. Por último, en el mapa 3, se obtiene una situación semejante al mapa 1, en ambas áreas hay una paridad entre los cultivos y las otras formaciones forestales, sin embargo en el caso del F presenta polígonos más fragmentados, mientras que en el E son dos usos compactos.

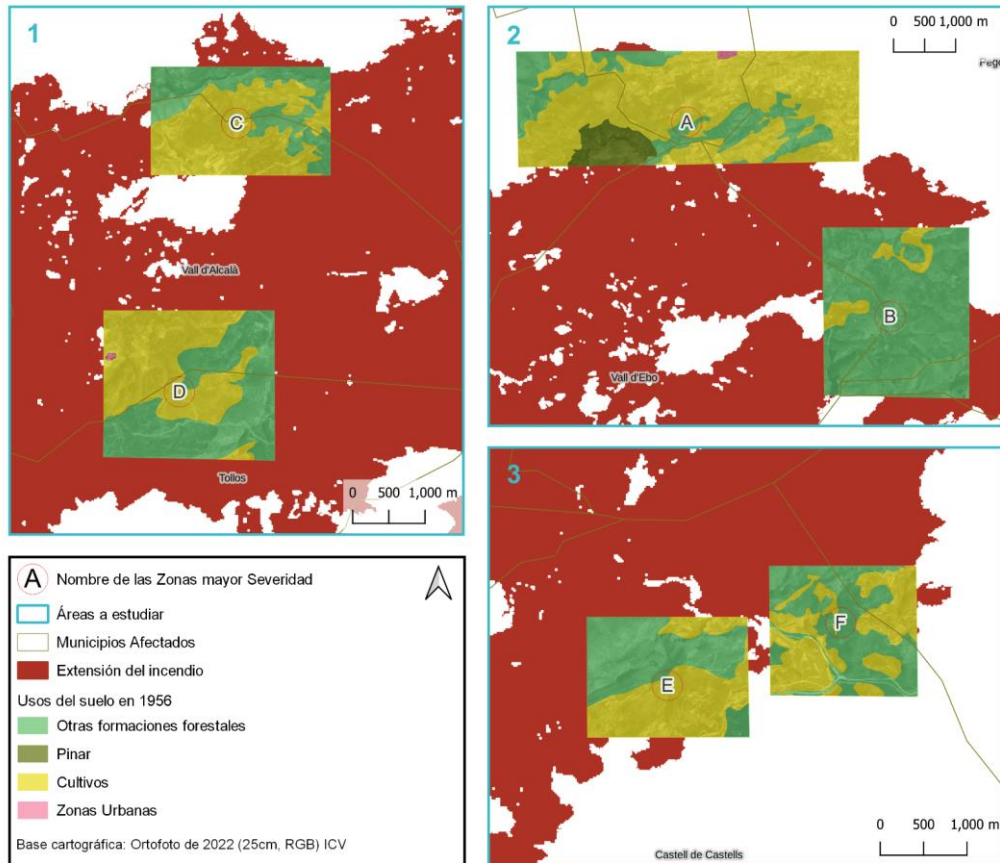


Figura 18: Mapas de las zonas de mayor severidad con los LUC de 1956.
Elaboración propia.

La figura 19 representa los LUC de 2022, lo cual lleva a unos resultados diferentes. Comenzando con el mapa 1 se detecta un cambio en las coberturas en el sector oeste del término afectado: en el área C se ha incorporado la presencia del pinar en una cantidad abundante, mientras que los cultivos menguan y las otras formaciones forestales se reducen considerablemente. En el caso de la zona D, las otras formaciones superficiales se han impuesto por encima de los cultivos, ha aparecido una zona aislada de pinar y la zona urbana no ha sufrido apenas modificaciones. Al dirigir la atención al mapa 2, el cual se sitúa al noreste del incendio, se identifican varios cambios: en el área A han surgido nuevas zonas urbanas, el pinar ha aumentado, mientras que los cultivos y otras formaciones forestales han menguado. Por otro lado, la zona B ha sufrido un aumento de superficie de pinar, los cultivos son muy escasos, poco significativos y las otras formaciones forestales se han visto reducidas. Finalmente, el mapa 3 vuelve a tener homogeneidad en ambas áreas, E y F sufren una gran pérdida de cultivos y de formaciones forestales, que han pasado

a formar parte de las otras formaciones forestales. Este límite analizado se ubica al sureste de la zona quemada.

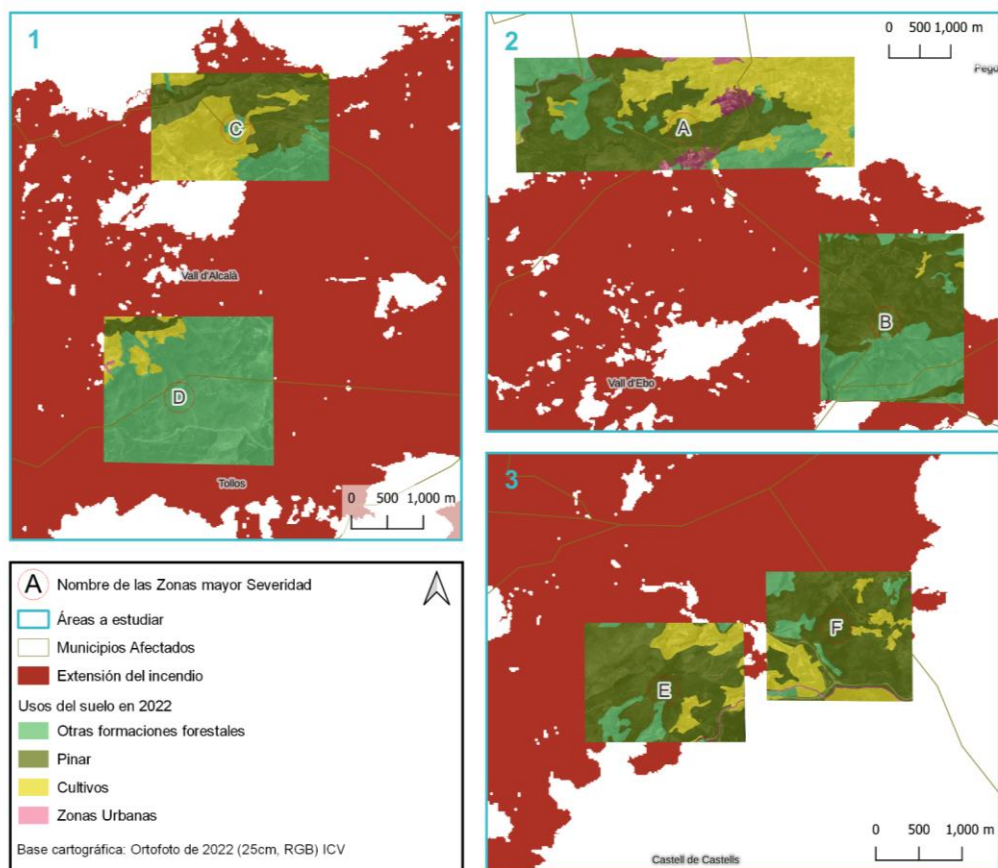


Figura 19: Mapas de las zonas de mayor severidad con los LUC de 2022. Elaboración propia.

A estas zonas también se le ha aplicado la matriz de tabulación cruzada desarrollada por Pontius *et al.* (2004). Lo que permite observar desde un criterio cuantitativo cada una de las zonas delimitadas y la evolución de sus LUC. Se va a explicar una por una y siguiendo el orden alfabético que se estableció. En primer lugar, si se observan las tablas 8 y 9 se puede apreciar los resultados de la aplicación de la matriz. Si se presta atención a las ganancias y pérdidas de la tabla 9 se percibe que el pinar y las otras formaciones forestales son las que han ganado más terreno frente a las pérdidas de los cultivos y de las otras formaciones forestales. Las zonas urbanas también han sufrido un incremento de su extensión, aunque al ser revisadas mediante fotointerpretación se ha mencionado que son pequeños conjuntos de casas rodeados de cultivos. Las

ganancias y pérdidas de la zona A se ven representadas mediante el gráfico 2 a modo de soporte visual para este análisis.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas		
1956	O. form. forestales	372,1	283	8	1,7407	664,4	292
	Pinar	2,36	72,5	0	0	74,859	2,36
	Cultivos	163	430	336,3	44	973	637
	Zonas Urbanas	0	0	2,0	3,8	6	2
Total (2022)		537,5	785	346	49,4177	1718,6	934
Ganancias (Ha)		165,4017	713	10	45,5701	933,8139	784,8 <= Total P.

Tabla 8: Matriz aplicada a los LULCC de la zona A entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	17,71%	31,30%	49,02%	62,61%	-13,59%	21,65%
Pinar	76,34%	0,25%	76,59%	152,68%	-76,09%	4,22%
Cultivos	1,07%	68,22%	69,29%	2,14%	67,15%	19,57%
Zonas Urbanas	4,88%	0,23%	5,11%	0,45%	4,65%	0,22%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	108,94%	-8,94%	45,66%

Tabla 9: Variables de cambios de la zona A entre 1956-2022. Elaboración propia.

ZONA A

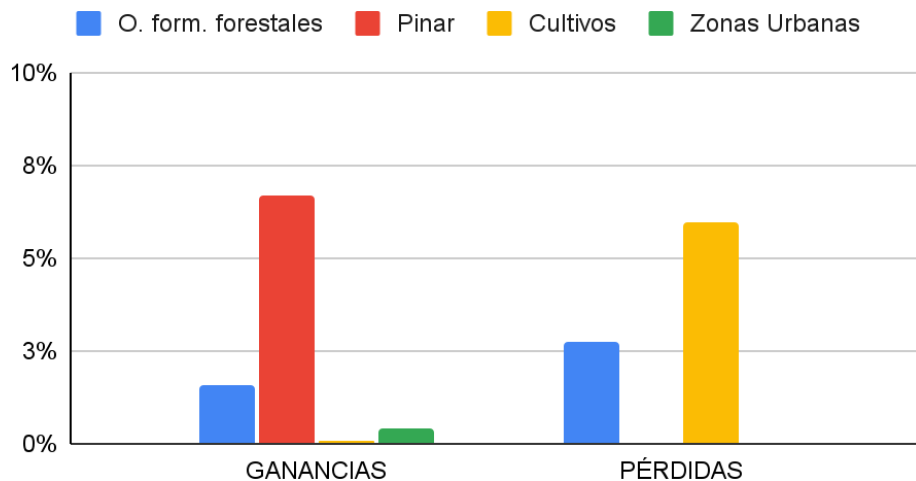


Gráfico 2: Ganancias y pérdidas de LULCC para la zona A, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

Al analizar la matriz de la zona B se observa que hay una mayor ganancia de terreno de pinar y más sutil de otras formaciones forestales, se deben a la pérdida de o.f. forestales, que es el LULCC que más superficie pierde junto con los cultivos, que le sigue en menor porcentaje de pérdida. De nuevo el gráfico 3

representa este proceso de intercambio y los datos y porcentajes se contienen en las tablas 10 y 11.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)	
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas			
1956	O. form. forestales	246,8	297	1	0	545,5	299	
	Pinar	0	0	0		0	0	
	Cultivos	97	100	3,2	0	200	197	
	Zonas Urbanas	0	0	0	0	0	0	
Total (2022)		343,7	397	5	0	745,7	496	
Ganancias (Ha)		96,99	397	0	0	494,451	249,9	
							<= Total P.	

Tabla 10: Matriz aplicada a los LUCC de la zona B entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	19,62%	60,15%	79,77%	120,30%	-40,53%	33,09%
Pinar	80,38%	0,00%	80,38%	160,77%	-80,38%	0,00%
Cultivos	0,00%	39,85%	39,85%	0,00%	39,85%	0,43%
Zonas Urbanas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	140,53%	-40,54%	33,51%

Tabla 11: Variables de cambios de la zona B entre 1956-2022. Elaboración propia.

ZONA B

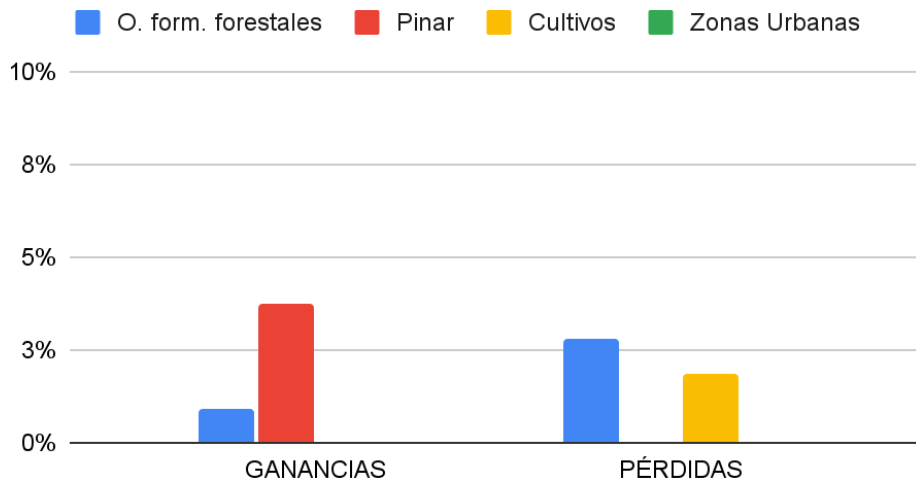


Gráfico 3: Ganancias y pérdidas de LUCC para la zona B, periodo 1956-2022. Elaboración propia

La siguiente zona a examinar será la C, esta situación varía parcialmente de las anteriores: se mantiene una ganancia de pinar y de otras formaciones forestales, sin embargo en esta zona las pérdidas son enteramente de cultivos, tal y como se observa en la tabla 13 y representa el gráfico 4.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)	
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas			
1956	O. form. forestales	202,7	0	0	0	203	0	
	Pinar	0	0	0	0	0	0	
	Cultivos	226	412	147,6	0	786	638	
	Zonas Urbanas	0	0	0	0	0	0	
Total (2022)		429	412	148	0	988	638	
Ganancias (Ha)		226,31	412	0	0	638,105	350	<= Total P.

Tabla 12: Matriz aplicada a los LUC de la zona C entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIO USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	35,47%	0,00%	35,47%	0,01%	35,46%	20,51%
Pinar	64,53%	0,00%	64,53%	129,07%	-64,53%	0,00%
Cultivos	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	14,93%
Zonas Urbanas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	64,54%	35,46%	35,44%

Tabla 13: Variables de cambios de la zona C entre 1956-2022. Elaboración propia.

ZONA C

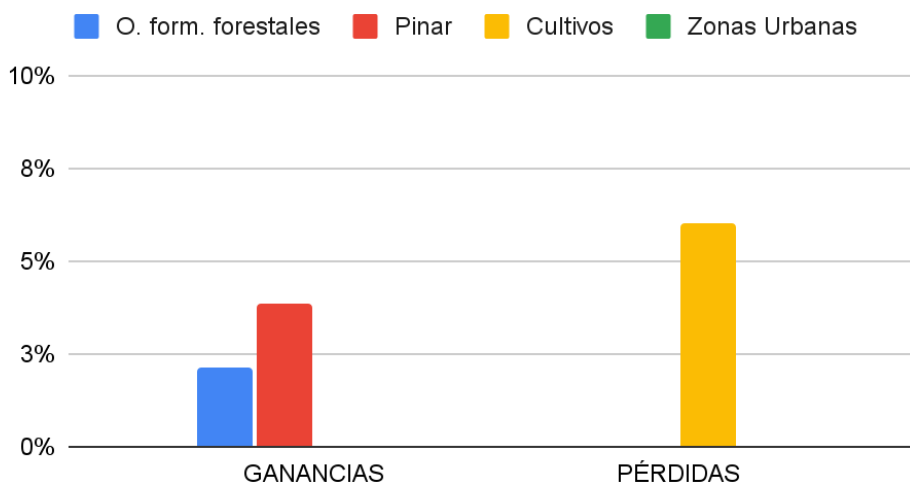


Gráfico 4: Ganancias y pérdidas de LULCC para la zona C, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

Continuando con la descomposición del sector D, se puede decir que el patrón que se ha observado en las zonas anteriores se mantiene pero con matices. Los cultivos sufren mayores pérdidas para que las otras formaciones forestales ganen terreno, a diferencia de casos anteriores, donde el pinar era el más favorecido, todo ello se observa tanto en el gráfico 5 como en la tabla 15 en forma de porcentajes.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas		
1956	O. form. forestales	257,7	0	0	0	258	0
	Pinar	0	0	0	0	0	0
	Cultivos	291	18	79,5	1	389	309
	Zonas Urbanas	0	0	0,74	0,5	1	1
Total (2022)		548	18	80	1,06	648	310
Ganancias (Ha)		290,8	18	0	0,53	309,4	338

Tabla 14: Matriz aplicada a los LUC de la zona D entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	94,00%	0,00%	94,00%	0,00%	94,00%	39,78%
Pinar	5,83%	0,00%	5,83%	11,66%	-5,83%	0,00%
Cultivos	0,00%	99,76%	99,76%	0,00%	99,76%	12,27%
Zonas Urbanas	0,17%	0,24%	0,41%	0,48%	-0,07%	0,08%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	6,07%	93,93%	52,12%

Tabla 15: Variables de cambios de la zona D entre 1956-2022. Elaboración propia.

ZONA D

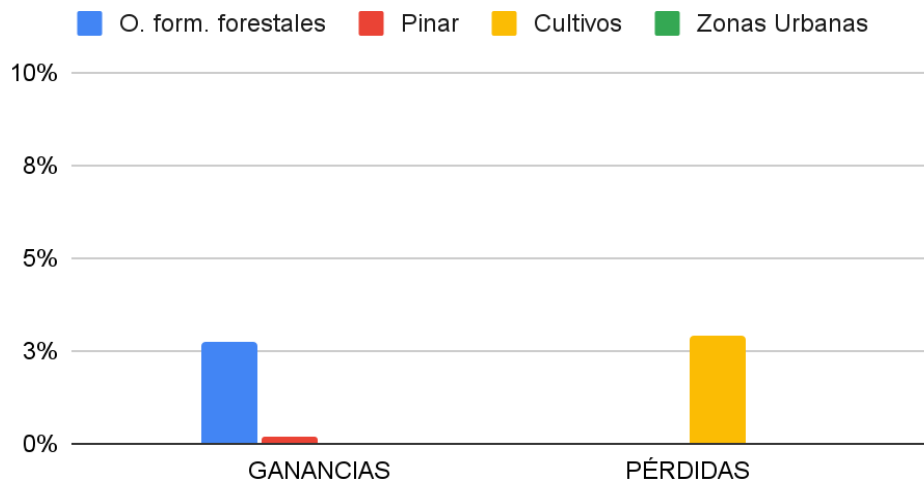


Gráfico 5: Ganancias y pérdidas de LUC para la zona D, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

En el caso de la zona E, se recuerda que se ubica en el sector sureste del incendio, los datos obtenidos se encuentran recabados en las tablas 16 y 17 y representados en el gráfico 6. Esta área presenta una gran pérdida de cultivos y de otras formaciones forestales en pro del crecimiento del pinar.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)	
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas			
1956	O. form. forestales	19,0	105	14	0	138	119	
	Pinar	0	0	0	0	0	0	
	Cultivos	20	113	4,3	0	138	133	
	Zonas Urbanas	0	0	0	0	0	0	
Total (2022)		39	218	19	0	276	253	
Ganancias (Ha)		20,1	218	0	0	238,3	23	<= Total P.

Tabla 16: Matriz aplicada a los LUC de la zona E entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	8,43%	44,09%	52,52%	88,18%	-35,66%	6,90%
Pinar	91,57%	0,00%	91,57%	183,15%	-91,57%	0,00%
Cultivos	0,00%	55,91%	55,91%	0,00%	55,91%	1,55%
Zonas Urbanas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	135,66%	-35,67%	8,45%

Tabla 17: Variables de cambios de la zona E entre 1956-2022. Elaboración propia.

ZONA E

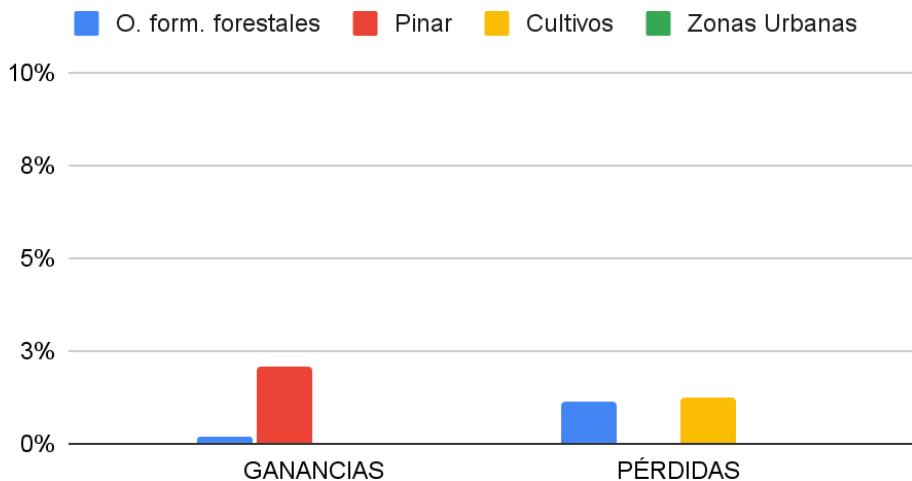


Gráfico 6: Ganancias y pérdidas de LULCC para la zona E, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

Finalmente, la zona F sufre las mismas condiciones que la E, la cobertura que domina la ganancia es el pinar y una pequeña parte las o.f. forestales; esta última también sufre una pequeña pérdida, por lo que se puede interpretar un cierto

equilibrio. Sin embargo, no se puede decir lo mismo de los cultivos, que se han visto mermados considerablemente.

LULCC P MATRIX		2022				Total (1956)	Pérdidas (Ha)	
		O. form. forestales	Pinar	Cultivos	Zonas Urbanas			
1956	O. form. forestales	17,2	14	0	0	31	14	
	Pinar	0	0	0		0	0	
	Cultivos	17	251	57,4	5	329	272	
	Zonas Urbanas	0	0	0	0	0	0	
Total (2022)		34	264	57	4,54	360	285	
Ganancias (Ha)		16,5	264	0	4,54	285,5	75	<= Total P.

Tabla 18: Matriz aplicada a los LUC de la zona F entre 1956-2022. Elaboración propia.

CAMBIOS USOS DEL SUELO (%)	GANANCIAS (%)	PÉRDIDAS (%)	Cambio Total (%)	Intercambio (%)	Cambio neto (%)	Persistencia (P)
O. form. forestales	5,79%	4,88%	10,66%	9,75%	0,91%	4,77%
Pinar	92,62%	0,00%	92,62%	185,25%	-92,62%	0,00%
Cultivos	0,00%	95,12%	95,12%	0,00%	95,12%	15,94%
Zonas Urbanas	1,59%	0,00%	1,59%	0,00%	1,59%	0,00%
TOTAL (%)	100,00%	100,00%	100,00%	97,50%	2,50%	20,71%

Tabla 19: Variables de cambios de la zona F entre 1956-2022. Elaboración propia.

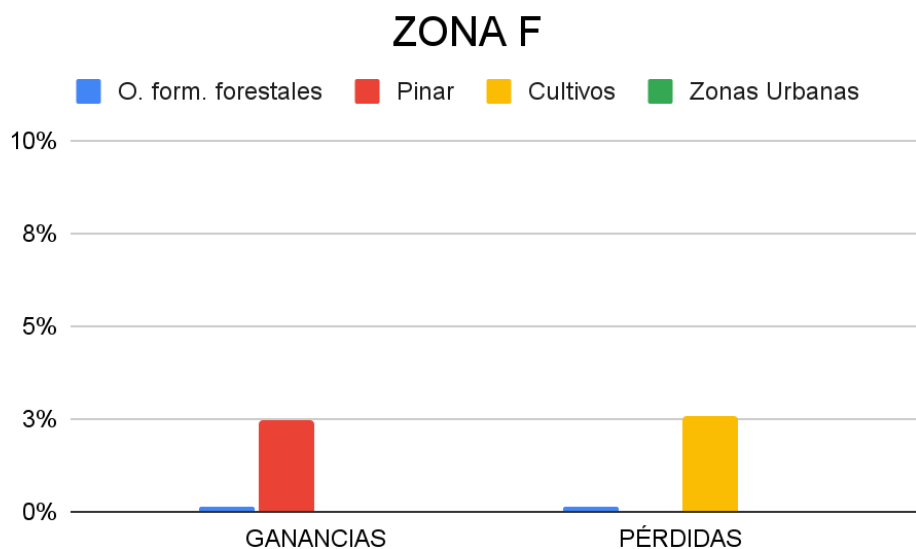


Gráfico 7: Ganancias y pérdidas de LUC de la zona F, periodo 1956-2022. Elaboración propia.

7. Conclusiones

En primer lugar, se retoma la hipótesis planteada al inicio de esta investigación, en la que se formulaba la pregunta de si la utilización de herramientas informáticas para procesar *Geo-información* y las fuentes de información oficiales, normalizadas y abiertas pueden ayudar a analizar la relación territorial entre la evolución de las actividades humanas y el aumento de severidad de los incendios forestales. Tras la realización del trabajo se ha podido confirmar y demostrar esta hipótesis por varios motivos:

- La utilización de TIG y bases de datos, junto con el desarrollo y aplicabilidad en SIG ha permitido obtener los resultados que constatan la influencia de las actividades antrópicas en el medio. Además de la utilización y empleo de una metodología como la de Pontius *et al.* (2004), mediante la cual se han conseguido datos cuantitativos con los que demostrar esa evolución de los LUCC y datos relativos, con los que poder comparar la situación en distintas zonas de estudio.
- Además, se expone que el abandono de la actividad antrópica de carácter rural tradicional provoca un aumento en la severidad de incendios y aumenta la IUF. Esto se debe al aumento del combustible vegetal, gracias al crecimiento de la vegetación forestal sobre esos campos de cultivo abandonados. La extensión de la cobertura forestal y la desaparición de intersticios dentro de ella, aumentan la peligrosidad, máxime en el caso de haber infraestructuras creadas por el ser humano cercanas, por la existencia de viviendas o viales, incrementando el peligro de incendio en la IUF.
- Por otro lado, retomando lo mencionado de la severidad de incendios, a través de este trabajo se ha podido crear mapas que sirven de soporte visual para observar lo sucedido en las zonas de mayor severidad, así como también la situación general del incendio en cuanto a severidad del mismo. Además, se ha podido determinar cierto patrón de LUCC que se repite en las zonas de máxima severidad, siempre con el aumento del combustible forestal (la mayor parte de las veces, pinar) y la desaparición de las zonas de cultivo (algunas veces, con la sustitución por pinar, no sólo de los cultivos, también de las otras superficies forestales).

Como aportación y conclusión de lo extraído a nivel personal de este trabajo se percibe que existe una tendencia a nivel global de usar la metodología como el aprendizaje automático, sin analizar o valorar el paisaje o los usos del suelo. En el caso de continuar con esta tendencia, el tipo de metodología empleado en este trabajo, en el futuro, lo hará la inteligencia artificial (IA), ya que hay tareas que no necesitan tener un criterio humano detrás. Sin embargo, para la adaptabilidad del estudio al territorio, la obtención de resultados fehacientes y que se acerquen a las personas afectadas por los incendios se necesita la presencia y perceptibilidad humana. Es por ello, que no se debe entender la teledetección pasiva sin el análisis de los resultados y el trabajo de campo. Estos dos criterios permiten al estudiante o al investigador interactuar con el medio, lo cual crea una sensibilidad y empatía hacia el lugar, los municipios y la sociedad residente. Es indispensable el conocimiento empírico del lugar de estudio y el análisis diacrónico de la ocupación del territorio para poder interpretar de manera adecuada los resultados obtenidos de la teledetección y de cualquier otro procedimiento cuantitativo.

En el ámbito académico anglosajón, la metodología en torno al Sentinel 2 utiliza como unidad mínima para poder aplicar estas tecnologías un área de unas 200 ha o 500 acres, en este caso se ha trabajado con un área de incendio de 11.949 ha, por lo que en este trabajo se demuestra que existe la posibilidad de aplicar esta metodología a áreas más extensas. Además, este trabajo quiere mostrar que esta metodología se puede introducir en el ámbito del análisis de los Grandes Incendios Forestales.

Este trabajo junto con sus resultados son la consecuencia del interés por las TIG, los incendios forestales y todo aquello que pueda conectar estos dos conceptos. Asimismo, este Trabajo de Fin de Máster puede servir de antecedente para aplicar esta metodología en estudios de GIF, pero también como aprendizaje para las instituciones de las respuestas que pueden aportar a las partes afectadas y a la sociedad en general. El objetivo sería el de concienciar de la necesidad de revivir la actividad agrícola desde una perspectiva protectora para los seres humanos y el medio.

Aunque no formaba parte de los objetivos de este trabajo, la aplicación del dNBR sirve también para medir el grado de recuperación de la vegetación natural tras el incendio. Se han medido los resultados del dNBR después de más de un año y parece que en la zona afectada por el incendio de la Vall d'Ebo la cobertura vegetal no se está recuperando al ritmo e intensidad esperado, siendo noticias desalentadoras y de consecuencias negativas para el medio. Sin embargo, aplicar las geotecnologías para medir y analizar el grado de recuperación de una zona como ésta, tras un gran incendio, podría abrir el camino a más proyectos de investigación y futuras líneas de trabajo.

Bibliografía

Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferrero F., Parente, C. y Massimiliano, P. 2022. "Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): un nuevo índice para imágenes Sentinel-2" *Remote Sensing* 14, no. 7: 1727. Consultado en enero de 2024.
<https://doi.org/10.3390/rs14071727>
<https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=53>

Alloza J.A., Morcillo L., Santana V., Vallejo V.R. (2022). *Informe sobre el impacto del incendio forestal de la Vall d'Ebo 2022*. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo CEAM. Consultado en noviembre de 2023.

Bosch, R. M. (2019). Incendios forestales de sexta generación: Un nuevo tipo de incendio que ha llegado para quedarse. *Seguritecnia*, (466), 30-31. Consultado en diciembre de 2023.

Benito Saz, M.A., Caballero, M. E., Delgado Hernández, J., Fernández Villarino, X., Porcuna Fernández-Monasterio, A. & Valcárcel Sanz, N. (2012). Geoservicios web SIOSE: un sistema de información como servicio público. *VI Jornadas de SIG Libre*, 8.
<https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/4199>

Camia, A., & Amatulli, G. (2009). *Weather factors and fire danger in the Mediterranean*. En Springer eBooks (pp. 71-82). Consultado en enero de 2024.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4_6

Castellnou, M. (2018). *Los incendios de sexta generación son más difíciles de controlar y afectan a medio planeta*. La Vanguardia, la actualidad del medio ambiente, 17 de agosto de 2018. Consultado en diciembre de 2023.

Instituto Valenciano de Estadística. *Censo agrario 2009. Datos de Agricultura de la Marina Alta - Diputación de Alicante*. (s. f.). Consultado en enero de 2024. <http://documentacion.diputacionalicante.es/6agric.asp?codigo=00030>

Generalitat Valenciana. (s.f.). *Estadístiques agrícoles - Portal Agrari*. Consultado en enero de 2024. <https://portalagrari.gva.es/va/pye/estadistiques-agricoles>

Generalitat Valenciana (2023). *Estadística de incendios forestales de la Comunidad Valenciana*. Consultado en diciembre de 2023: <https://cjusticia.gva.es/es/web/prevencion-de-incendios/estadistica-de-incendios-forestales>

INSTITUT CARTOGRÀFIC VALENCIÀ (2023): *Mapa de climas valencians*. Colecció autonòmica. Consultado en diciembre de 2023. (https://descargas.icv.gva.es/sites/default/descargas/01_cartografia/02_Colecciones/CA350/CA350_Clima_2022_v3.pdf)

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2023): *Mapa de las regiones climáticas de España*. Consultado en diciembre de 2023. (https://www.ign.es/espmap/clima_bach.htm)

IGN (2018). *El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial*. 9. CORINE LAND COVER. Consultado en enero de 2024. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/9_Corine_Land_Cover.pdf

IGN (2020). *El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial*. 3. *El componente espacio Copernicus*. Consultado en enero de 2024. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf

Jávega, J. M. (1994). *La agricultura de L'Alcoià-Comtat en època Ibèrica: datos para su estudio*. Recerques del Museu d'Alcoi, 121-133. Consultado en enero de 2024.

Key, CH, Benson, N., Ohlen, D., Howard, S., McKinley, R. y Zhu, Z. (abril de 2002). La tasa de quema normalizada y las relaciones con la gravedad de la quema: ecología, teledetección e implementación. *En Actas de la Novena Conferencia sobre Aplicaciones de Teledetección del Servicio Forestal*, San Diego, CA, EE. UU. (págs. 8-12). Consultado en enero de 2024

Keeley, JE (2009). Intensidad del fuego, gravedad del fuego y gravedad de las quemaduras: una breve revisión y uso sugerido. *Revista internacional de incendios forestales*, 18 (1), 116–126. Consultado en enero de 2024 https://www.researchgate.net/publication/228638145_Fire_intensity_fire_severity_and_burn_severity_A_brief_review_and_suggested_usage

Llovería, R. M., Cabello, F. P., Martín, A. G., Vlassova, L., & de la Riva Fernández, J. R. (2014). La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz* (pp. 427-440). Consultado en enero de 2024.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). CORINE LAND COVER 1990-2000-2005 (2010). *Mapa de Ocupación del suelo* (CORINE). Consultado en enero de 2024. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/planes-y-estrategias/informacion-territorial/mapa-de-ocupacion-del-suelo-corine-/default2010-11-11_20.53.58.7639.aspx

Ocupación del suelo | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Consultado en enero de 2024. Extraído del Instituto Geográfico Nacional (s.f.) (<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Ocupacion-Suelo.pdf>) <https://www.mitma.gob.es/instituto-geografico-nacional/observacion-del-territorio/ocupacion-suelo>

ONU (s.f.) Plataforma de las Naciones Unidas de información obtenida desde el espacio para la gestión de desastres y la respuesta de emergencia - ONU-SPIDER: <https://un-spider.org/es/node/10959> Consultado en enero de 2024.

Protección Civil. Ministerio del Interior. Gobierno de España. Incendios forestales 2022. Consultado en noviembre de 2023. <https://www.proteccioncivil.es/documents/20121/0/Informe%20de%20Seguimiento%20de%20IIF%2020221009.pdf/b1434972-fe01-dd63-2e91-b920e31dde05>

Pineda de Carías, M. C., Flores, G., Castro, M., Jiménez, P., Reyes, G., & López, E. (2015). Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 469–492. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2093>

<https://www.camjol.info/index.php/CE/article/view/2093/1890> Consultado en enero de 2024.

Pontius Jr, RG, Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Department of International Development, Community and Environment*, 101 (2-3). School of Geography, Clark University., (pp. 251-268). Consultado en enero de 2024.

Torró Abad, J.; Grau Mira, I.; Soler Verdú, R.; Vives Miralles, M.; Soler Estrela, A.; Segura Martí, JM. (2016). Estudio del paisaje cultural y arquitectónico mediterráneo. Zona La Vall D'Alcalà-Vall D'Ebo-La Vall de Gallinera. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/67712> Consultado en enero de 2024.

VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Consultado en diciembre de 2023.

Ybarra, J. A. (1988). La dinàmica econòmica de la Marina Alta (implicacions territorials). *Aguaits*, 63-63. Consultado en enero de 2024.

ANEXO I: Recopilación de composiciones

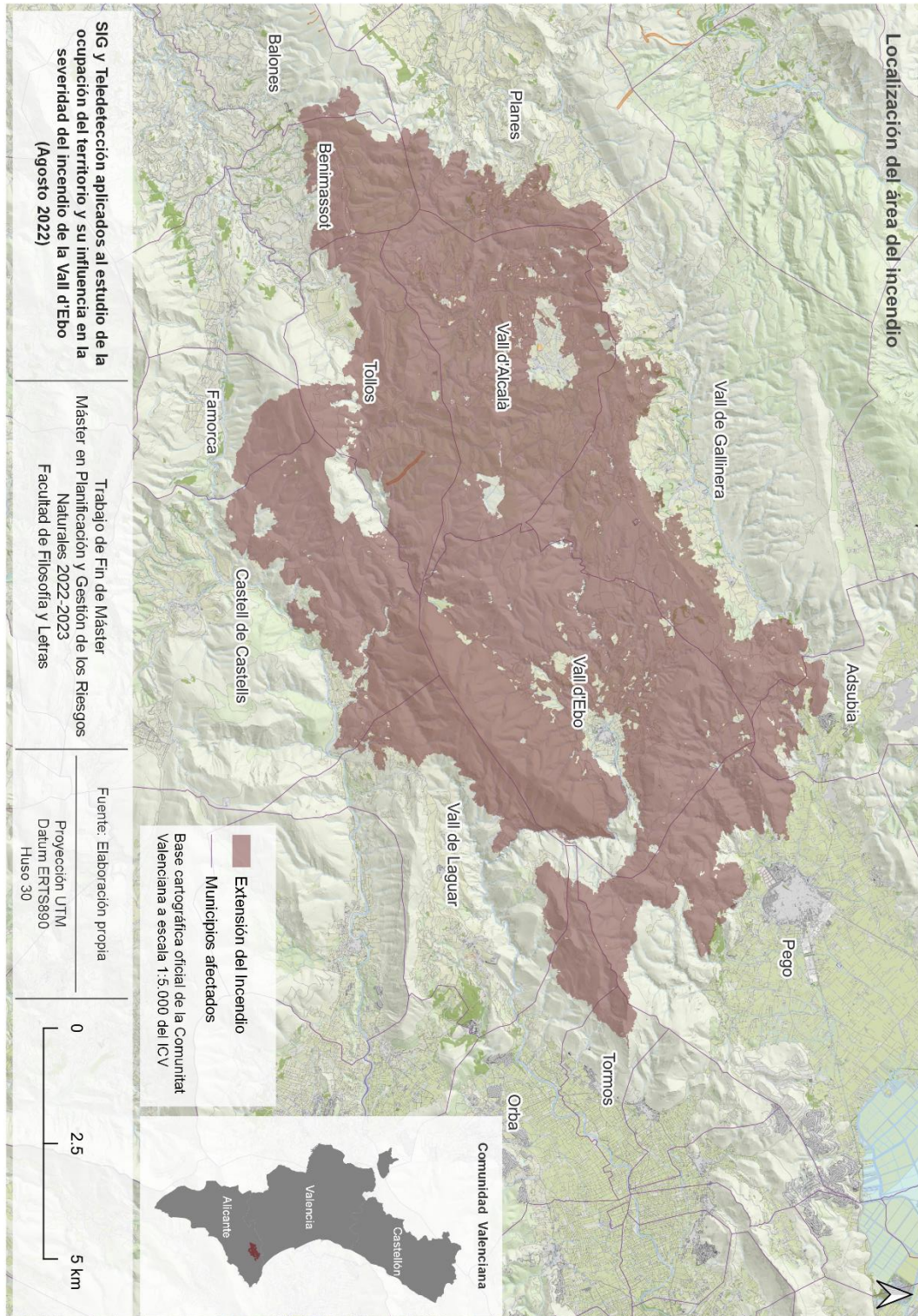


Figura 1: Mapa de localización del área de estudio. Elaboración propia.

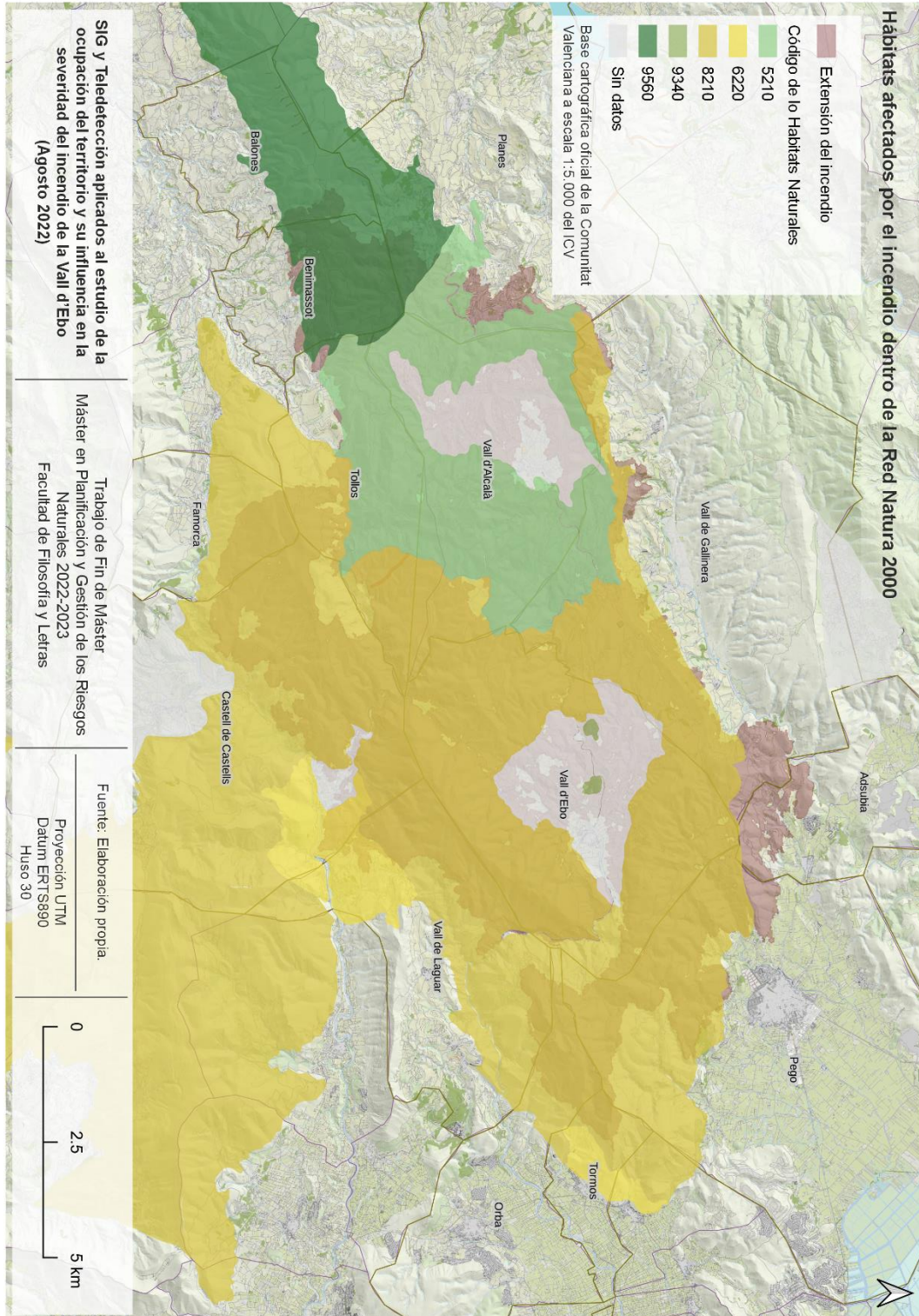


Figura 10: Mapa de los Hábitats Naturales de la Directiva Hábitat afectados por el incendio. Elaboración propia.

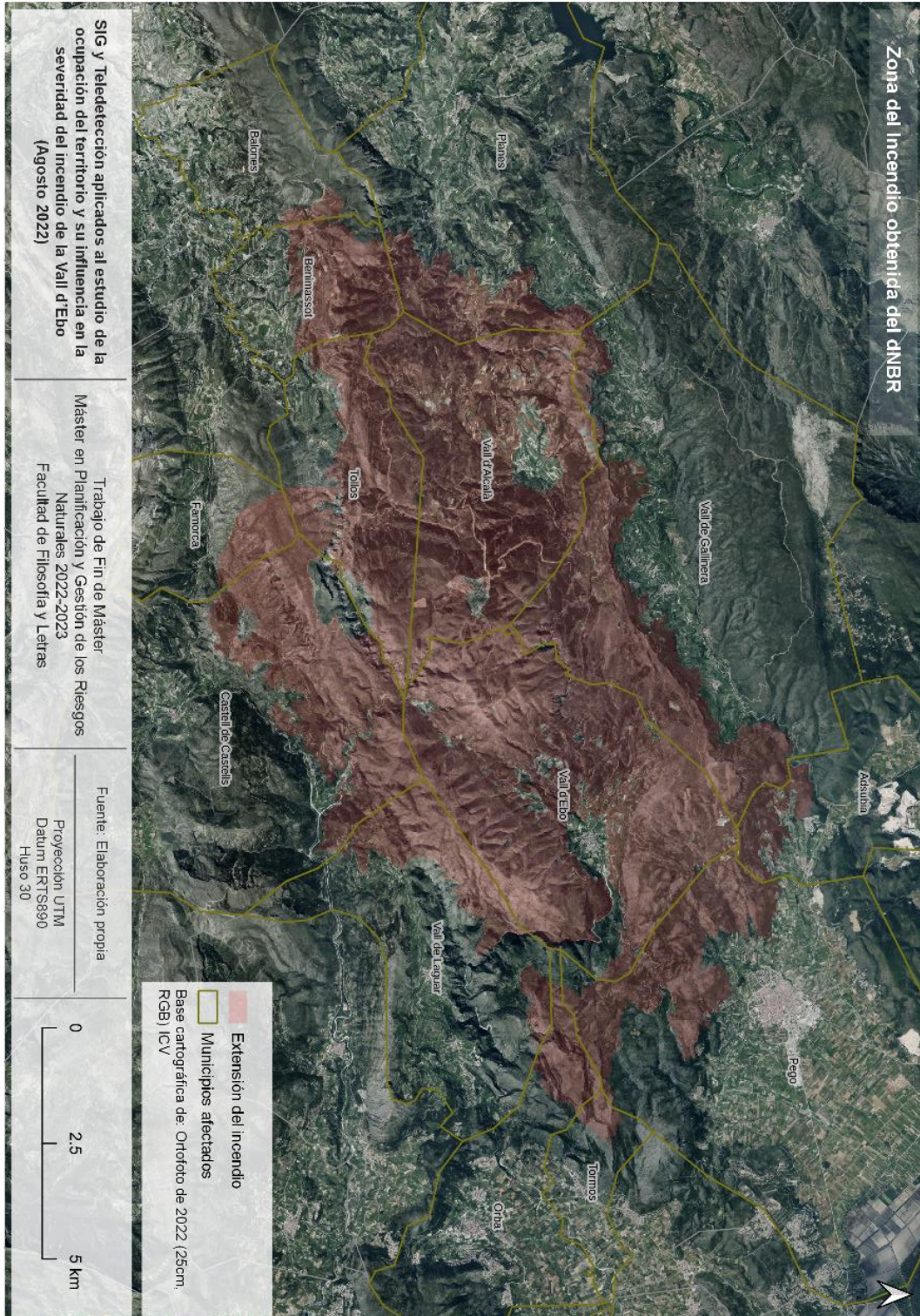


Figura 12: Mapa de la zona quemada. Elaboración propia.

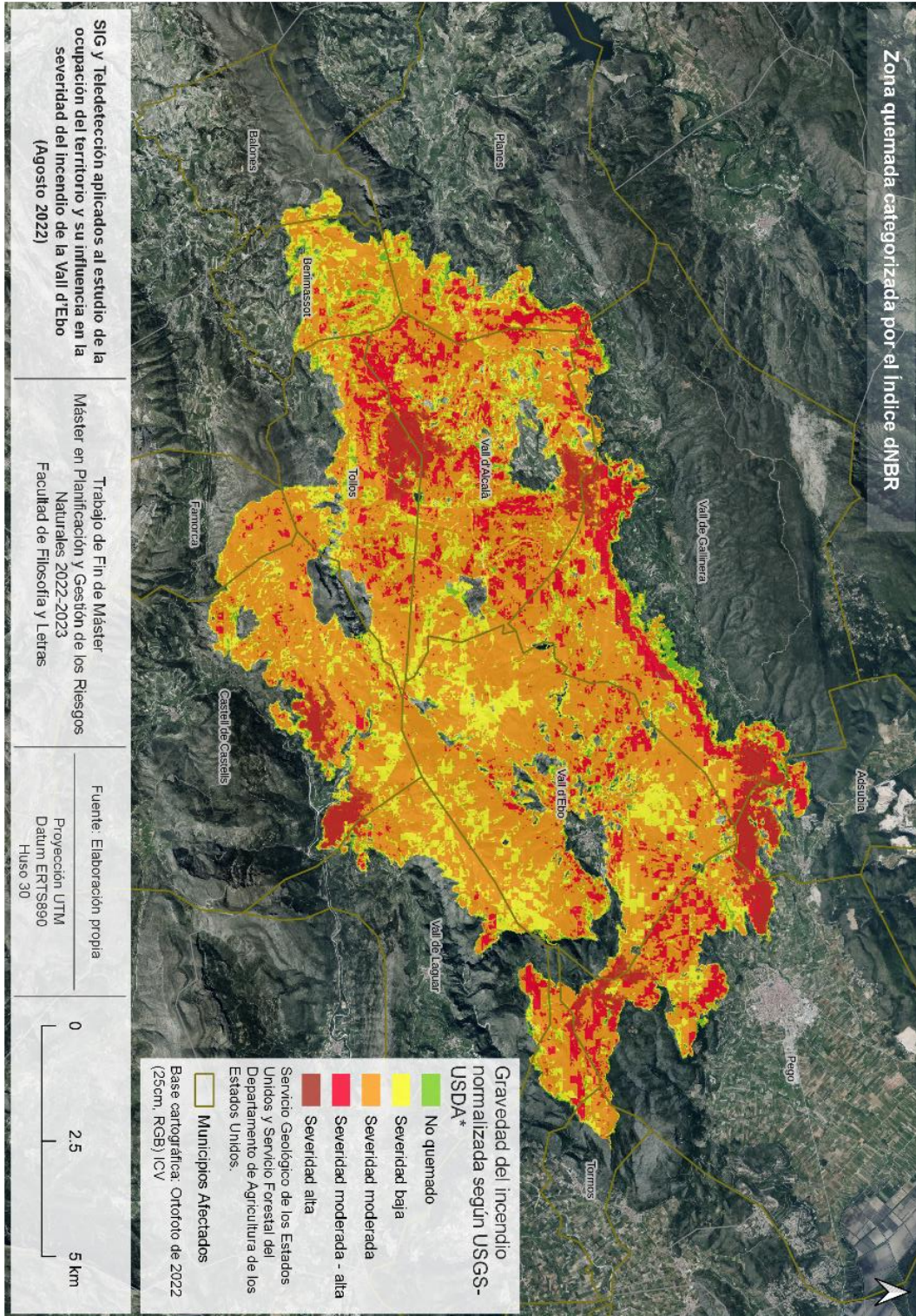


Figura 16: Mapa de la zona quemada categorizada por el índice dNBR. Elaboración propia.

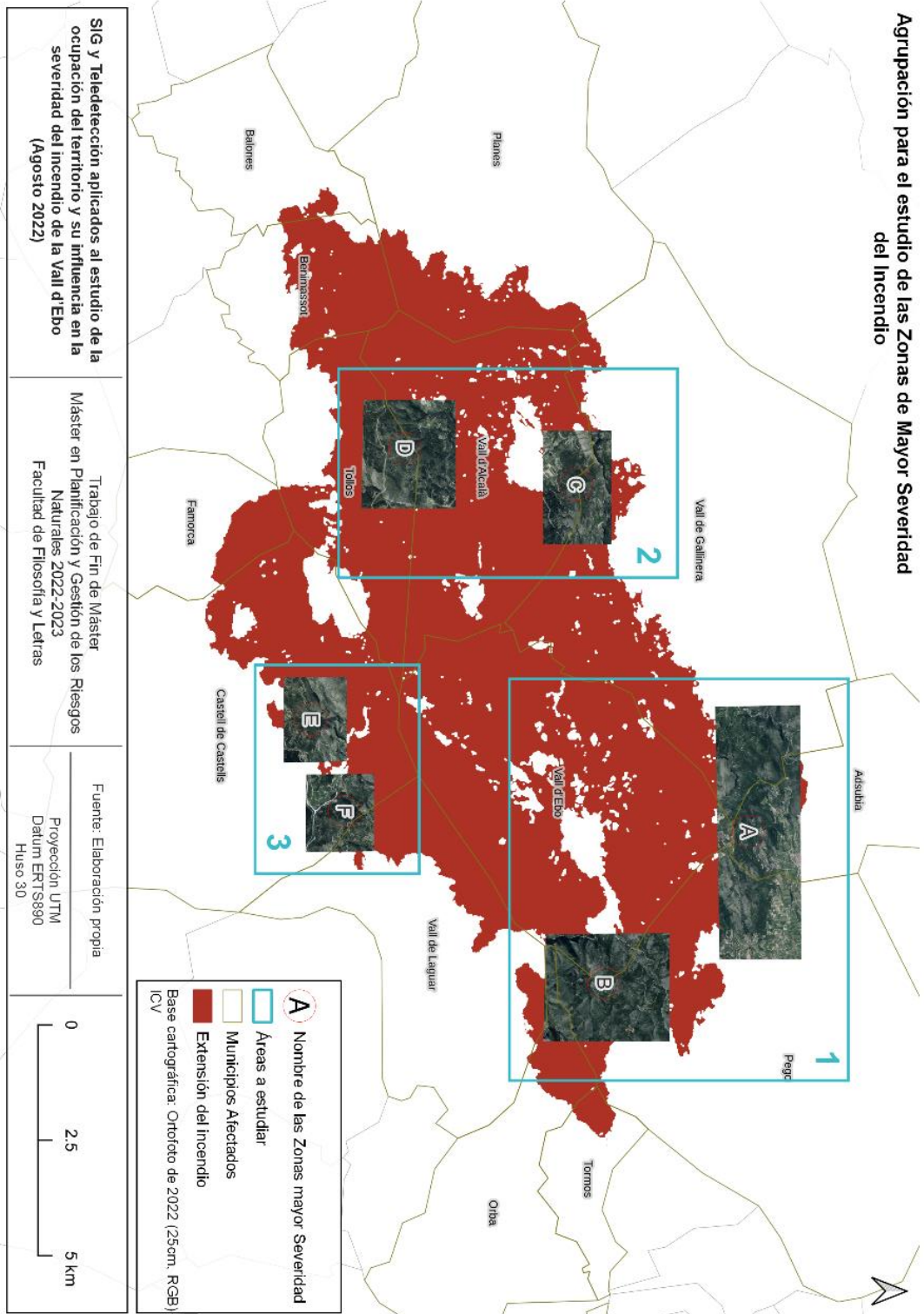


Figura 17: Mapa de ubicación y agrupación de las zonas de mayor severidad de incendio. Elaboración propia.

ANEXO II: Abreviaturas

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente

AOI: *Area of Interest*

CCAA: Comunidades autónomas

CCUS: Cambios de los usos del suelo

CLC o CORINE LC: CORINE Land Cover (*CoORdination of INformation on the Environment*)

COSCV: Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana

dNBR: *differenced Normalized Burn Ratio*

EEA: Agencia Europea de Medioambiente

EIONET: Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente

ESA: Agencia Espacial Europea

ETRS89: *European Terrestrial Reference System 1989*

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GIF: Grandes Incendios Forestales

GVA: Generalitat Valenciana

LiDAR: *Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*

LUCC: *Land Use and Cover Changes* (evolución de los usos y coberturas del suelo)

MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

NBR: *Normalized Burn Ratio*

NIR: *Near Infrared Reflectance*

IDEV: Infraestructura de Datos Espaciales Valenciana

ICV: Instituto Cartográfico Valenciano

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INSPIRE: *Infrastructure for Spatial Information in Europe*

IUF: Interfaz Urbana-Forestal

PATFOR: Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana

PNOA: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea

PNOT: Plan Nacional de Observación del Territorio

PLPIF: Plan Local de Prevención de Incendios Forestales

RD: Real Decreto

RGB: *Red, Green, Blue*

RGBI: *Red, Green, Blue, Intensity*

SIOSE: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España

SIOSE AR: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España de
Alta Resolución

SIG: Sistemas de información Geográfica

SWIR: *Short Wave Infrared*

TIG: Tecnologías de la Información Geográfica

TIFF: *Tag Image File Format*

UME: Unidad Militar de Emergencias

UNFCCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*

UTM: Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator