



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Análisis de riesgo de incendios en la albufera de Valencia:
Evaluación de índices y simulación de escenarios.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Tomás Ferrer, Víctor

Tutor/a: Coll Aliaga, Peregrina Eloína

Cotutor/a: Porres de la Haza, María Joaquina

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Análisis de riesgo de incendios en la albufera de Valencia: Evaluación de índices y simulación de escenarios.

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Víctor Tomás Ferrer.

Tutora: Eloína Coll Aliaga.

Cotutora: Maru Porres de las Hazas

Director Experimental: Edgar Lorenzo Sáez

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica.**

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía.

Curso académico 2023-2024



Compromiso:

” El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía.”

Valencia, 17/05/2024

Víctor Tomás Ferrer

Agradecimientos:

Quisiera comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos, cuyo respaldo y aliento han sido fundamentales en cada etapa de mi formación académica; su apoyo incondicional ha sido fundamental en mi camino hacia la elaboración de este proyecto.

Quiero agradecer especialmente a la profesora Eloína Coll, por su valiosa contribución y orientación en la elaboración de este proyecto. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para su finalización.

También deseo expresar mi reconocimiento a mis compañeros de la Càtedra de Governança de la Ciutat de València por su colaboración y motivación durante este proceso ya que sus aportaciones e ideas me han guiado en la resolución de la problemática planteada.

Finalmente, quiero reconocer el apoyo brindado por todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo. Sus consejos, comentarios y ánimos fueron de gran valor.

Título: Análisis de riesgo de incendios en la Albufera de Valencia: Evaluación de índices y simulación de escenarios.

Resumen: Ante la creciente preocupación por las prolongadas temporadas de sequía y el aumento de las temperaturas en gran parte del mundo, la Albufera de Valencia es uno de los lugares afectados. Este trabajo utiliza técnicas de teledetección y análisis de imágenes satelitales para evaluar el creciente riesgo de incendios forestales en la zona, agravado por los veranos muy calurosos.

El estudio se centra en identificar áreas especialmente vulnerables a incendios, con el objetivo de preservar la biodiversidad de fauna y flora en este espacio protegido.

Usando índices obtenidos a partir de la teledetección, se detectan niveles de humedad y zonas secas. Además, se utilizan índices extraídos de programas de prevención de incendios y se consultan a profesionales del sector para integrar estos datos en un SIG y así identificar puntos críticos. Luego, se usa el software FlamMap para realizar simulaciones de incendios y definir estrategias de actuación.

Se espera que los resultados proporcionen datos valiosos para la mitigación de riesgos de incendios, destacando la importancia de la teledetección como herramienta esencial para la planificación ambiental y la adaptación al cambio climático. Este enfoque se puede aplicar a gran escala.

Palabras clave: Teledetección, Albufera de Valencia, Análisis de riesgo de incendios, Índices de incendio, Imágenes satelitales, Gestión ambiental.

Summary: Amid growing concerns about prolonged drought seasons and rising temperatures in many parts of the world, the Albufera of Valencia is one of the affected areas. This study uses remote sensing techniques and satellite image analysis to assess the increasing risk of forest fires in the area, exacerbated by very hot summers.

The study focuses on identifying areas particularly vulnerable to fires, with the aim of preserving the biodiversity of fauna and flora in this protected space. Using indices obtained from remote sensing, moisture levels and dry areas are detected. Additionally, indices from fire prevention programs are used, and professionals in the field are consulted to integrate this data into a GIS, identifying critical points. Then, FlamMap software is used to perform fire simulations and define action strategies.

The results are expected to provide valuable data for mitigating fire risks, highlighting the importance of remote sensing as an essential tool for environmental planning and adaptation to climate change. This approach can be applied on a larger scale.

Key words: Remote Sensing, Albufera of Valencia, Fire Risk Analysis, Fire Indices, Satellite Images, Environmental Management.

Alumno: Víctor Tomás Ferrer.

Fecha: 06/2024

Tutora: Eloína Coll Aliaga.

Cotutora: María Joaquina Porres de las Hazas

Director Experimental: Edgar Lorenzo Sáez.

ÍNDICE:

1. Introducción.....	9
1.1 Antecedentes.	9
1.2 Estado del Arte.	11
1.3 Justificación	14
1.3.1 Objetivos de desarrollo sostenible.....	14
1.4 Localización.	16
2. Objetivos.	17
2.1 Objetivo general.	17
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. Materiales y Métodos.	18
3.1 Objetivo Específico 1. (Peligro de propagación).....	22
3.1.1 Análisis de meteorología y vegetación.	23
3.1.2 Análisis de topografía.....	37
3.1.3 Implementación del factor de extinción a las causas estructurales.	38
3.1.4 Peligro de propagación.	42
3.2 Objetivo Específico 2. (Peligro de ignición).	44
3.2.1 Causas de activación.	45
3.3 Objetivo Específico 3. (Peligro de incendio).	48
3.4 Objetivo Específico 4. (Medidas para la prevención).	49
4. Simulación de incendio en la zona de estudio.	49
5. Resultados y discusión.	52
5.1 Resultados peligro de propagación.....	52
5.2 Resultados peligro de ignición.....	54
5.3 Resultado peligro de incendios.....	55
5.4 Resultado de la simulación.	56
6. Conclusiones.	58
7. Presupuesto y gestión del tiempo.	59
8. Mapas y anejos.	62
9. Códigos empleados.	74
10. Bibliografía.	77

Mapas y anejos:

Mapa 1: Ubicación y delimitación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	62
Mapa 2: Ubicación de la zona de estudio en España. Fuente: Elaboración propia.	63
Mapa 3: NDMI verano 2023. Fuente: Elaboración propia.	64
Mapa 4: NDMI invierno 2024. Fuente: Elaboración propia.	65
Mapa 5: Precipitaciones medias verano de 2023. Fuente: Elaboración propia.	66
Mapa 6: Temperaturas máximas en verano de 2023. Fuente: Elaboración propia.	67
Mapa 7: Vientos. Fuente: Elaboración propia.	68
Mapa 8: Peligro de propagación con área de actuación de bomberos. Fuente: Elaboración propia.	69
Mapa 9: Peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.	70
Mapa 10: riesgo de ignición. Fuente: Elaboración propia.	71
Mapa 11: Peligro de incendio con área de actuación de bomberos. Fuente: Elaboración propia.	72
Mapa 12: peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.	73

Tablas:

Tabla 1: Hectáreas quemadas. Fuente: Elaboración propia.	13
Tabla 2: Tendencia lineal de las hectáreas quemadas. Fuente: Elaboración propia. Datos: Ministerio transición ecológica.	13
Tabla 3: Interpretación NDMI. Fuente: Elaboración propia. Datos: Eos Data Analytics ...	31
Tabla 4: Método de obtención de peligro de propagación. (Muy alto). Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 5: Método de obtención de peligro de propagación. (Alto). Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 6: Método de obtención de peligro de propagación. (Medio). Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 7: Método de obtención de peligro de propagación. (Bajo). Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 8: Método de obtención de peligro de propagación. (Muy bajo). Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 9: Salarios según Convenio. Fuente: BOE (2024).	60

Ilustraciones:

Ilustración 1: Incremento de temperaturas. Fuente: Copernicus	10
Ilustración 2: Índice FWI para 2021. Fuente: Copernicus.....	11
Ilustración 3: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas.	15
Ilustración 4: Ubicación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	17
Ilustración 5: Metodología a emplear. Fuente: Elaboración propia.	19
Ilustración 6: GIS empleado. Fuente: QGIS.....	20
Ilustración 7: Programa para realizar la simulación. Fuente: FlamMap.....	21
Ilustración 8: Lugares de obtención de datos. Fuente: IGN, Ayuntamiento de Valencia e IDEV.....	21
Ilustración 9: Programa para la obtención de imágenes. Fuente: Google Earth Engine.	22
Ilustración 10: Visualization de la zona. Fuente: Elaboración propia.	23
Ilustración 11: Mapa de vientos. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 12: Mapa de precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 13: Mapa de temperaturas. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 14: Resultado de la transformación. Fuente: Elaboración propia.....	25
Ilustración 15: Transformación de formato. Fuente: Elaboración propia.	25
Ilustración 16: Recorte para la zona. Fuente: Elaboración propia.....	25
Ilustración 17: Precipitaciones en vectorial. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 18: Temperaturas en vectorial. Fuente: Elaboración propia.....	26
Ilustración 19: Utilización de herramientas vectoriales. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 20: Polígonos de Voronoi a partir de los vientos máximos. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 21: Código empleado para descargar imágenes. Fuente: Elaboración propia. ...	27
Ilustración 22: Longitudes de onda en teledección. Fuente: UniGis.....	29
Ilustración 23: NDMI verano. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 24: NDMI invierno. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 25: Histograma imagen invierno. Fuente: Elaboración propia.....	30
Ilustración 26: Histograma imagen verano. Fuente: Elaboración propia.	30
Ilustración 27: Reclasificación NDMI verano. Fuente: Elaboración propia.	31
Ilustración 28: Resultado de reclasificación. Fuente: Elaboración propia.	31
Ilustración 29: Mapa de combustibles de la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia.	32
Ilustración 30: Recorte del modelo de combustible: Fuente: Elaboración propia.....	32
Ilustración 31: Selección espacial de los elementos de estudio. Fuente: Elaboración propia	34
Ilustración 32: Visualización de modelo de combustible. Fuente: Elaboración propia.	34
Ilustración 33: Modelo de combustible GR. Fuente: Generalitat Valenciana.	34
Ilustración 34: Modelo de combustible SH. Fuente: Generalitat Valenciana.	35
Ilustración 35: Modelo de combustible SB. Fuente: Generalitat Valenciana.....	35
Ilustración 36: Riesgo de inflamabilidad. Fuente: PATFOR.	36
Ilustración 37: Índice de riesgo de inflamabilidad. Fuente: PATFOR.	36
Ilustración 38: Arbolado según FME. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 39: Modelo digital de elevaciones. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 40: Pendientes en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	38
Ilustración 41: Ubicación de cortafuegos. Fuente: Elaboración propia.....	39
Ilustración 42: Puntos de agua en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	40

Ilustración 43: Código empleado para descargar la ubicación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 44: Ubicación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia.....	41
Ilustración 45: Buffer de puntos de agua. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 46: Área de actuación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia	42
Ilustración 47: Mapa conceptual para el peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 48: Mapa conceptual del peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.	45
Ilustración 49: Vías de comunicación y buffer de 100 m. Fuente: Elaboración propia.	46
Ilustración 50: Tendido eléctrico y subestaciones eléctricas, buffer de 200 m. Fuente: Elaboración propia.....	46
Ilustración 51: Puntos de quema de rastrojos y obtención de dichos puntos. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 52: Puntos aleatorios para rayos y quema de rastrojos. Fuente: Elaboración propia.	47
Ilustración 53: Buffer de 200 m de las estaciones fotovoltaicas. Fuente: Elaboración propia	48
Ilustración 54: Tabla de atributos final. Fuente: Elaboración propia.	49
Ilustración 55: Creación del archivo LCP.	50
Ilustración 56: Conversión de formatos. Fuente: Elaboración propia.	50
Ilustración 57: Creación de una nueva RUN. Fuente: Elaboración propia.	51
Ilustración 58: Visualización del área a simular. Fuente: Elaboración propia.	51
Ilustración 59: Mapa de peligro de propagación con y sin buffer. Fuente: Elaboración propia.	53
Ilustración 60: Riesgo de ignición. Fuente: Elaboración propia.	55
Ilustración 61: Peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.	56
Ilustración 62: Actuación de bomberos con peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.	56
Ilustración 63: Zona a realizar la simulación. Fuente: Elaboración propia.	57
Ilustración 64: Visualización de los factores del peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.	57

1. Introducción.

El presente proyecto o trabajo de fin de grado se desarrolla en el marco de la Càtedra de Governança de la Ciutat de València (Dades València) de la Universitat Politècnica de València (UPV), la cual recibe financiación de la concejalía de Transparencia y Gobierno Abierto. Además, este proyecto forma parte de un Acuerdo de Colaboración suscrito entre el Joint Research Center (JRC) de la Comisión Europea, el Ayuntamiento de València y la Universitat Politècnica de València (UPV) en el marco del programa Community of Practices on Cities (COP on Cities).

Todos los resultados, datos obtenidos y análisis realizados quedan a total disposición, ya que dicha realización no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de todas las partes involucradas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DADES VALÈNCIA
Càtedra Governança
de la ciutat de València

1.1 Antecedentes.

El cambio climático es una de las amenazas más significativas para el medio ambiente en la actualidad, afectando tanto a los ecosistemas naturales como a las sociedades humanas. Entre sus efectos más evidentes se encuentra el aumento de las temperaturas globales y la alteración de los patrones de precipitación. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado y estudiado, llevando a la formulación de acuerdos internacionales como el Acuerdo de París de 2015.

(Unidas, s.f.)

“El Acuerdo de París del año 2015 estableció como objetivo que el calentamiento global producido por la acción humana no debía superar los 2 °C respecto de lo registrado entre los años 1850 y 1990, aunque lo deseable es no alcanzar los 1,5 °C. Las proyecciones, sin embargo, no son nada halagüeñas: en 2017 ya se superó el 1 °C y de mantener el ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero se superaría el listón del 1,5 °C en torno al año 2040.”

Además de las temperaturas más cálidas, la disminución notable de las precipitaciones durante las épocas que tradicionalmente deberían ser más lluviosas, como los meses de octubre a abril, en los cuales la región de Valencia ha experimentado una disminución del 20% en las últimas dos décadas. Este déficit hídrico contribuye a la sequedad del suelo y a la mayor susceptibilidad de los bosques a incendios. Durante los veranos, la Comunidad Valenciana enfrenta temperaturas extremadamente altas y condiciones de sequedad que facilitan la propagación del fuego, con un promedio de 300 hectáreas quemadas cada verano según (CSIG, 2022).

Incremento de la temperatura global

Aumento estimado de la temperatura en superficie a escala mundial por encima de los niveles de 1850 a 1900

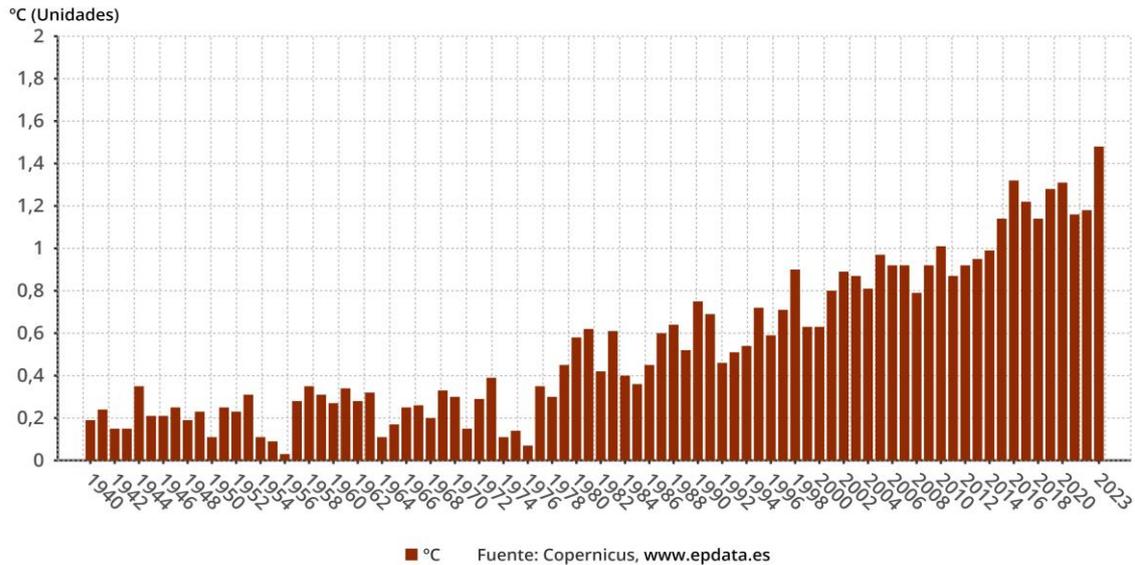


Ilustración 1: Incremento de temperaturas. Fuente: Copernicus

La Albufera de Valencia, un humedal de gran valor ecológico situado en la costa este de España, no es inmune a estos cambios climáticos. Este espacio protegido, que alberga una rica diversidad de especies de flora y fauna, ha experimentado un aumento significativo en el riesgo de incendio además de que las disminuciones en las precipitaciones tienen varios efectos negativos. La menor cantidad de lluvia reduce la recarga de los acuíferos y el flujo de agua hacia la Albufera, disminuyendo los niveles de agua en el humedal. Esto puede afectar negativamente a las especies de flora y fauna que dependen de un ambiente acuático estable, disminuyendo la biodiversidad y alterando los ecosistemas locales.

El déficit hídrico también tiene un impacto directo en la vegetación circundante, secando el suelo y las plantas, lo que aumenta su inflamabilidad. Este estado de sequedad extrema hace que las áreas alrededor de la Albufera sean más susceptibles a incendios forestales, especialmente durante los meses de verano, cuando las temperaturas son más altas. La combinación de temperaturas elevadas y vegetación seca crea condiciones propicias para la ignición y rápida propagación de incendios.

Y por último hay que destacar, que el riesgo de incendios forestales está aumentando en todo el mundo debido al calentamiento global. Esta investigación subraya que los paisajes más secos y calurosos son más susceptibles a grandes incendios, también conocidos como mega incendios según comentaba (Rodríguez, s.f.). En la cuenca mediterránea, el número de días con riesgo extremo de incendios se ha duplicado en los últimos 40 años y aunque las condiciones climáticas que promueven los incendios han aumentado, la intervención humana, como las políticas de supresión de incendios y la expansión de tierras agrícolas, ha mitigado en algunos casos la superficie quemada. Sin embargo, estas intervenciones pueden resultar en una acumulación de vegetación que aumente el riesgo a largo plazo.

1.2 Estado del Arte.

Este proyecto se basa en una serie de estudios y proyectos relacionados con el riesgo de incendios, incluyendo citas o explicaciones de documentos e informes que ofrecen ideas para la creación de índices y proporcionan información detallada sobre la actuación contra los incendios.

Uno de los métodos más destacados es el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FWI), elaborado por la Organización Meteorológica Mundial. Este índice utiliza datos climáticos, como temperatura, humedad y velocidad del viento, para estimar el riesgo de incendios forestales; más concretamente combinando linealmente dos indicadores, uno siendo el indicador de propagación de incendio y otro un indicador de combustible como bien se puede ver en (AEMET, s.f.). Una aplicación práctica de este índice se encuentra en informes como el de la Oficina de Incendios Forestales, donde se ha utilizado con éxito en áreas similares a la Albufera de Valencia para evaluar el riesgo de incendios. Sin embargo, su utilidad va más allá de la simple evaluación del riesgo inmediato.

La Ilustración 1 muestra el índice FWI para 2021 y se pretende utilizar los mismos valores para nuestra zona de estudio.

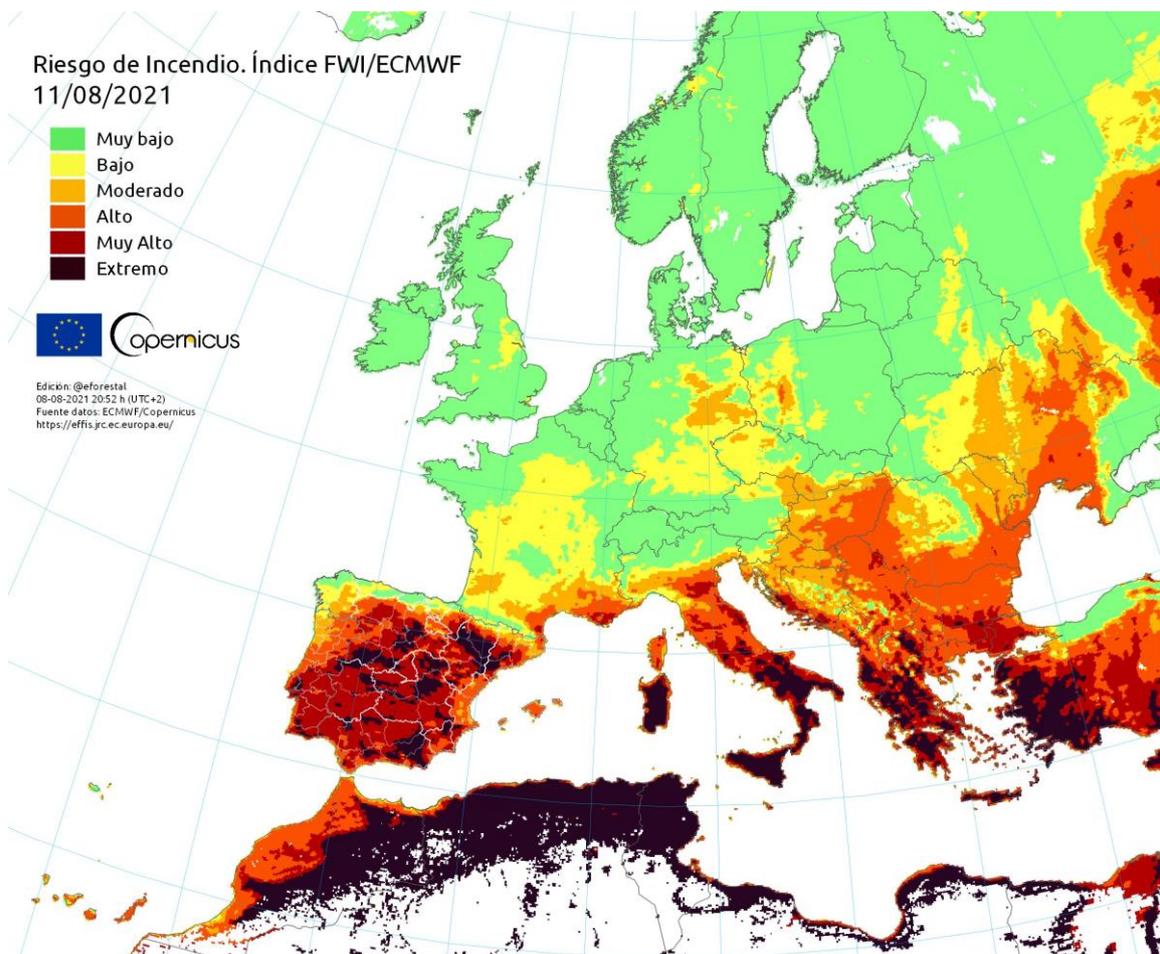


Ilustración 2: Índice FWI para 2021. Fuente: Copérnico.

Por lo que se buscará algo parecido a la imagen anterior pero destinado a la zona local del estudio.

Para la prevención a largo plazo, también se puede observar el informe de la Oficina C de Incendios Forestales ya que al utilizar el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FWI), se logra una comprensión más profunda de los patrones de riesgo de incendios, lo que a su vez contribuye al desarrollo de políticas y prácticas de gestión forestal también visto en (Institute, s.f.).

La identificación de áreas de alto riesgo facilita la implementación de medidas preventivas, como la creación de cortafuegos, la gestión adecuada de combustibles y la planificación del uso del suelo. Estas acciones están específicamente diseñadas para reducir la probabilidad de futuros incendios forestales y minimizar su impacto negativo en los ecosistemas y las comunidades locales como bien se ve en (Institute, s.f.).

El proyecto se fundamenta en los Modelos de Dinámica de Fuego (FDM), influenciados por las investigaciones y el enfoque del Ingeniero Néstor Adolfo BOTTA. Estos modelos son esenciales para simular la propagación del fuego, considerando factores como el tipo de combustible, las condiciones climáticas y las características del terreno visto también en (C, s.f.). Gracias a esta metodología, se puede analizar y evaluar estrategias de gestión forestal, especialmente en áreas mediterráneas. Esto proporciona una visión detallada de los posibles escenarios de incendios y las medidas más efectivas para prevenir y controlar este tipo de desastres.

Además, el proyecto se apoya en tecnologías de teledetección, incluyendo el uso de imágenes proporcionadas por el satélite Sentinel-2. Basándose en el estudio de la (NASA, s.f.), así como en las investigaciones de Zach Bengtsson, Juan Torres-Pérez y Amber McCullum.

Estas herramientas permiten no sólo monitorear las áreas quemadas después de un incendio, sino también identificar áreas propensas a estos y evaluar la salud y vitalidad de la vegetación. Es importante destacar que esta evaluación se puede llevar a cabo de manera más efectiva utilizando la banda del infrarrojo proporcionada por Sentinel-2. Esta banda específica permite una mejor percepción de la salud de la vegetación.

Estos estudios han demostrado la eficacia de estas tecnologías en la gestión del riesgo de incendios forestales.

Es crucial considerar los datos recientes sobre incendios forestales a nivel mundial.

Estos datos confirman un aumento significativo en la magnitud de los incendios y la consiguiente pérdida de cobertura arbórea. Según un estudio reciente de la Universidad (Maryland, s.f.), entre 2001 y 2022, los incendios forestales han expandido su área de impacto, cubriendo aproximadamente 3 millones de hectáreas más de cobertura arbórea anualmente en comparación con hace dos décadas. Este incremento se atribuye principalmente al cambio climático y afecta a diversas regiones, desde los bosques boreales hasta los trópicos, incluyendo el área mediterránea donde se encuentra la Albufera de Valencia.

Año	Periodo	ha
2014	Año	25.314,31
2015	Año	13.257,77
2016	Año	3.088,84
2017	Año	43.662,63
2018	Año	7.750,22
2019	Año	36.563,01
2020	Año	15.766,42
2021	Año	22.584,48
2022	Año	15.071,46
2023	Año	36.046,47
2024	Año	16.291,50

Tabla 1: Hectáreas quemadas. Fuente: Elaboración propia.

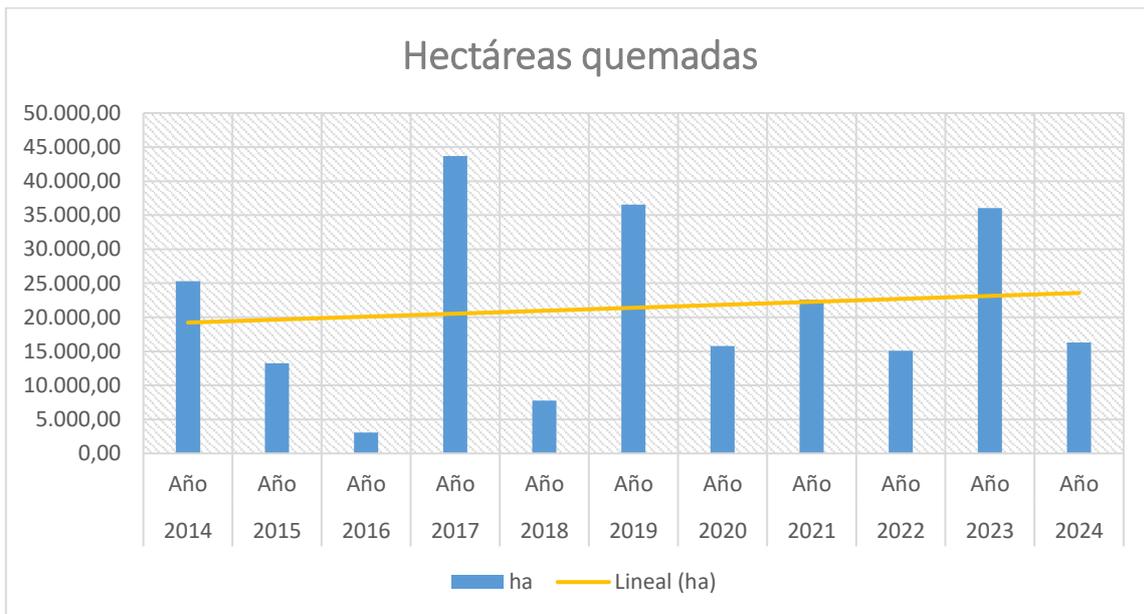


Tabla 2: Tendencia lineal de las hectáreas quemadas. Fuente: Elaboración propia. Datos: Ministerio transición ecológica.

1.3 Justificación

Este contexto global y regional justifica la necesidad de realizar un análisis detallado y específico del riesgo de incendios en áreas vulnerables como la Albufera de Valencia.

El presente trabajo de fin de grado propone utilizar técnicas avanzadas de teledetección y análisis de imágenes satelitales para evaluar el riesgo de incendios forestales en esta zona. Este enfoque permitirá identificar áreas especialmente vulnerables a incendios, utilizando índices derivados de la teledetección para detectar niveles de humedad del suelo y zonas secas. Además, se emplearán datos de programas de prevención de incendios y se consultará a profesionales del sector para integrar esta información en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Esto facilitará la identificación de puntos críticos o las zonas más vulnerables de la zona de estudio.

Una vez identificadas las áreas de mayor riesgo, se utilizará el software FlamMap para realizar simulaciones de incendios, lo que permitirá definir estrategias de actuación y planes de mitigación efectivos. Estos resultados serán cruciales para proporcionar datos valiosos que apoyen la gestión de riesgos de incendios y subrayen la importancia de la teledetección como herramienta esencial para la planificación ambiental y la adaptación al cambio climático.

Además, este enfoque podrá extrapolarse a otras regiones que enfrenten desafíos similares, contribuyendo a una gestión más eficaz y sostenible de los recursos naturales a nivel global.

1.3.1 Objetivos de desarrollo sostenible.

La justificación del TFG dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se muestran en la Ilustración 2, implica demostrar cómo el proyecto contribuye a abordar los desafíos y metas planteadas por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Esto implica resaltar cómo el trabajo propuesto tiene el potencial de promover la sostenibilidad ambiental, social y económica, así como mejorar la calidad de vida y el bienestar de las personas. Alineándose con los ODS pertinentes, el TFG puede ayudar a resolver problemas locales y globales.

En última instancia, la justificación del TFG en el contexto de los ODS subraya su relevancia y significado más allá del ámbito académico, mostrando su impacto positivo en la sociedad y en el cuidado y preservación del medio ambiente.



Ilustración 3: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas.

El análisis de riesgo de incendios forestales se vincula directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

A continuación, se describe cómo este análisis contribuye a cada uno de los objetivos relevantes:

ODS 3: Salud y Bienestar:

El análisis de riesgo de incendios forestales es crucial para proteger la salud y el bienestar de las personas. Los incendios pueden causar graves problemas respiratorios debido a la contaminación del aire y obligar a evacuaciones que afectan la salud mental y física de las comunidades. Evaluar estos riesgos permite implementar medidas preventivas y de respuesta que protegen la salud pública y aseguran la seguridad de las personas.

ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento:

Aunque de manera menos directa, los incendios forestales pueden impactar las fuentes de agua limpia. La erosión del suelo y la contaminación de cuerpos de agua con cenizas y escombros pueden comprometer la calidad del agua. Un análisis detallado del riesgo de incendios ayuda a tomar medidas para proteger estas fuentes, asegurando la disponibilidad de agua limpia y segura para las comunidades.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles:

Las comunidades situadas cerca de zonas forestales se benefician significativamente de un análisis de riesgo de incendios. Este análisis ayuda a proteger a las poblaciones, infraestructuras y propiedades, fomentando ciudades y comunidades más seguras y resilientes frente a los desastres naturales.

Planificar y ejecutar acciones basadas en estos análisis es fundamental para la sostenibilidad y seguridad de las comunidades urbanas y rurales.

ODS 13: Acción por el Clima:

El análisis de riesgo de incendios forestales está estrechamente relacionado con la acción climática. Los incendios se ven exacerbados por condiciones climáticas extremas como olas de calor y sequías prolongadas, que son cada vez más frecuentes debido al cambio climático.

Identificar áreas vulnerables y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación es clave para reducir el riesgo y la severidad de los incendios, contribuyendo así a la resiliencia frente al cambio climático.

ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres:

Finalmente, los incendios forestales tienen un impacto significativo en los ecosistemas terrestres. Afectan la biodiversidad, degradan suelos y destruyen hábitats naturales.

Realizar un análisis de riesgo de incendios es fundamental para la conservación y restauración de los ecosistemas, permitiendo la implementación de medidas preventivas y de respuesta efectiva que protejan la flora y fauna, así como los recursos forestales.

1.4 Localización.

El presente trabajo se enfoca en la Albufera de Valencia, una reserva natural de gran importancia ambiental ubicada en la Comunidad Valenciana, España.

La Albufera, está situada a pocos kilómetros al sur de la ciudad de Valencia (Ilustración 4), abarca una extensión de aproximadamente 21.120 hectáreas y constituye uno de los humedales más relevantes de la región mediterránea.

Este ecosistema se distingue por su rica biodiversidad, al albergar una amplia variedad de especies de fauna y flora autóctonas. Además, su proximidad al mar Mediterráneo y su configuración geográfica única contribuyen a su importancia ecológica como hábitat de aves migratorias y especies acuáticas (L'ALBUFERA, s.f.).

La Albufera de Valencia está protegida por varios planes y programas, como el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), el cual servirá de límite para el estudio, tal y como se puede ver en la ilustración 3, y la Red Natura 2000. Estos planes aseguran su conservación y uso sostenible, coordinando acciones para preservar su rica biodiversidad y valores ambientales.

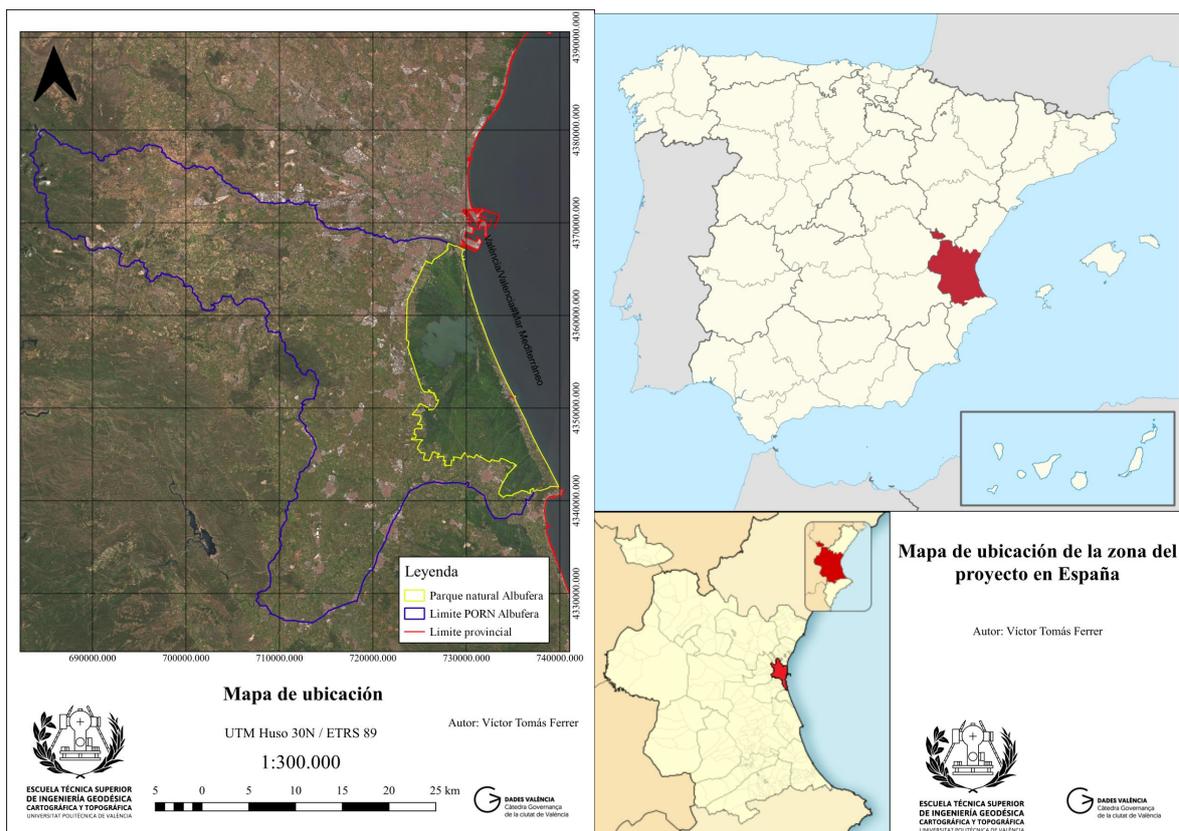


Ilustración 4: Ubicación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo general.

El proyecto se basará en conseguir identificar las áreas más vulnerables de la región para prevenir incendios forestales; por lo que los objetivos generales se centran en lo siguiente:

- **OG1: Determinación de zonas de mayor riesgo de incendio.** Este objetivo se centra en identificar las áreas que presentan un mayor riesgo de incendio, analizando el peligro de propagación. Esto permitirá implementar medidas preventivas más efectivas y así reducir la posibilidad de que ocurran incendios.
- **OG2: Evaluación del peligro de ignición mediante indicadores específicos.** La creación de estos indicadores permitirá realizar una evaluación sistemática y cuantitativa del riesgo de incendios, facilitando la toma de decisiones en la gestión y prevención de incendios forestales.

- **OG3: Simulación detallada de un incendio forestal en la zona de estudio.** Este objetivo busca modelar el comportamiento de un incendio bajo diversas condiciones, proporcionando información crucial para la planificación y actuación en caso de que se produzca uno.

2.2 Objetivos específicos.

Para abordar de manera total la prevención de incendios forestales en la región de estudio, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- **OE1: Analizar las causas estructurales del peligro de propagación.** Incluye estudiar la vegetación, el clima y la topografía, y considerar también factores de prevención para combatir incendios.
- **OE2: Identificar las causas inmediatas del peligro de ignición,** es decir, entender cómo puede iniciarse un incendio, incluyendo posibles causas desconocidas.
- **OE3: Combinar el análisis del peligro de propagación y el peligro de ignición.** El objetivo es evaluar el riesgo total de incendio en la zona y crear un mapa que muestre las áreas con mayor riesgo.
- **OE4: Proponer medidas para la prevención de incendios.** Basándose en toda la información obtenida, desarrollar recomendaciones específicas para prevenir incendios forestales.

3. Materiales y Métodos.

Los incendios forestales son el resultado de la interacción de varios factores críticos. Para que un incendio forestal se produzca, es esencial la presencia de cuatro elementos fundamentales: la ignición, el combustible, la sequía y las condiciones meteorológicas adecuadas. Estos factores actúan de manera conjunta, determinando en gran medida la magnitud y la intensidad del incendio.

Un estudio reciente del CSIC destaca que los grandes incendios forestales ocurren cuando se superan simultáneamente tres umbrales clave: el de las igniciones, el de la disponibilidad de combustible y el de la sequía.

(Juli G. Pausas, s.f.)

“Estas condiciones se han dado en diversas ocasiones en la Comunidad Valenciana, y es previsible que se amplifiquen en los próximos años a medida que el cambio climático avanza”.

Las condiciones ambientales, como los vientos secos y las altas temperaturas, incrementan la probabilidad de que se produzcan incendios de gran envergadura. Estos factores se han vuelto

más comunes debido al cambio climático, lo que aumenta el riesgo de incendios forestales graves.

Se debe conseguir finalmente un mapa que indique realmente el peligro de incendio y esto se obtiene evaluando el índice FWI; el FWI es una herramienta integral que combina varias variables meteorológicas para evaluar el riesgo de incendios forestales. El FWI combina un indicador de velocidad de propagación del incendio y un indicador del combustible disponible, proporcionando una medida de la probabilidad de ignición y la dificultad de extinción, a esto se le sumaran índices propios para mejorar el análisis.

A continuación, la ilustración 5 muestra un mapa conceptual de la metodología empleada:

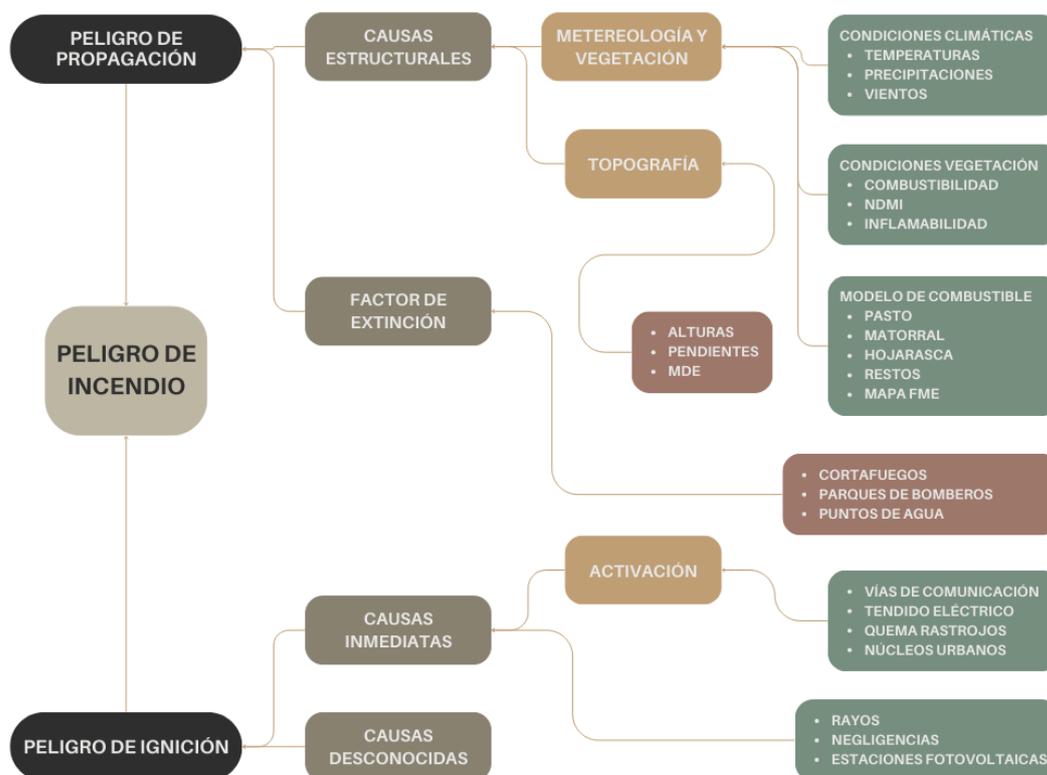


Ilustración 5: Metodología a emplear. Fuente: Elaboración propia.

Este enfoque permitirá una evaluación más precisa y eficaz del riesgo de incendios forestales, facilitando la toma de decisiones en la prevención y control de incendios.

Para completar el OG1, que consiste en determinar el peligro de propagación de incendios y luego identificar las zonas de riesgo, se han utilizado diversos conjuntos de datos. Estos datos y su procesamiento se detallarán en los objetivos específicos. La combinación de los objetivos específicos 1, 2 y 3 permitirá obtener finalmente el peligro y riesgo de incendio. Además, se realizará una modelación de un posible incendio para planificar las acciones en la zona.

Las capas empleadas son las siguientes:

Para obtener las condiciones climáticas, se han utilizado datos de temperaturas, precipitaciones y viento del verano de 2023. En cuanto a las condiciones de la vegetación, se ha realizado un análisis de la combustibilidad, la humedad y la inflamabilidad de la vegetación existente en la zona. La obtención de la humedad se realiza mediante teledetección y se usa el índice NDMI. Además de la ubicación espacial, se ha introducido un modelo de combustible y un mapa de uso de bosques.

Estos datos permiten obtener las variables meteorológicas y de vegetación más importantes, ya que en verano hay menos humedad, menos precipitaciones y mucho más calor.

También se ha considerado el factor de la topografía, añadiendo las pendientes y la altura sobre el nivel del mar, obtenidas de un Modelo Digital del Terreno (MDT). Esto proporciona información sobre las causas estructurales del incendio, que se combina con la posibilidad de extinción, es decir, saber si hay cortafuegos en las zonas, la cercanía de parques de bomberos y puntos de agua para evaluar la peligrosidad de propagación.

Para evaluar el peligro de ignición, se tendrán en cuenta las causas inmediatas y desconocidas.

Dentro de las causas inmediatas se incluyen los rayos, las negligencias y las estaciones fotovoltaicas. Además, se considerarán los factores de activación, como las vías de comunicación debido a la peligrosidad de lanzar una colilla como bien se ve en el artículo web de (bosques, s.f.), haciendo que esto provoque un incendio, o bien un chispazo del tendido eléctrico, la quema de rastrojos, los puntos de barbacoas y la cercanía a núcleos urbanos por la ignición de un vehículo eléctrico durante la carga.

Finalmente, se combinará el peligro de propagación con el de ignición para obtener el peligro de incendio en la zona de estudio, creando un mapa que indique las áreas más críticas para poder actuar inmediatamente en ellas.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizará el software QGIS (Ilustración 6), una herramienta de sistemas de información geográfica (SIG) de código abierto que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos espaciales; además de que posee numerosos plugin para realizar análisis.



Ilustración 6: GIS empleado. Fuente: QGIS

Para realizar la simulación de incendios, se empleará el software FlamMap (Ilustración 7), siendo desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS). FlamMap es una herramienta avanzada utilizada para modelar el comportamiento del fuego en paisajes forestales empleando datos espaciales y meteorológicos para ajustarse lo máximo posible.



Ilustración 7: Programa para realizar la simulación. Fuente: FlamMap

Muchos de los datos utilizados para el análisis provienen del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la Infraestructura de Datos Espaciales de Valencia (IDEV), y de los datos abiertos proporcionados por el Ayuntamiento de Valencia (Ilustración 8).



Ilustración 8: Lugares de obtención de datos. Fuente: IGN, Ayuntamiento de Valencia e IDEV.

Por último, se ha empleado Google Earth Engine (Ilustración 9) para la obtención de imágenes mediante satélite, programando código específicamente para este propósito ya que así se pueden obtener las imágenes filtradas de nubosidad que se explica en el próximo apartado.



Ilustración 9: Programa para la obtención de imágenes. Fuente: Google Earth Engine.

3.1 Objetivo Específico 1. (Peligro de propagación).

La propagación de un incendio forestal, una vez iniciado, depende directamente del tipo y cantidad de combustible disponible. La vegetación circundante juega un papel muy importante en la propagación de las llamas y, por lo tanto, en la velocidad y extensión del incendio (MOUDS, s.f.).

El tipo de vegetación, su grado de humedad, estructura y densidad son factores críticos en el comportamiento del fuego (El tiempo, s.f.). Por ejemplo, una masa forestal gestionada adecuadamente ofrece menos combustible disponible para las llamas y proporciona más oportunidades para la intervención eficaz de los equipos de extinción. En contraste, un bosque sin gestionar y abandonado es más propenso a arder de manera rápida y virulenta.

Este fenómeno se ha visto exacerbado en las últimas décadas debido al abandono del medio rural, la despoblación y la falta de actividad económica en los montes, lo que ha resultado en una menor gestión forestal en comparación con los últimos años ya que las personas tienden a vivir cada vez más en ciudades más grandes.

La continuidad del combustible es esencial para la generación de grandes incendios. En la cuenca mediterránea, esta continuidad se ve favorecida principalmente por el abandono rural y la reducción de actividades como la agricultura y el pastoreo según decía Pausas.

(Pausas, s.f.)

“Se requiere cierta continuidad del combustible para que se generen grandes incendios y en toda la cuenca mediterránea, esta continuidad se genera principalmente por el abandono rural, por la reducción de la agricultura y del pastoreo”

Además, otros factores como la topografía del terreno pueden favorecer la propagación del fuego. Las pendientes pronunciadas, por ejemplo, pueden acelerar el avance de las llamas debido al efecto de convección y la caída de material incandescente hacia abajo. Las condiciones meteorológicas, como el viento, también juegan un papel crucial al facilitar la expansión del fuego a través del transporte de brasas y la intensificación del frente de llamas (Rubén Garrido Rivero, 2016).

Comprender estos factores es fundamental para el desarrollo de estrategias efectivas de prevención y mitigación de incendios forestales. Este objetivo es central en el presente trabajo,

ya que busca proporcionar una base sólida para la implementación de políticas y prácticas de gestión forestal que reduzcan el riesgo y el impacto de los incendios en nuestras masas forestales (Rubén Garrido Rivero, 2016). Además, se sumará al peligro de propagación diversas estrategias de extinción de incendios, incluyendo la efectividad de cortafuegos, la ubicación y equipamiento de estaciones de bomberos, y la disponibilidad de puntos de agua. Estas medidas son cruciales para mejorar la capacidad de respuesta.

Como se ha mencionado anteriormente, este objetivo se centra en el estudio de la propagación del incendio de la zona que se visualiza en la Ilustración 10, por lo que principalmente se analizarán la vegetación y la meteorología de la zona, además de añadir un factor de extinción del fuego. Según el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), los datos están referidos a dicha área, la cual también se describe en detalle en el apartado 1.4 sobre la ubicación.

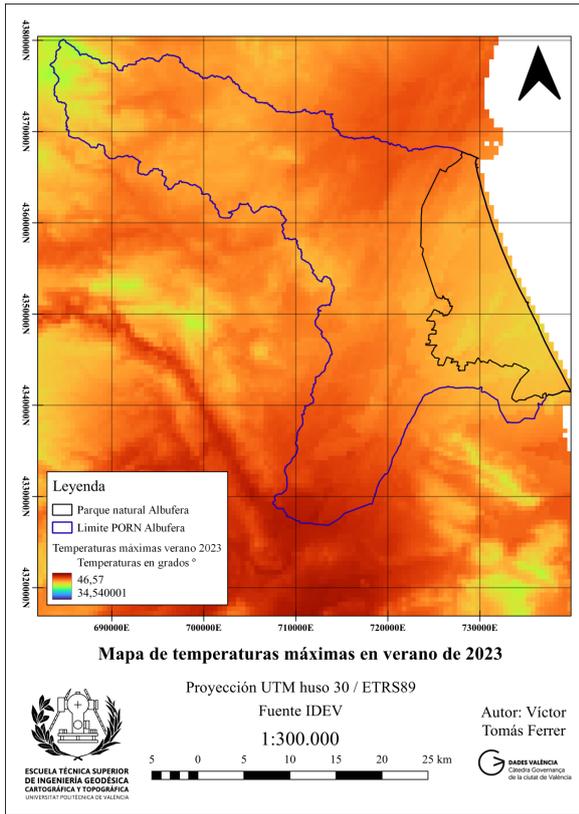


Ilustración 10: Visualización de la zona. Fuente: Elaboración propia.

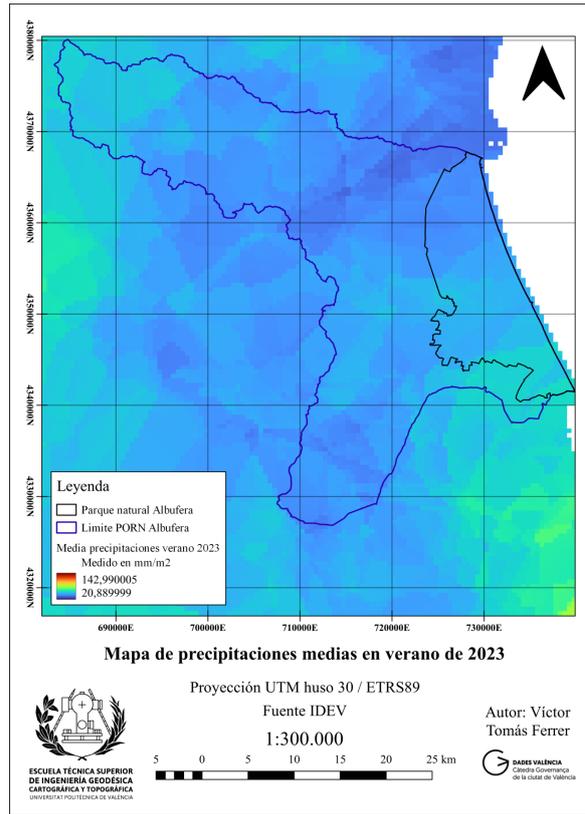
3.1.1 Análisis de meteorología y vegetación.

A partir de los límites establecidos por el PORN, que incluyen la Albufera, se procede con la descarga de datos necesarios para realizar el análisis. Lo primero que se obtendrá, serán las condiciones climáticas, ya que los principales factores climatológicos que influyen en la propagación de incendios son la falta de lluvias, las altas temperaturas (más altas en verano que en invierno), la diferencia de humedad entre estaciones y las fuertes rachas de viento.

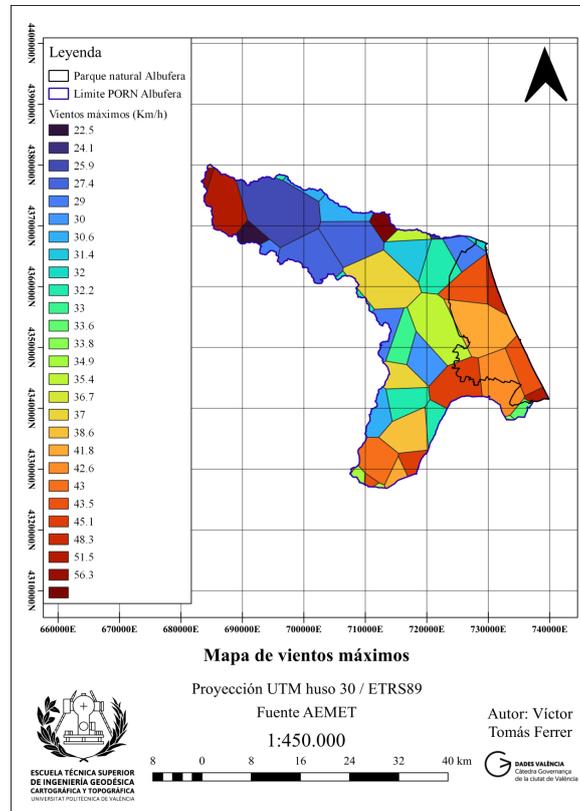
Se han utilizado datos de temperaturas correspondientes al verano de 2023, así como datos de precipitaciones y rachas de viento del mismo periodo obteniendo como resultado el mapa de vientos (Ilustración 11), el mapa de temperaturas máximas (Ilustración 12), y el mapa de precipitaciones medias (Ilustración 13).



Il·lustració 13: Mapa de temperaturas. Fuente: Elaboración propia.



Il·lustració 12: Mapa de precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.



Il·lustració 11: Mapa de vientos. Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo un análisis exhaustivo de los datos y estudiarlos en profundidad, se sigue el siguiente procedimiento utilizando el software QGIS. En primer lugar, se analiza la peligrosidad de propagación mediante el estudio de las precipitaciones.

Primero, se introducen los datos en el sistema de información geográfica (SIG) y se recortan para la zona de estudio. Utilizando herramientas ráster, se transforma la información de formato ráster a vectorial (Ilustración 14 y 15). Este paso es esencial para unificar todos los datos en un mismo formato, lo cual facilita la aplicación de otras herramientas y técnicas de análisis.

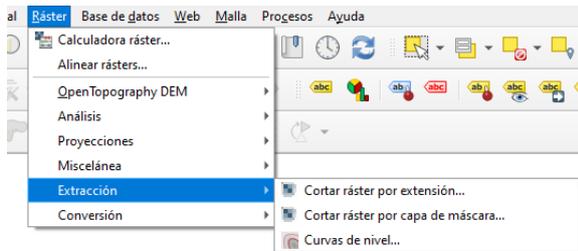


Ilustración 16: Recorte para la zona. Fuente: Elaboración propia.

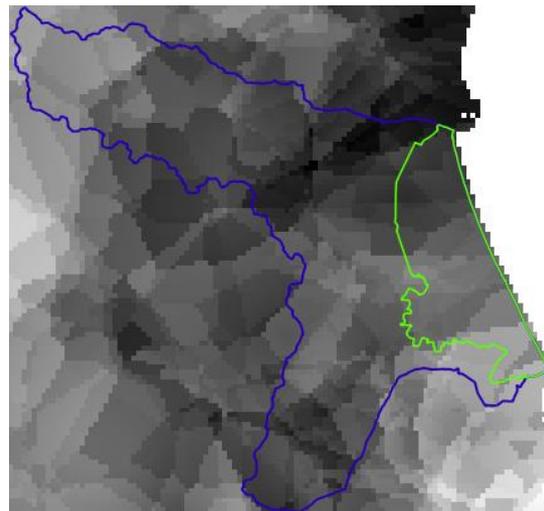


Ilustración 14: Resultado de la transformación. Fuente: Elaboración propia.

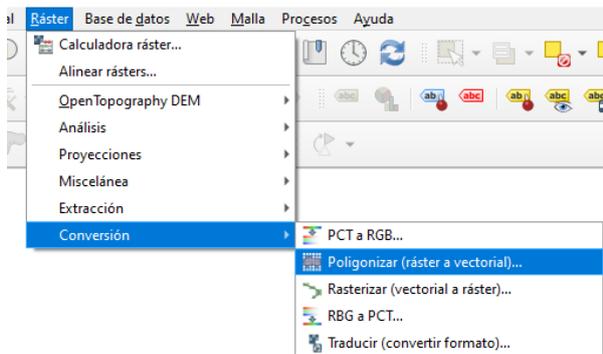


Ilustración 15: Transformación de formato. Fuente: Elaboración propia.

Esto se debe a que las herramientas de análisis más avanzadas y efectivas en QGIS son predominantemente vectoriales. Además, al trabajar con datos vectoriales, es posible crear archivos shapefile, lo que facilita la exportación y el intercambio de datos para su uso en otros proyectos o programas.

Se llevará a cabo el mismo proceso con los datos de las precipitaciones registradas durante el verano de 2023 (Ilustración 17) y con las temperaturas máximas (Ilustración 18). Este análisis permitirá anticipar las condiciones de calor para el verano de 2024. Como resultado, obtendremos una estimación más precisa de las temperaturas esperadas, lo que ayudará a prepararse adecuadamente para las condiciones climáticas futuras ya que cada vez serán mayores como bien se ve en la Ilustración 1.

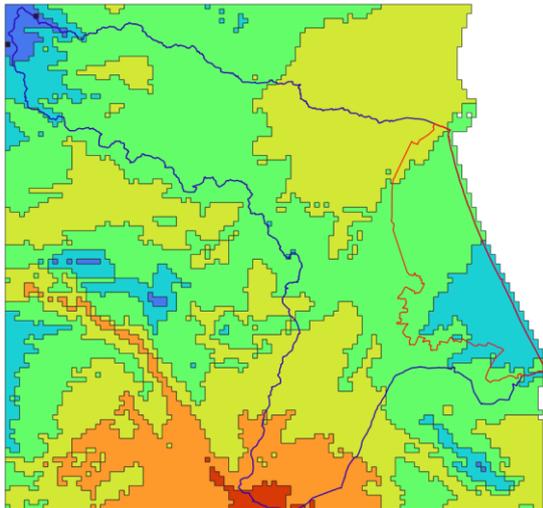


Ilustración 18: Temperaturas en vectorial. Fuente: Elaboración propia.

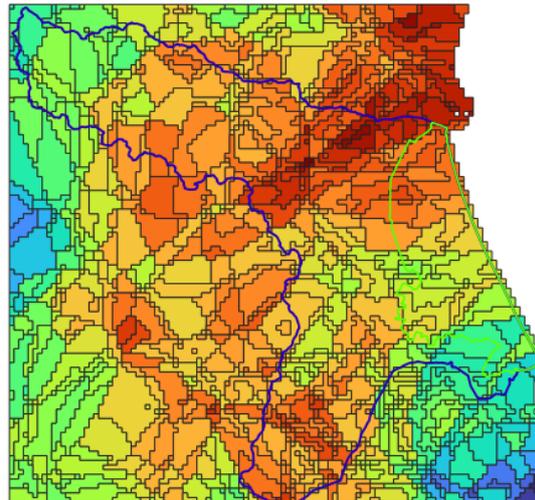


Ilustración 17: Precipitaciones en vectorial. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del viento, se parte de una capa de puntos. A continuación, se generan los polígonos de Voronoi para transformar esta capa en una capa de polígonos, lo que facilita un análisis más detallado (Ilustración 19 y 20).

Los polígonos de Voronoi, también conocidos como diagramas de Voronoi, son una forma de dividir un espacio en regiones alrededor de un conjunto de puntos, de tal manera que cada región contenga todos los puntos que están más cerca del punto generador correspondiente que de cualquier otro punto. Esto permite asignar áreas específicas de influencia a cada punto de datos de viento.

Además, se filtran los datos para centrarse en los vientos máximos. Esto es importante porque los vientos fuertes tienen un gran impacto en la propagación del fuego, lo que es crucial en el análisis de incendios. Al enfocarse en los vientos máximos, se puede entender mejor las condiciones más críticas que afectan la extensión de los incendios.

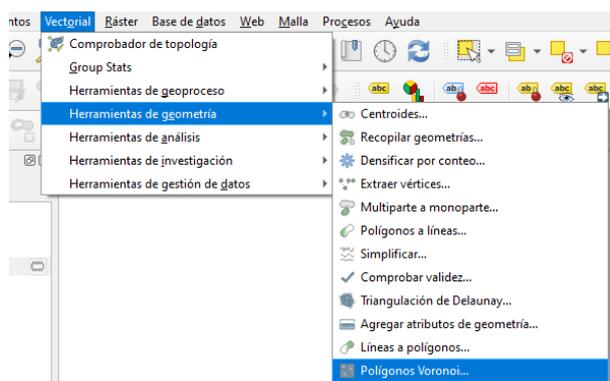


Ilustración 19: Utilización de herramientas vectoriales. Fuente: Elaboración propia.

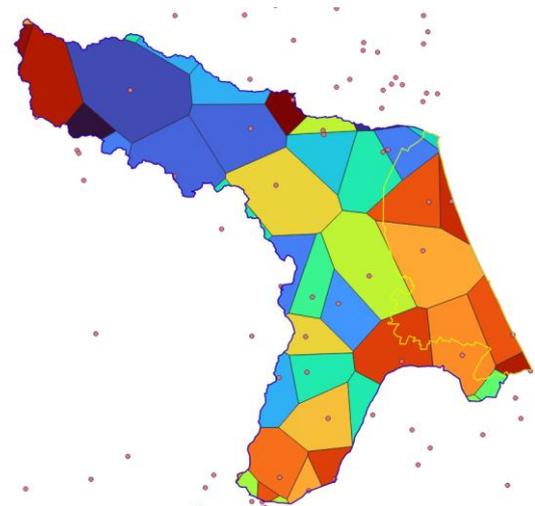


Ilustración 20: Polígonos de Voronoi a partir de los vientos máximos. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es estudiar las condiciones de la vegetación; por lo que primero, se descargaran las imágenes de satélite procedentes de Sentinel-2 para analizar el Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI).

Se utiliza un código en Google Earth Engine, que se muestra en la Ilustración 2, y sirve para descargar estas imágenes y crear un mosaico que combina la media de los píxeles de verano y otra para los correspondientes a invierno, obteniendo dos imágenes para verano e invierno. Esto permite visualizar cómo el invierno es más húmedo que el verano debido a las altas temperaturas. También se aplica un filtro para eliminar la nubosidad de las imágenes, evitando la necesidad de correcciones posteriores. Para este análisis, se seleccionan las bandas 2, 3, 4, 8 y 11 de Sentinel-2 tal y como se puede ver en el código empleado. (Al final del documento se incluye el código implementado por si se desea utilizar).

```
1 // Define la región de interés (ROI)
2 var albufera ;
3
4 // Función para enmascarar nubes y píxeles de cirro
5 function maskAllClouds(image) {
6   var qa = image.select('QA60');
7   var cloudBitMask = 1 << 10;
8   var cirrusBitMask = 1 << 11;
9   var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
10  | .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
11  return image.updateMask(mask);
12 }
13
14 // Define las fechas para el verano de 2023
15 var fechaInicial = ee.Date.fromYMD(2023, 6, 1);
16 var fechaFinal = ee.Date.fromYMD(2023, 8, 31);
17
18 // Filtrar la colección de Sentinel-2, aplicar la máscara de nubes y seleccionar las bandas necesarias
19 var coleccionFiltrada = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
20   .filterDate(fechaInicial, fechaFinal)
21   .filterBounds(albufera)
22   .map(maskAllClouds)
23   .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));
24
25 // Seleccionar las bandas 'B2', 'B3', 'B4', 'B8' y 'B11' y crear un mosaico
26 var bandas = coleccionFiltrada.select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8', 'B11']);
27 var mosaicoVerano = bandas.median();
28
29 // Agregar el mosaico al mapa
30 Map.centerObject(albufera, 10); // Ajusta el nivel de zoom según sea necesario
31 Map.addLayer(mosaicoVerano.clip(albufera), {min: 0, max: 3000}, 'Mosaico Verano 2023');
32
33 // Exportar la imagen a Google Drive con la máxima resolución
34 Export.image.toDrive({
35   image: mosaicoVerano.clip(albufera), // Asegura que la región de interés esté correctamente aplicada
36   description: 'Mosaico_Verano_2023',
37   folder: 'EE_Images', // Carpeta en tu Google Drive donde se guardarán las imágenes
38   fileNamePrefix: 'Mosaico_Verano_2023', // Prefijo del nombre del archivo
39   scale: 10, // Escala de la imagen en metros (máxima resolución)
40   region: albufera, // Región de interés
41   maxPixels: 1e10 // Máximo de píxeles permitidos
42 });
43
```

Ilustración 21: Código empleado para descargar imágenes. Fuente: Elaboración propia.

En este código, primero se define el área de interés, que en este proyecto es la Albufera. Posteriormente, se aplica una corrección a la nubosidad empleando un filtro para enmascarar las nubes, seleccionando imágenes que tengan menos del 10% de nubosidad. Luego, se aplica un filtro adicional para eliminar la nubosidad restante y los píxeles de cirro.

El filtro para enmascarar las nubes y los píxeles de cirro funciona utilizando algoritmos de detección de nubes, como el algoritmo QA60 de Sentinel-2. Este algoritmo identifica los píxeles que están afectados por nubes y cirros, y los marca en una máscara de calidad. Al aplicar esta máscara, se descartan los píxeles que representan nubes y cirros, dejando solo aquellos que están libres de nubosidad.

A continuación, se eligen las fechas entre las cuales se quieren obtener las imágenes. Después, se seleccionan las bandas de Sentinel-2 que se desean utilizar, aplicando nuevamente un filtro para asegurarse de que tengan menos del 10% de nubosidad. Luego, se aplican los filtros mencionados anteriormente y se calcula la media de los píxeles en las bandas seleccionadas.

Finalmente, se agrega la imagen a un visor para verificar que esté correcta y se exporta a Google Drive para poder descargarla.

Una vez se tienen las imágenes descargadas se les aplica el Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI) para estudiar dichas imágenes ya que detecta los niveles de humedad en la vegetación utilizando las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR) siendo este un buen indicador del estrés hídrico en los cultivos y la fórmula para calcular el NDMI es:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Las bandas seleccionadas se utilizan por las siguientes razones:

- 1) **Bandas 2, 3 y 4 (Azul, Verde y Rojo):** Estas bandas corresponden a las longitudes de onda del espectro visible y se utilizan para generar imágenes en color verdadero, lo que facilita la interpretación visual de la vegetación.
- 2) **Banda 8 (NIR):** La banda del infrarrojo cercano es crucial para el análisis de la vegetación porque la clorofila en las plantas refleja mucho la luz NIR. Esta banda es muy sensible a la biomasa y a la salud de la vegetación, haciendo posible la detección de variaciones en el vigor vegetal.
- 3) **Banda 11 (SWIR):** La banda del infrarrojo de onda corta es sensible a la humedad en la vegetación y el suelo. El agua absorbe fuertemente la luz SWIR, por lo que esta banda se usa para detectar el contenido de humedad y el estrés hídrico en las plantas.

Por lo que en la Ilustración 22, se puede visualizar las longitudes de onda que se emplean en las bandas seleccionadas además de verse también en que posición del espectro electromagnético se encuentran.

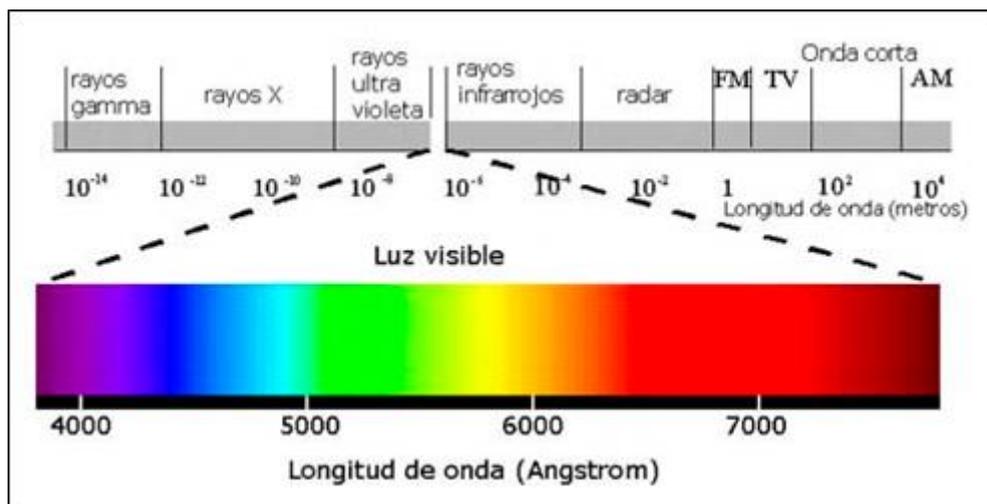


Ilustración 22: Longitudes de onda en teledetección. Fuente: UniGis.

Para calcular el NDMI, verano (Ilustración 23) e invierno (Ilustración 24), también se emplea QGIS junto con la calculadora ráster; la calculadora ráster en QGIS permite realizar operaciones matemáticas entre diferentes bandas, lo que facilita el cálculo del NDMI utilizando las bandas NIR y SWIR.

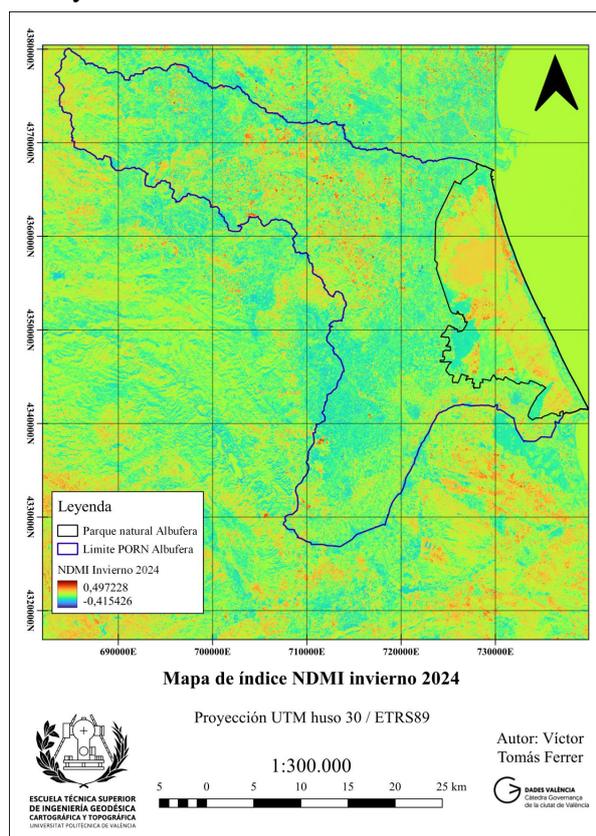


Ilustración 24: NDMI invierno. Fuente: Elaboración propia.

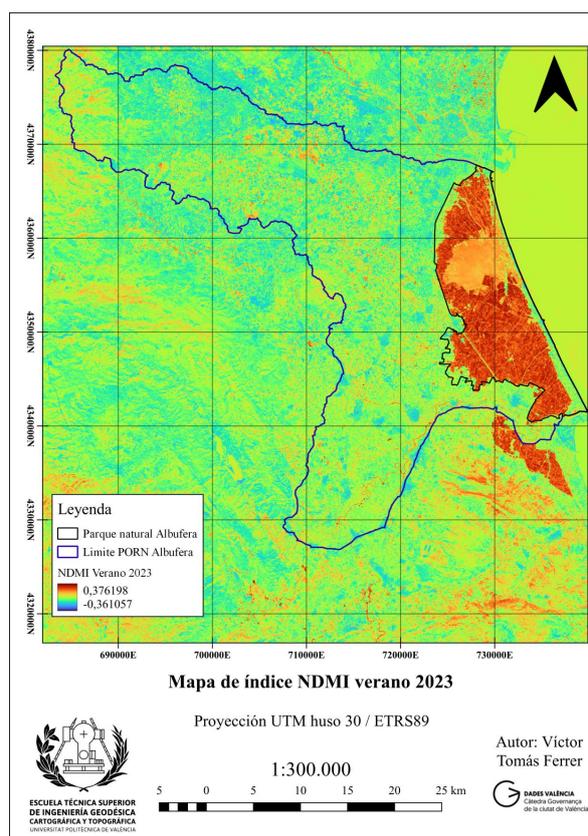


Ilustración 23: NDMI verano. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se van a analizar los histogramas de ambas imágenes (Ilustraciones 25, 26) para ver como varia la humedad y así tener en cuenta que es uno de los factores más importantes:

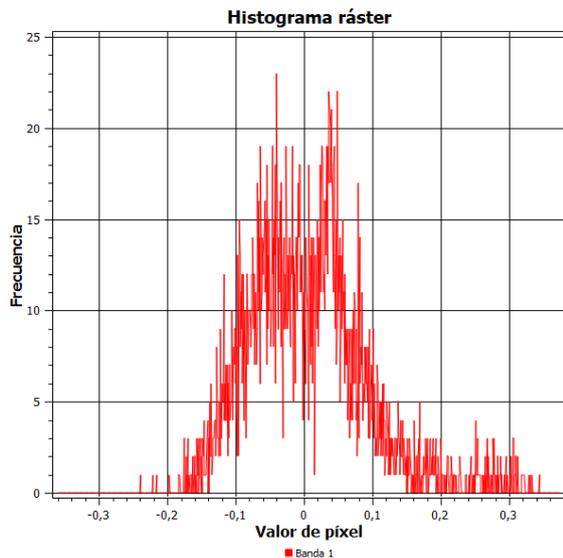


Ilustración 26: Histograma imagen verano. Fuente: Elaboración propia.

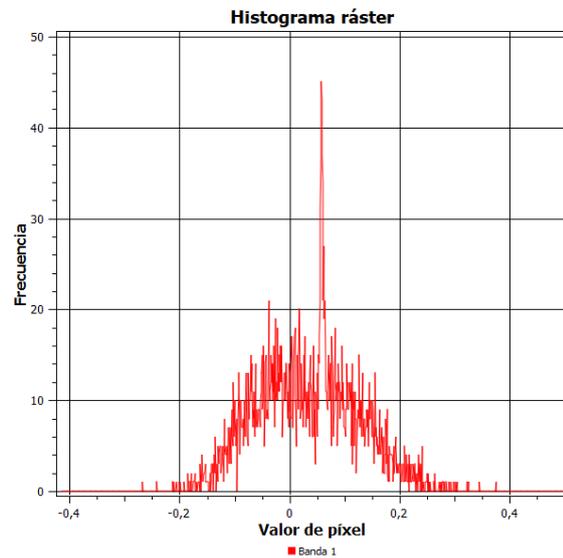


Ilustración 25: Histograma imagen invierno. Fuente: Elaboración propia.

Al observar los histogramas de NDMI para invierno y verano, se pueden identificar claras diferencias en la distribución de los valores de índice de humedad entre ambas estaciones.

En el histograma correspondiente al invierno, la distribución de valores NDMI muestra un pico principal alrededor de 0, con la mayoría de los valores de píxel oscilando entre -0.3 y 0.3. La frecuencia máxima alcanza cerca de 50, lo que indica una alta concentración de valores cerca de 0. Esta distribución sugiere una mezcla equilibrada de vegetación moderadamente húmeda y suelo descubierto durante el invierno. Además, el rango más amplio de valores NDMI, extendiéndose de aproximadamente -0.4 a 0.4, indica una mayor variabilidad en la humedad de la vegetación y el suelo, probablemente debido a las precipitaciones típicas de esta estación.

En contraste, el histograma correspondiente al verano también muestra un pico principal alrededor de 0, pero con la mayoría de los valores de píxel oscilando entre -0.2 y 0.2. La frecuencia máxima en este caso es de aproximadamente 25, lo que indica una menor dispersión de los valores NDMI. Comparado con el invierno, la menor variabilidad y el rango más estrecho en verano sugieren una menor presencia de vegetación húmeda y una posible mayor proporción de suelo seco. Esto es coherente con las condiciones típicas del verano, donde la menor disponibilidad de agua y la mayor evaporación resultan en una reducción de la humedad de la vegetación y el suelo.

En general, la comparación entre ambos histogramas refleja cómo las condiciones de humedad varían estacionalmente en el área de estudio. El invierno muestra una mayor variabilidad en los valores de NDMI, indicando una mezcla de áreas húmedas y secas, mientras que el verano presenta una menor variabilidad, señalando una reducción en la humedad general debido a las condiciones más secas de la estación. Estos patrones son consistentes con las expectativas de una mayor disponibilidad de agua en invierno y una mayor sequedad en verano.

Como se puede comprobar visualizando los mapas obtenidos y los histogramas, en invierno los valores del NDMI están entre -0.5 y 0.5, mientras que en verano esta cifra baja a entre -0.35 y 0.35. Estos valores son correctos, ya que el NDMI se evalúa entre -1 y 1, siguiendo el siguiente criterio de interpretación que se muestra en la Tabla 3.

NDMI	Interpretación
-1/-0.8	Suelo desnudo
-0.8/-0.6	Cobertura de dosel casi inexistente
-0.6/-0.4	Cobertura de dosel muy baja
-0.4/-0.2	Cobertura de dosel baja y seca o muy baja y húmeda
-0.2/0	Cobertura de dosel media-baja y estrés hídrico alto o cobertura de dosel baja y estrés hídrico BAJO
0/0.2	Cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media-baja del dosel y bajo estrés hídrico
0.2/0.4	Cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo
0.4/0.6	Cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico
0.6/0.8	Cobertura del dosel muy alta, sin estrés hídrico
0.8/1	Cobertura total del dosel, sin estrés hídrico o anegamiento

Tabla 3: Interpretación NDMI. Fuente: Elaboración propia. Datos: Eos Data Analytics

Después de la interpretación anterior, se lleva a cabo una reclasificación de la imagen de verano, asignándole valores específicos para poder luego convertirla a formato vectorial (Ilustraciones 27 y 28).

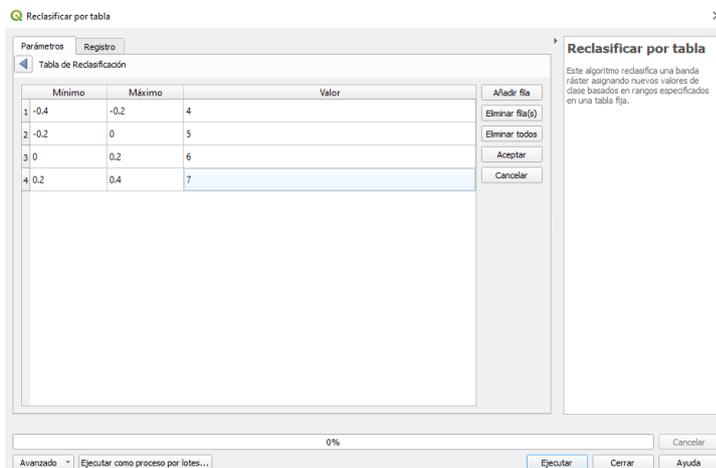


Ilustración 27: Reclasificación NDMI verano.

Fuente: Elaboración propia.

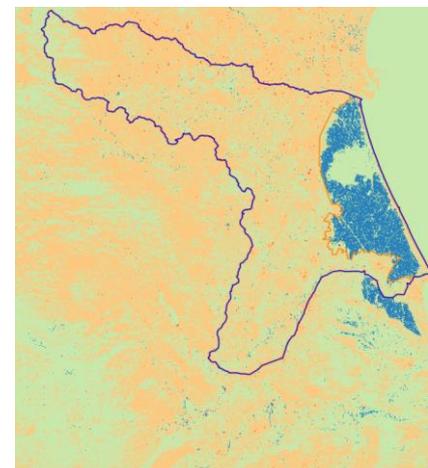


Ilustración 28: Resultado de reclasificación.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se tienen ya estos datos en vectorial y recortados para la zona; que esto se realizaría utilizando la función 'cortar' de QGIS de toda la imagen vectorizada al límite PORN establecido anteriormente; por lo que el siguiente paso sería estudiar la combustibilidad y la existencia de bosques en la zona de estudio.

En este proyecto, se empleará un modelo de combustibilidad específico para la Comunidad Valenciana, obtenido de la Conselleria de Justicia e Interior en el apartado de Prevención de Incendios Forestales y Sensibilización (Ilustración 29). Este modelo proporciona datos precisos y relevantes adaptados a las condiciones locales de la Comunidad Valenciana.

Al buscar el modelo de combustibilidad de la Comunidad Valenciana, se encuentra una tabla que detalla cada valor y su significado. Esta tabla es esencial para interpretar correctamente los datos del modelo, permitiendo una mejor evaluación y gestión del riesgo de incendios en la región.



Ilustración 29: Mapa de combustibles de la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia.

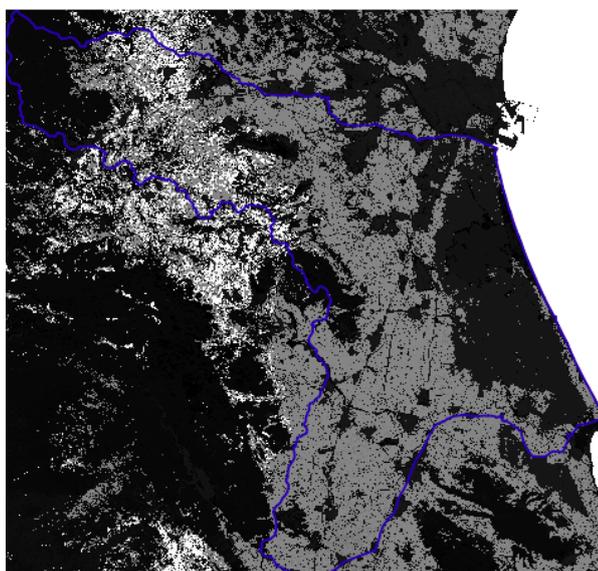


Ilustración 30: Recorte del modelo de combustible: Fuente: Elaboración propia.

Para tratar los datos, se recorta la zona de estudio (Ilustración 30) y se convierten los datos a formato vectorial. Luego, se realiza una categorización por atributos, asignando un color a cada uno de los elementos.

Mediante una selección espacial, se eligen los pastos con un valor de 1 a 4, el matorral con un valor de 6 a 10, el bosque con sotobosques con un valor de 11 a 14, y los restos forestales con un valor de 5. Esta clasificación se realiza siguiendo las directrices del libro de referencia utilizado, que proporciona una guía detallada para la asignación de valores en el análisis de riesgo de incendios.

(Rubén Garrido Rivero, 2016)

Resumen de los tipos de combustibles forestales y su comportamiento en incendios:

1. Pastos.

- a. Tipo 2: Pasto fino, seco y bajo que cubre completamente el suelo. Propagación rápida del fuego. Cantidad de combustible (materia seca): 5-10 t/ha.
- b. Tipo 3: Pasto grueso, denso, seco y alto. Fuego de gran intensidad. Cantidad de combustible: 4-6 t/ha.

2. Matorral.

- a. Tipo 4: Matorral joven muy denso, con ramas muertas en su interior. Propagación rápida del fuego. Cantidad de combustible: 25-35 t/ha.
- b. Tipo 5: Matorral denso y verde, de baja altura (<1 m). Propagación del fuego por la parte baja del matorral y el pie. Cantidad de combustible: 5-8 t/ha.
- c. Tipo 6: Matorral denso y seco, inflamable, de altura media. Propagación del fuego más intensa que en tipos anteriores. Cantidad de combustible: 10-15 t/ha.
- d. Tipo 7: Similar al anterior, pero con mayor densidad y biomasa. Propagación del fuego intensa. Cantidad de combustible: 10-15 t/ha.

3. Hojarasca bajo arbolado.

- a. Tipo 8: Bosque denso sin matorral. Propagación del fuego lenta. Cantidad de combustible: 10-12 t/ha.
- b. Tipo 9: Bosque con hojarasca muy compacta y rápida propagación del fuego. Ejemplos incluyen bosques de *Pinus pinaster*. Cantidad de combustible: 7-9 t/ha.
- c. Tipo 10: Montes con gran cantidad de restos leñosos, muy combustibles. Cantidad de combustible: 30-35 t/ha.

4. Restos de corta y operaciones silvícolas.

- a. Tipo 11: Bosque con capa poco compacta de restos dispersos. Fuego de alta intensidad y riesgo de pavesas. Cantidad de combustible: 25-30 t/ha.
- b. Tipo 12: Grandes acumulaciones de restos gruesos y pesados, cubriendo todo el suelo. Cantidad de combustible: 100-150 tm/ha.

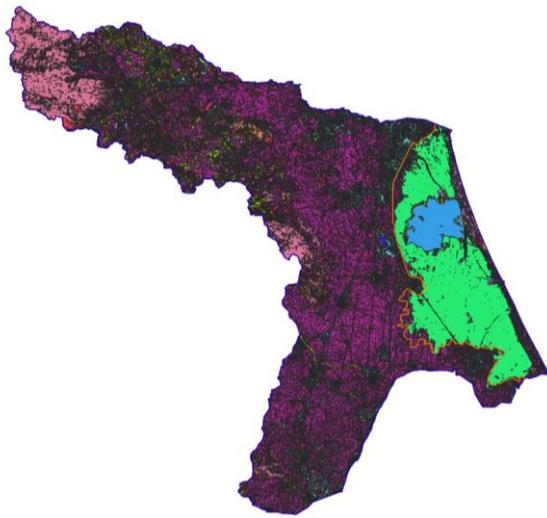


Ilustración 32: Visualización de modelo de combustible.
Fuente: Elaboración propia.

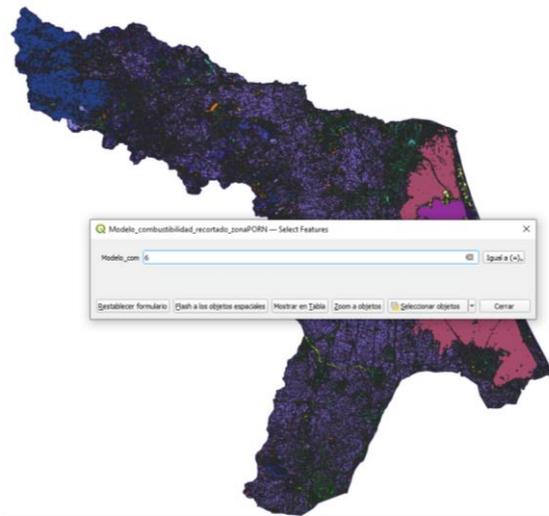


Ilustración 31: Selección espacial de los elementos de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las ilustraciones 31 y 32, se realiza una selección espacial basada en diferentes tipos de coberturas del suelo. Primero, se seleccionan los pastos con un valor de 1 a 4. A continuación, se eligen los matorrales con valores de 6 a 10. Seguidamente, se incluyen los bosques con sotobosque, los cuales presentan un valor de 11 a 14. Finalmente, se consideran los restos forestales con un valor de 5.

Para conocer mejor estos tipos de combustibles, a continuación, se presentan ejemplos de cada uno de ellos en las ilustraciones 33, 34 y 35.

Modelos de combustible forestal de la Comunitat Valenciana



GR2. Pastizal de menos de 1 metro de altura



GR7.- Zonas húmedas y marjales

Ilustración 33: Modelo de combustible GR. Fuente: Generalitat Valenciana.



Ilustración 34: Modelo de combustible SH. Fuente: Generalitat Valenciana.



Ilustración 35: Modelo de combustible SB. Fuente: Generalitat Valenciana.

Para concluir con los datos que se van a emplear, se utilizará un modelo forestal llamado FME y un modelo de riesgo de incendios obtenido del PATFOR.

El mapa forestal (FME) es una representación detallada de la cobertura vegetal en una región específica. Este tipo de mapa proporciona información sobre la distribución y el tipo de vegetación presente, así como datos sobre la estructura del bosque y la densidad arbórea.

La tabla de atributos existente presenta numerosa información, pero la que se empleará será la de arbolado que se muestra en la Ilustración 38, porque dentro del FME es especialmente relevante, ya que contiene información detallada sobre la composición del bosque.

PATFOR, que significa Plan de Prevención y Protección contra Incendios Forestales, el cual se basa en ICONA adaptado de Rothermel, es un conjunto de directrices y estrategias diseñadas para prevenir, monitorear y responder a los incendios forestales; empleando para este análisis las zonas más vulnerables diferenciando entre riesgo máximo y mínimo (Ilustración 36 y 37).

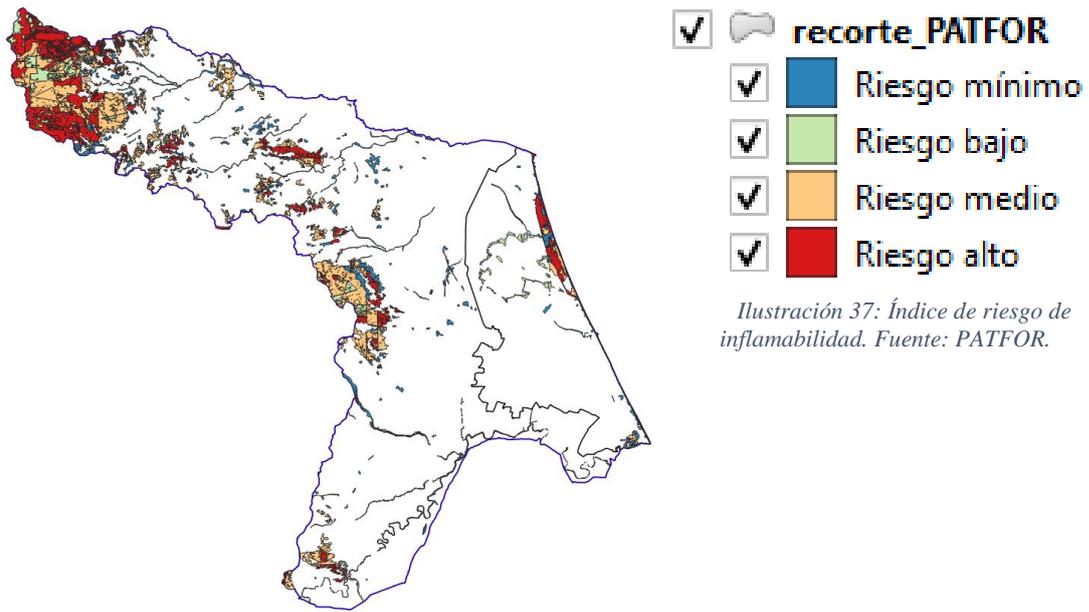


Ilustración 36: Riesgo de inflamabilidad. Fuente: PATFOR.



Ilustración 38: Arbolado según FME. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Análisis de topografía.

Para realizar el análisis de la topografía, primero se obtiene un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona de estudio que se muestra en la Ilustración 39. Este MDE se descarga a partir de Google Earth Engine mediante un código específico. Posteriormente, a partir de este MDE, se generan las curvas de nivel.

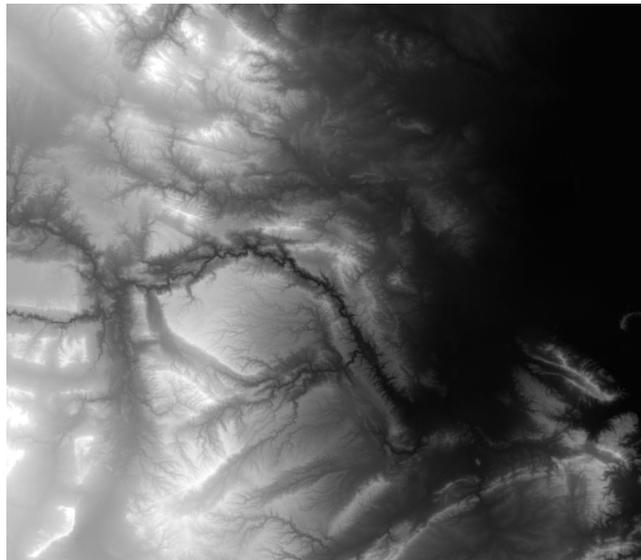


Ilustración 39: Modelo digital de elevaciones. Fuente: Elaboración propia.

Además del MDE, también es necesario obtener las pendientes del terreno (Ilustración 40). Aunque estas pendientes podrían derivarse directamente del MDE, se prefieren las pendientes descargadas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) debido a su resolución de 0.5 metros, lo que las hace más precisas y adecuadas para el análisis por lo que se cogerán las superiores al 30% para realizar el análisis.

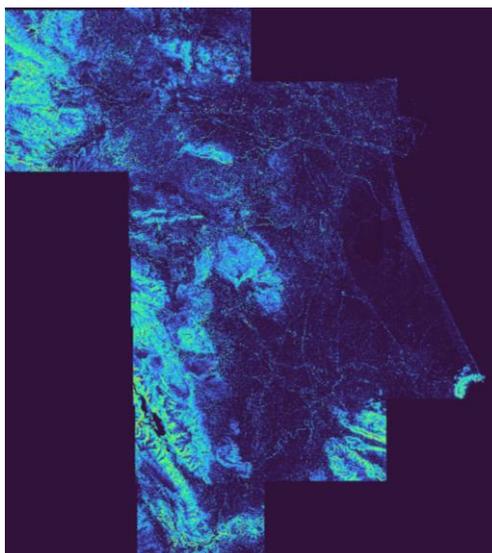


Ilustración 40: Pendientes en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Siendo la razón de por qué se emplean las pendientes y las elevaciones siguientes:

(BOMBEROS, s.f.)

La situación pasa a ser de riesgo potencial de incendio extremo, cuando concurren los tres factores anteriores, y puede agravarse a su nivel máximo si las pendientes sobre las que se desarrolla el incendio superan pendientes del 30 %. En dichas circunstancias, el combate de los incendios forestales presenta grandes dificultades y exige un esfuerzo máximo de planificación, coordinación y trabajo al operativo responsable de su extinción.

(ar, s.f.)

“A medida que ascendemos, encontramos condiciones meteorológicas distintas; la temperatura, humedad, viento y precipitación cambian con la altura. Estos cambios se reflejan en el comportamiento del fuego cuando sube o baja por una ladera. También los tipos de suelo cambian con la altura.

Dichos cambios en las condiciones meteorológicas y en los suelos hacen que la vegetación que se instala en el terreno sea diferente a distintas alturas. En algunas regiones pueden encontrarse combustibles gruesos y más húmedos en las partes altas de una ladera, mientras que en las áreas bajas se encuentran combustibles finos y más secos; en cambio, en otras regiones la distribución puede ser distinta.”

3.1.3 Implementación del factor de extinción a las causas estructurales.

Primero de todo, será necesario estudiar los lugares donde están ubicados los cortafuegos, ya que son una de las mejores medidas para detener la propagación del fuego.

Los cortafuegos actúan como barreras físicas que interrumpen el continuo de combustible disponible para el fuego, impidiendo que se extienda más allá de estas zonas despejadas.

Además, facilitan el acceso a las brigadas de extinción y pueden servir como líneas de control desde donde se pueden realizar contrafuegos o aplicar otros métodos de extinción de incendios basado en (Rubén Garrido Rivero, 2016).

Dentro de la zona de estudio, no hay áreas de cortafuegos, tal y como se observa en la Ilustración 41, por lo que una solución sería implementar estos cortafuegos tras realizar una simulación de cómo avanzaría el fuego o según el peligro de incendio identificado. La simulación permitirá determinar las áreas más estratégicas y efectivas para la ubicación de los cortafuegos, optimizando así su eficacia en la prevención y control de incendios forestales.

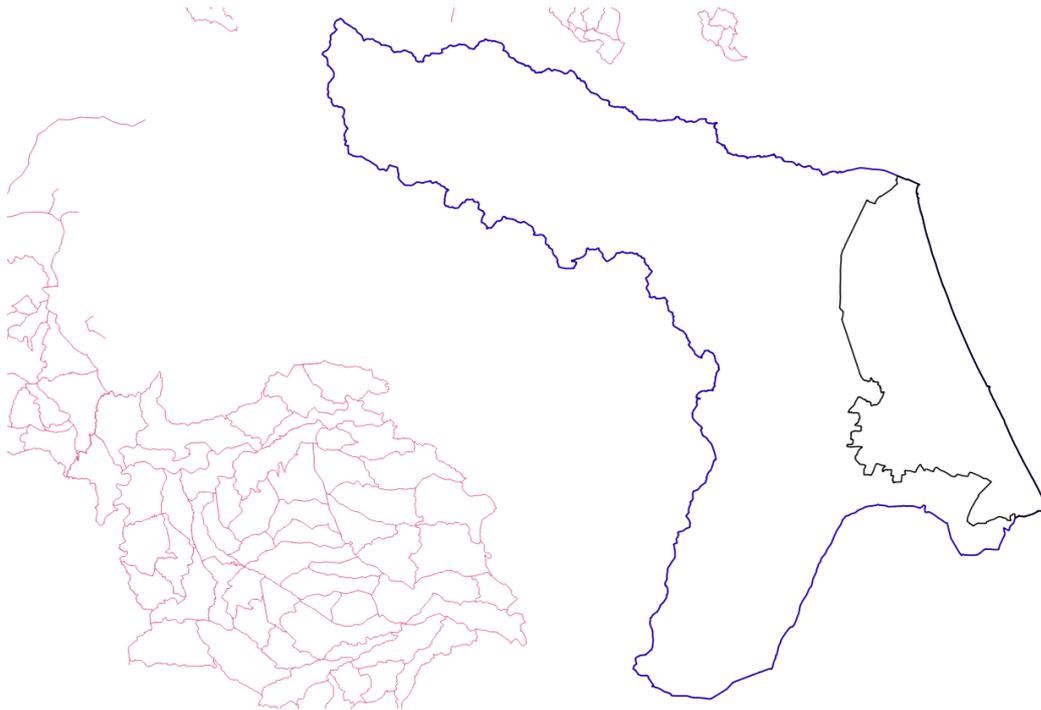


Ilustración 41: Ubicación de cortafuegos. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realiza el estudio de los puntos de agua (Ilustración 42). Aunque no hay puntos de agua dentro de la zona de estudio, estos se encuentran cerca. Los puntos de agua son cruciales para la extinción de incendios, ya que proporcionan el recurso necesario para sofocar o extinguir las llamas y reducir la temperatura del área afectada.

Aplicando un criterio de buffer, es posible que algunos de estos puntos de agua cercanos entren dentro de la zona de estudio, lo cual facilitaría el acceso al agua en caso de un incendio.

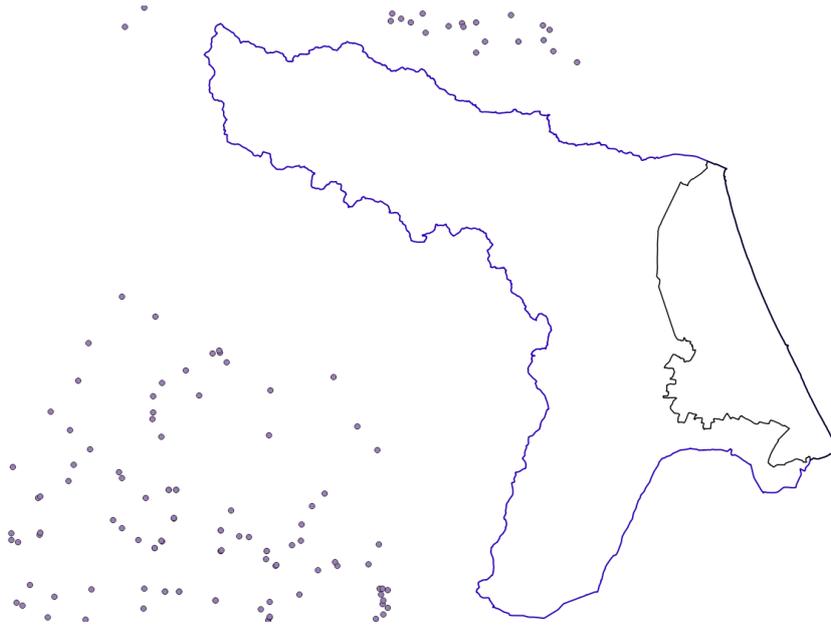


Ilustración 42: Puntos de agua en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe considerar la cercanía de los parques de bomberos. La proximidad de los parques de bomberos es fundamental para una rápida respuesta ante un incendio.

La rapidez con la que los bomberos pueden llegar al sitio del incendio puede marcar una gran diferencia en la capacidad para controlar y extinguir el fuego antes de que se expanda significativamente. Para obtener la ubicación de los parques de bomberos se muestra el código empleado en la Ilustración 43, utilizando la pagina (Turbo, s.f.), la cual nos permite seleccionar y descargar la ubicación de estos parques (Ilustración 44).

```
1  /*
2  This has been generated by the overpass-turbo wizard.
3  The original search was:
4  "bomberos"
5  */
6  [out:json][timeout:25];
7  // gather results
8  nwr["amenity"="fire_station"]({{bbox}});
9  // print results
10 out geom;
```

Ilustración 43: Código empleado para descargar la ubicación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia.

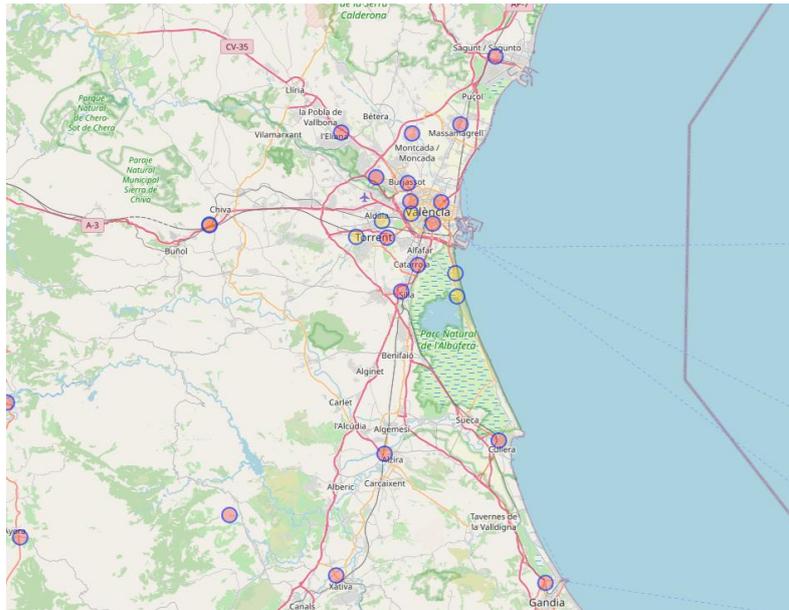


Ilustración 44: Ubicación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia.

Si se hace un buffer de 1000 m en los puntos de agua, tal y como se observa en la Ilustración 45 el resultado muestra que no se superpone ninguno con el área de estudio por lo que solo se usaran los parques de bomberos ya que están bien distribuidos a lo largo de la zona.

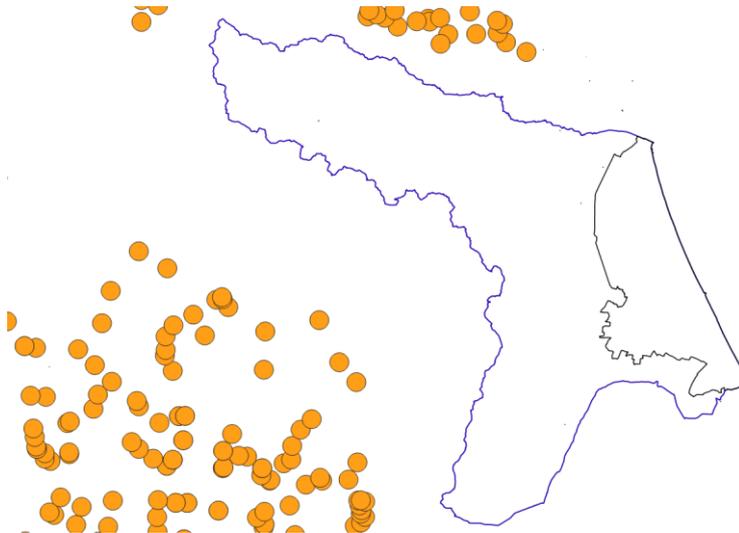


Ilustración 45: Buffer de puntos de agua. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, al comparar un buffer de 5 km con uno de 10 km, se obtiene una visión más clara del área que puede abarcarse para una actuación efectiva en la zona de estudio.

La elección del buffer de 10 km sobre el de 5 km se basa en varios factores importantes. Un buffer de 10 km cubre una superficie mayor, lo cual es crucial para controlar riesgos que pueden propagarse rápidamente, asegurando que también se incluyan áreas periféricas. Como se puede comprobar en la Ilustración 46, el buffer de 5 km aparece de color amarillo mientras que el de 10 km aparece de color marrón abarcando una gran área de la zona de estudio.

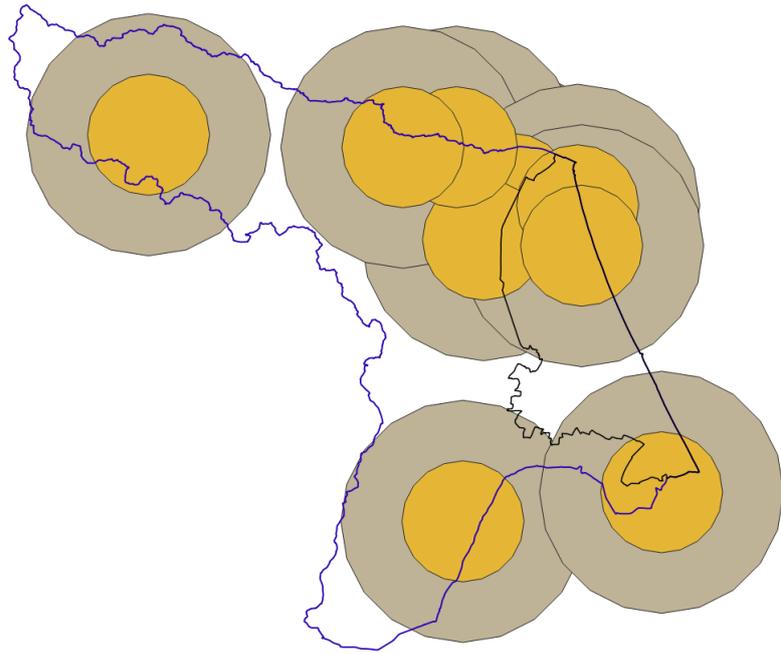


Ilustración 46: Área de actuación de los parques de bomberos. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Peligro de propagación.

A partir del análisis anterior y de haber introducido las estaciones de bomberos, ubicaciones de cortafuegos y puntos de agua se empleará el mapa conceptual que se muestra en la Ilustración 47 para realizar el análisis:

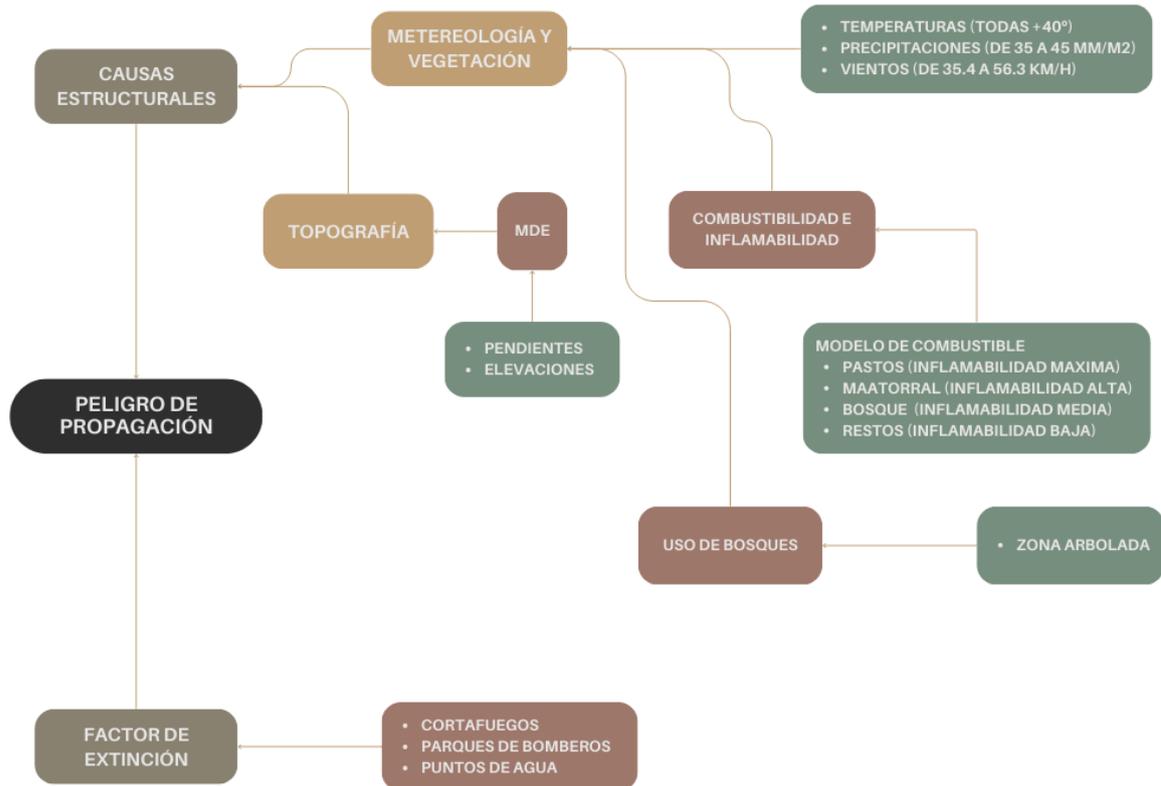


Ilustración 47: Mapa conceptual para el peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.

Para analizar las temperaturas, se considera que, dado que existen temperaturas máximas superiores a 40°C, el índice se aplicará en toda la zona debido a las altas temperaturas. En cuanto a las precipitaciones, se seleccionarán aquellas que estén entre 35 y 45 mm/m², ya que representan las áreas con menores lluvias. Para los vientos, se tomarán en cuenta las rachas más intensas, que oscilan entre 35 y 57 km/h.

Además, se utilizará un mapa de uso de bosques, que es una herramienta cartográfica que muestra la distribución y el tipo de cobertura forestal en una región determinada. Este mapa permitirá filtrar los atributos correspondientes a las zonas arboladas, quedándose únicamente con dichas áreas.

Por otra parte, se cuenta con el análisis de combustibilidad e inflamabilidad, que son factores cruciales para la propagación del fuego. La combustibilidad se refiere a la capacidad de un material para arder cuando se expone al fuego, mientras que la inflamabilidad indica la facilidad con la que un material se enciende.

Para abordar esto, se utilizará un modelo de combustibilidad. Este modelo es una representación teórica o una simulación computacional que permite predecir cómo se comportará el fuego en función de las características de los materiales presentes. El modelo considera variables como la cantidad de combustible disponible, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, para estimar cómo y con qué rapidez se puede propagar un incendio.

Como se ha visto anteriormente, según el libro de (Rubén Garrido Rivero, 2016), a partir de la diferenciación expuesta se añade un riesgo de inflamabilidad según el tipo de material. Esto proporciona un factor adicional para el análisis, utilizando un índice de 1 a 5, donde 1 representa la mayor inflamabilidad y 5 la menor. Los pastos, siendo los más inflamables, reciben el índice más alto debido a su capacidad de propagación rápida de incendios.

Por último y para estudiar el factor de extinción de incendios y su efectividad en la mitigación de la propagación, se han considerado varios elementos clave.

Entre ellos, se aplicará un buffer con rangos específicos: de 5 a 10 kilómetros para los parques de bomberos y de 500 metros a 1 kilómetro para los puntos de agua. Estos rangos han sido seleccionados considerando la capacidad operativa de los recursos disponibles y la necesidad urgente de una respuesta eficaz ante emergencias forestales. Los parques de bomberos dentro del rango más amplio pueden movilizarse rápidamente para intervenir y controlar un incendio antes de que se propague, mientras que los puntos de agua deben estar lo suficientemente cercanos como para que los equipos de extinción puedan acceder rápidamente y abastecerse durante una emergencia.

Por lo tanto, los resultados obtenidos se presentarán en el apartado 5.0 en adelante, donde se mostrarán los resultados correspondientes tanto al peligro de propagación como al peligro de ignición, así como la fusión de ambos para obtener el peligro de incendio.

3.2 Objetivo Específico 2. (Peligro de ignición).

Para analizar este objetivo específico se va a seguir el mapa conceptual mostrado en la Ilustración 48, donde se va a estudiar el peligro de ignición o las causas las cuales pueden originar un incendio.

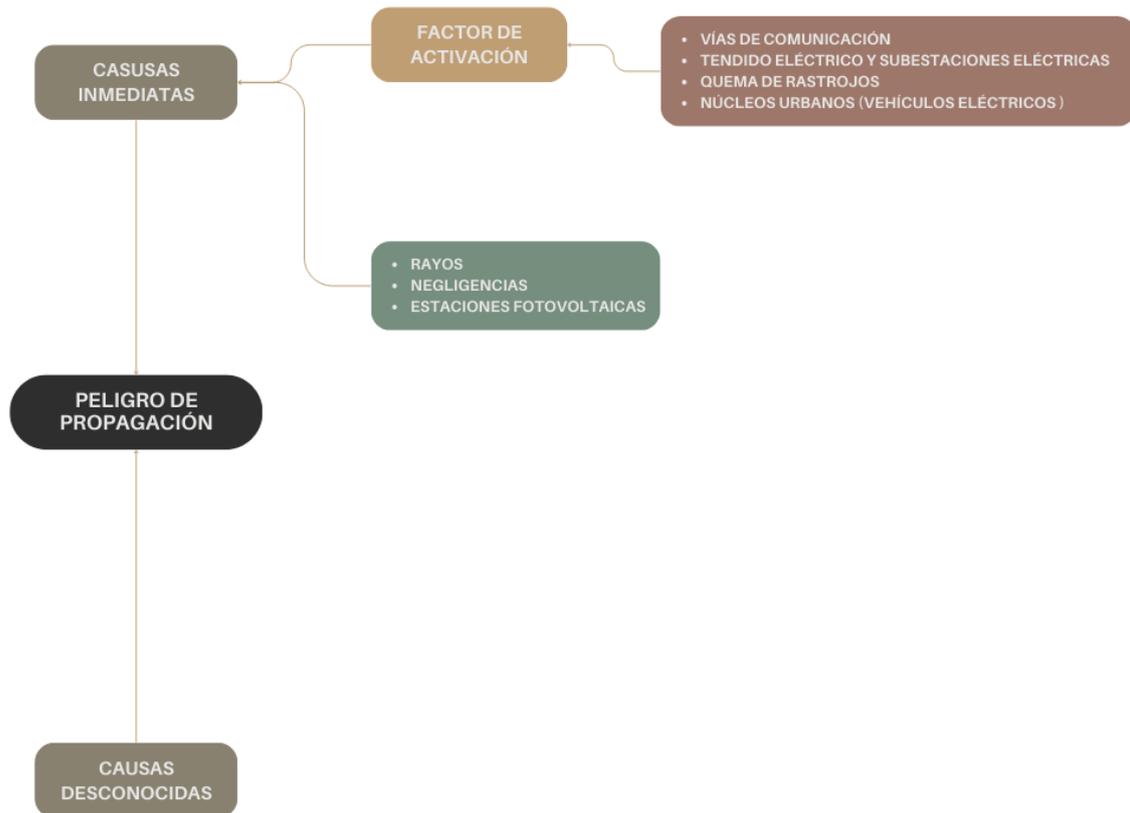


Ilustración 48: Mapa conceptual del peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Causas de activación.

Para evaluar el peligro de ignición, se emplearán datos del libro de (Rubén Garrido Rivero, 2016), criterios propios y la experiencia de un bombero. En primer lugar, se considerarán las vías de comunicación, ya que en estas áreas puede existir el riesgo de que una persona fumadora arroje una colilla encendida desde su vehículo o que ocurra un accidente que provoque un incendio. Para este análisis, se aplicará un buffer de 100 metros alrededor de las vías de comunicación tal y como se muestra en la Ilustración 49.

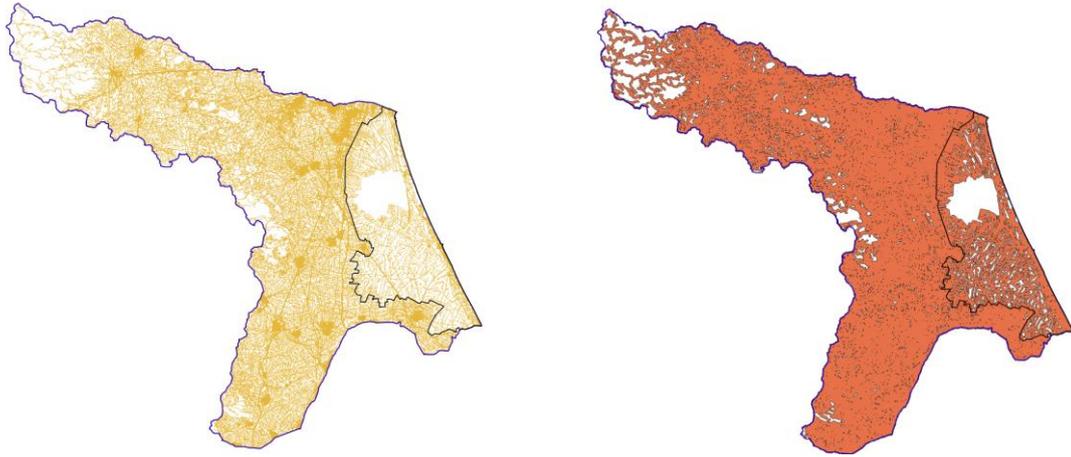


Ilustración 49: Vías de comunicación y buffer de 100 m. Fuente: Elaboración propia.

También se incluirá el análisis del tendido eléctrico además de las subestaciones eléctricas existentes en la zona de estudio (Ilustración 50, ya que un chispazo en la instalación eléctrica podría desencadenar un incendio. Para este caso, se aplicará un buffer de 200 metros alrededor de las líneas eléctricas, utilizando la capa del Sistema de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional (SIGNA).



Ilustración 50: Tendido eléctrico y subestaciones eléctricas, buffer de 200 m. Fuente: Elaboración propia.

Además, se añadirán ubicaciones de quema de rastrojos utilizando la función de análisis vectorial de QGIS para generar puntos aleatorios, es decir, lugares aleatorios donde podría haber quemados de rastrojos fuera de los núcleos de población (Ilustración 51). Se empleará un buffer de 200 m para esos puntos obtenidos ya que poner 500 metros sería excesivo debido a que no hay vegetación muy densa.

También se incluirán los núcleos urbanos, ya que las estaciones de carga de vehículos eléctricos pueden representar un riesgo de incendio debido a posibles fugas térmicas. Para estos núcleos urbanos, se aplicará un buffer de 50 metros alrededor de las áreas de carga de vehículos eléctricos. Sin embargo, dado que los núcleos urbanos ya están completamente abarcados por

la red de carreteras, no se realizará dicho buffer, pero sí se tendrá en cuenta como factor de activación.

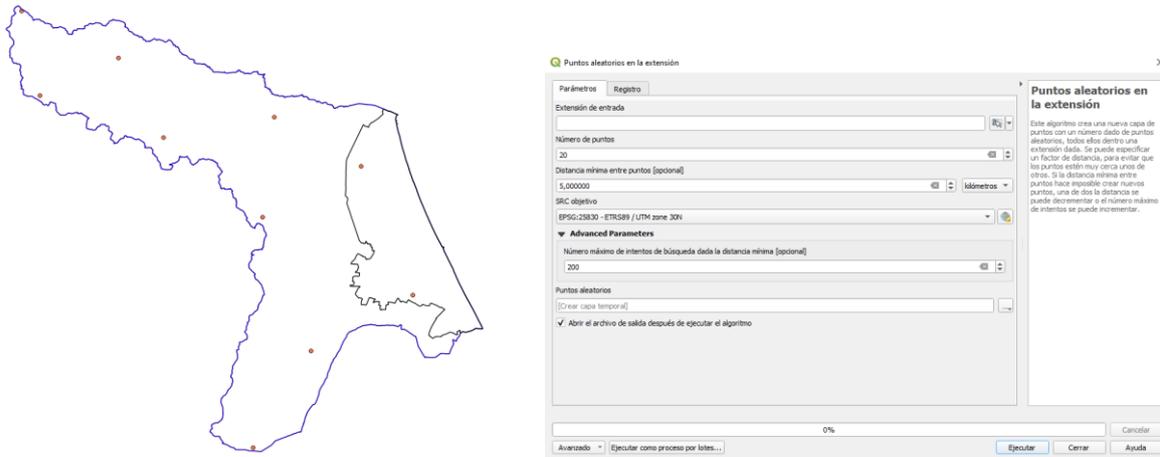


Ilustración 51: Puntos de quema de rastrojos y obtención de dichos puntos. Fuente: Elaboración propia.

Estos factores de activación se añadirán a las causas inmediatas. También es importante considerar que a estas causas inmediatas se suman los factores como la posibilidad de que caiga un rayo durante una tormenta, negligencias humanas e incidentes en estaciones fotovoltaicas. Una vez incorporados estos elementos, se identificarán las causas inmediatas del peligro de ignición. Además, se debe tener en cuenta la presencia de factores de causas desconocidas, que también contribuyen al riesgo de incendio.

Para estudiar el impacto de los rayos, se empleará un método similar al utilizado anteriormente: se ubicarán puntos aleatorios tal y como se puede observar en la Ilustración 52, para simular posibles ubicaciones donde podrían caer rayos; posteriormente se realizará un buffer de 50 metros.

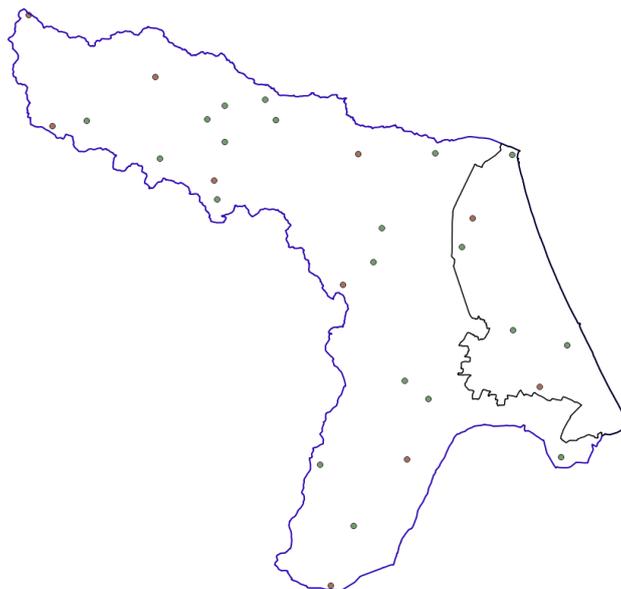


Ilustración 52: Puntos aleatorios para rayos y quema de rastrojos. Fuente: Elaboración propia.

En relación con las estaciones fotovoltaicas, se aplicará un buffer de 200 metros alrededor de cada instalación (Ilustración 53). Este buffer facilitará el análisis de las áreas circundantes que podrían verse afectadas en caso de incidentes en las estaciones, considerando tanto la posibilidad de ignición como la propagación del fuego.

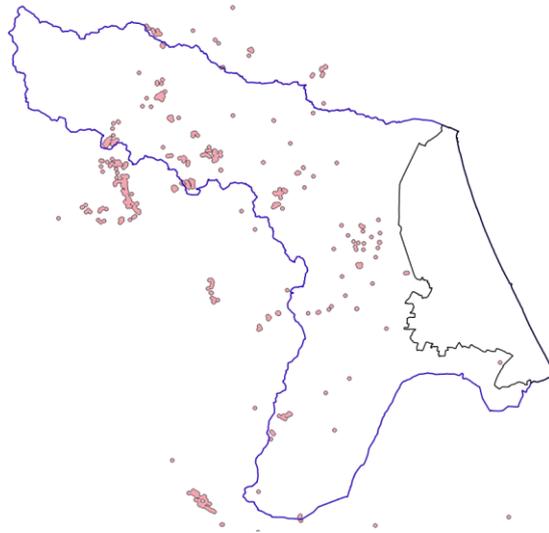


Ilustración 53: Buffer de 200 m de las estaciones fotovoltaicas. Fuente: Elaboración propia.

Por último, las negligencias humanas también expresadas en (Rubén Garrido Rivero, 2016), como dejar objetos inflamables expuestos, podrían desencadenar incendios.

Para evaluar este riesgo, se utilizará un enfoque similar al método empleado para estudiar los impactos de los rayos y también se identificarán áreas específicas donde la negligencia humana podría ser más común.

3.3 Objetivo Específico 3. (Peligro de incendio).

La determinación del peligro de incendio será una combinación de dos objetivos específicos: el peligro de propagación y el peligro de ignición. Esta combinación nos permitirá obtener un análisis completo y detallado del riesgo, evaluando una amplia gama de índices. Al integrar estos factores, lograremos un análisis en profundidad del peligro de incendio, proporcionando así una mejor preparación y respuesta ante posibles riesgos en la zona de estudio.

Se unen todos los datos obtenidos en una misma capa (Ilustración 54), para poder realizar el análisis, aunque esto tampoco sería necesario ya que también se podría hacer mediante el selector de atributos.

Q Peligro_maximo— Objetos Totales: 43749, Filtrados: 43749, Seleccionados: 0

	carrete_pr	UsosMFE	NDMI	Modelo_com	layer	PATFOR	altitud	vent_max	fotovoL_pr	tendido_pr	quema_pre	rayos_pres
1	1	2	5	1	pastos_1	22	500	36	4	2	7	9
2	1	2	5	2	pastos_1	44	600	45	4	2	7	9
3	1	2	5	1	pastos_1	5	550	32	4	2	7	9
4	1	2	5	2	pastos_1	4	400	35.5	4	2	7	9
5	1	2	5	2	pastos_1	5	500	42.7	4	2	7	9
6	1	2	5	1	pastos_1	5	600	42.3	4	2	7	9
7	1	2	5	1	pastos_1	5	540	21.2	4	2	7	9
8	1	2	5	1	pastos_1	5	558	20.3	5	2	7	9
9	1	2	5	2	pastos_1	5	200	28	5	2	7	9
10	1	2	5	2	pastos_1	5	100	44.8	5	2	7	9
11	1	2	4	1	pastos_1	5	832	43.7	5	2	7	9

Mostrar todos los objetos espaciales

Ilustración 54: Tabla de atributos final. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Objetivo Específico 4. (Medidas para la prevención).

Para la prevención de incendios forestales además de emplear criterios propios también se consultará el libro (Rubén Garrido Rivero, 2016), por lo que una de las estrategias clave es la implementación de trabajos y obras preventivas. Estas actividades incluyen diversas acciones que se agrupan en tres áreas principales: selvicultura, infraestructuras e investigación según por lo que principalmente se visualizarán más los apartados de infraestructuras e investigación.

La selvicultura preventiva se enfoca en la creación de estructuras de masas forestales con menor grado de combustibilidad, aumentando así la resistencia del bosque a la propagación del fuego. Esto se logra mediante la provocación de discontinuidades verticales y horizontales en el combustible y la diversificación de las especies forestales, creando áreas menos inflamables.

Las infraestructuras preventivas abarcan la construcción y el mantenimiento de caminos, cortafuegos y áreas de acceso, las cuales facilitan las operaciones de extinción y reducen la continuidad del combustible en el bosque. Además, la investigación es fundamental para entender las causas de los incendios y desarrollar nuevas técnicas y métodos para su prevención.

Dentro de la selvicultura preventiva, se realizan desbroces bajo arbolado y pastoreo controlado. Los desbroces bajo arbolado eliminan la vegetación que compite con las plantas principales y reducen la continuidad horizontal del combustible. Por otro lado, el pastoreo controlado utiliza ganado para mantener el sotobosque, beneficiando la conservación y mejora de los terrenos forestales.

4. Simulación de incendio en la zona de estudio.

Para poder realizar la simulación en la zona de estudio necesitaremos introducir en el programa los siguientes datos que se muestran en la Ilustración 55, para poder realizar un archivo LCP o landscape.

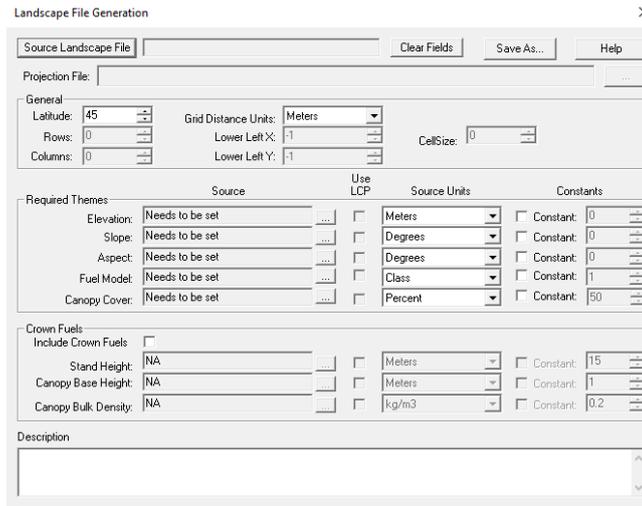


Ilustración 55: Creación del archivo LCP.

El primer paso es la preparación de los datos de entrada. Es esencial obtener información sobre la elevación, la pendiente y el aspecto del terreno. Además, se necesita información precisa sobre el tipo y la distribución de los combustibles vegetales. Es crucial recopilar datos meteorológicos, como la temperatura, la humedad, la velocidad y la dirección del viento. Estos datos generalmente se introducen en formato ASCII, para lo cual se puede utilizar QGIS con la herramienta de traducción (Ilustración 56). Una vez se tienen todos los datos, se introduce un Modelo Digital de Elevación (DEM), mapas de pendientes, orientaciones y el modelo de combustibles. Para el cubrimiento de cobertura vegetal, se establece un valor del 35%.

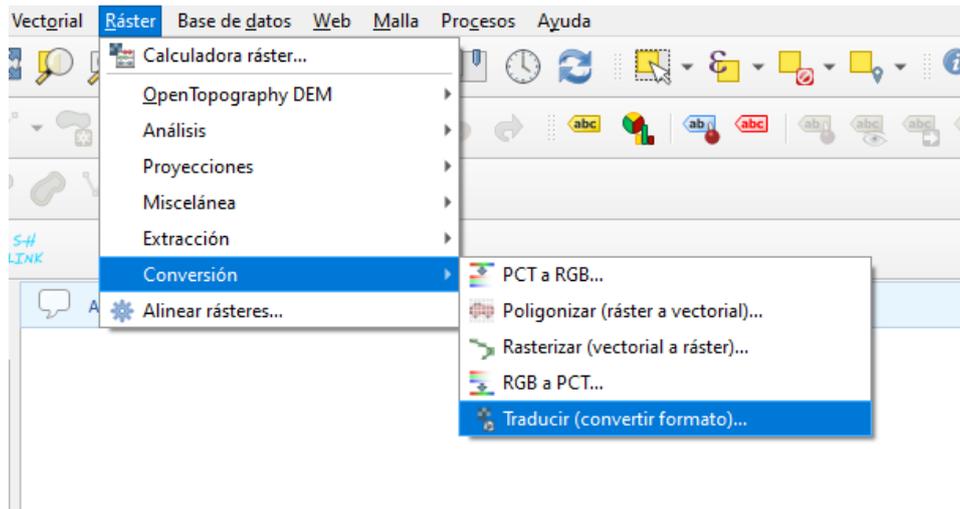


Ilustración 56: Conversión de formatos. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la ejecución de la simulación en FlamMap, el siguiente paso consiste en la creación de una nueva RUN (Ilustración 57). En esta fase, se definen diferentes escenarios de incendio variando las condiciones meteorológicas y de combustibles para analizar diversas situaciones.

Primero, se introduce el nombre de la simulación y se configuran los parámetros del viento, incluyendo la dirección, la velocidad y la opción de usar archivos de viento en red. Luego, se ajustan las características del dosel, como el contenido de humedad foliar y el método de cálculo del fuego en la copa. A continuación, se configuran los ajustes de humedad del combustible, eligiendo entre humedad fija o un flujo de tiempo meteorológico mediante archivos WXS.

También se define el periodo de acondicionamiento de humedad del combustible especificando las fechas y horas de inicio y fin.

Finalmente, se ejecuta el modelo de simulación, lo que permite observar cómo se propaga el fuego en función de los datos y parámetros introducidos.

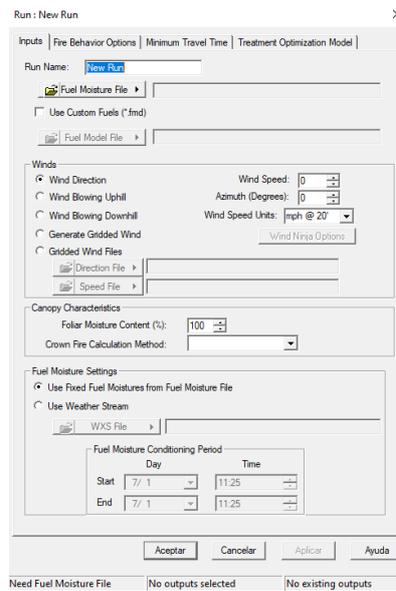


Ilustración 57: Creación de una nueva RUN. Fuente: Elaboración propia.

Por lo que en la Ilustración 58 se ve cómo queda configurado tras introducir los datos la zona de estudio:

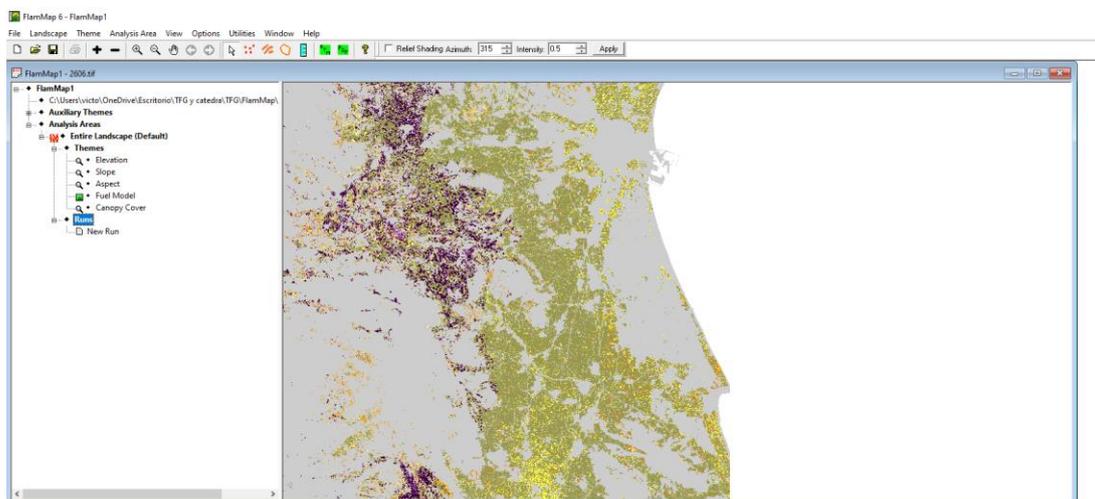


Ilustración 58: Visualización del área a simular. Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados y discusión.

5.1 Resultados peligro de propagación.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis del peligro de propagación.

Para realizar este análisis, se empleó la función de combinar capas vectoriales, seguida por la aplicación de simbología basada en reglas utilizando la herramienta de QGIS.

El análisis se divide en cinco índices de riesgo diferenciados: riesgo muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, según se muestra en las tablas 4-8. Cada uno de estos índices proporciona información crucial para entender la variabilidad del peligro de propagación en diferentes zonas del estudio. La integración de estos índices finaliza en la obtención de un índice final de riesgo en un mapa comparándolo con el área de actuación de los parques de bomberos (Ilustración 59).

1. Riesgo muy alto:

Criterios	Sentencia SQL
NDMI = 4 (indicativo de vegetación muy seca)	"NDMI" = 4
PATFOR > 10 (alta densidad de cobertura vegetal)	"PATFOR" > 10
vent_max > 45 (altos vientos)	"vent_max" > 45
altitud > 500 (áreas montañosas y difíciles de acceder)	"altitud" > 500
layer = 'pastos_1' (indicativo de presencia de pastos)	"layer" = 'pastos_1'

Tabla 4: Método de obtención de peligro de propagación. (Muy alto). Fuente: Elaboración propia.

2. Riesgo alto:

Criterios	Sentencia SQL
UsoFME = 'arbolado' (indicativo de presencia de árboles)	"UsoFME" = 'arbolado'
NDMI = 4 (indicativo de vegetación muy seca)	"NDMI" = 4
layer = 'matorral_2' (indicativo de presencia de matorral)	"layer" = 'matorral_2'
altitud > 500 (áreas montañosas y difíciles de acceder)	"altitud" > 500
vent_max > 30 (altos vientos, umbral menor que en riesgo muy alto)	"vent_max" > 30
PATFOR entre 6 y 10 (alta densidad de cobertura vegetal)	("PATFOR" >= 6 AND "PATFOR" <= 10)

Tabla 5: Método de obtención de peligro de propagación. (Alto). Fuente: Elaboración propia.

3. Riesgo medio:

Criterios	Sentencia SQL
PATFOR entre 2 y 6 (densidad moderada de cobertura vegetal)	("PATFOR" >= 2 AND "PATFOR" <= 6)
vent_max entre 20 y 30 (vientos moderados)	("vent_max" >= 20 AND "vent_max" <= 30)
altitud entre 200 y 500 (áreas menos montañosas y más accesibles)	("altitud" >= 200 AND "altitud" <= 500)
layer igual a 'bosque_sotobosque_3' (presencia de bosque y sotobosque)	"layer" = 'bosque_sotobosque_3'

Tabla 6: Método de obtención de peligro de propagación. (Medio). Fuente: Elaboración propia.

4. Riesgo bajo:

Criterios	Sentencia SQL
PATFOR entre 1 y 2 (baja densidad de cobertura vegetal)	("PATFOR" >= 1 AND "PATFOR" <= 2)
vent_max entre 10 y 20 (vientos moderados)	("vent_max" >= 10 AND "vent_max" <= 20)
altitud entre 0 y 200 (áreas bajas y accesibles)	("altitud" >= 0 AND "altitud" <= 200)

Tabla 7: Método de obtención de peligro de propagación. (Bajo). Fuente: Elaboración propia.

5. Riesgo muy bajo:

Criterios	Sentencia SQL
PATFOR menor que 1 (muy baja densidad de cobertura vegetal)	"PATFOR" < 1

Tabla 8: Método de obtención de peligro de propagación. (Muy bajo). Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo:

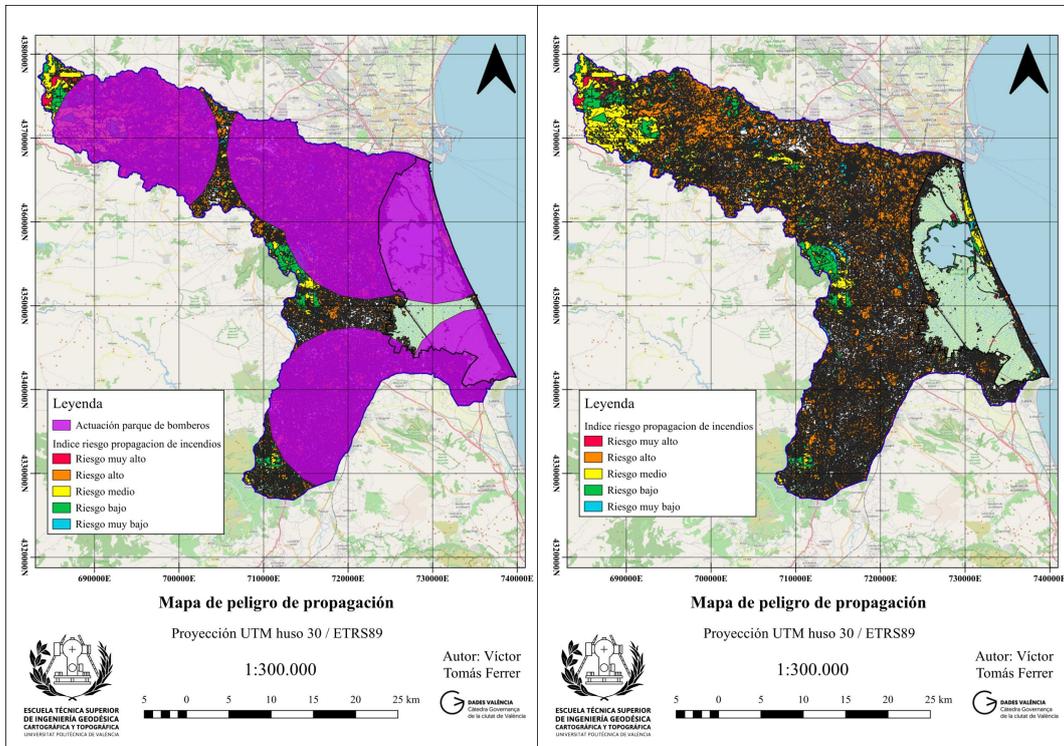


Ilustración 59: Mapa de peligro de propagación con y sin buffer. Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resultados peligro de ignición.

Para obtener finalmente el peligro de ignición, se realiza mediante la superposición de cinco capas diferentes en el software QGIS.

Las capas empleadas incluyen un buffer de carreteras, un buffer de rayos, un buffer de plantas fotovoltaicas, un buffer de zonas de quema de rastrojos y un buffer de tendido eléctrico (visto como se ha obtenido en el apartado 3.2.1).

La metodología se basa en la generación de índices de riesgo de incendio según el grado de superposición de estas capas. Para determinar el nivel de riesgo, se ha establecido que una superposición de las ubicaciones de las plantas fotovoltaicas y del tendido eléctrico con las subestaciones eléctricas y con las carreteras representa un riesgo máximo, debido a la mayor confluencia de factores de ignición.

Posteriormente, se considera que la superposición del tendido eléctrico con las carreteras implica un riesgo alto. Los factores que no presentan superposición se han clasificado a criterio propio, quedando el riesgo medio para la unión de rayos y quema de rastrojos (realizando una unión de ambas capas en una sola), el riesgo bajo para solo la ubicación de las plantas fotovoltaicas y el riesgo muy bajo para solo las carreteras, que, por su mayor extensión territorial, constituyen la capa con menor riesgo individual; teniendo como resultado la ilustración 60.

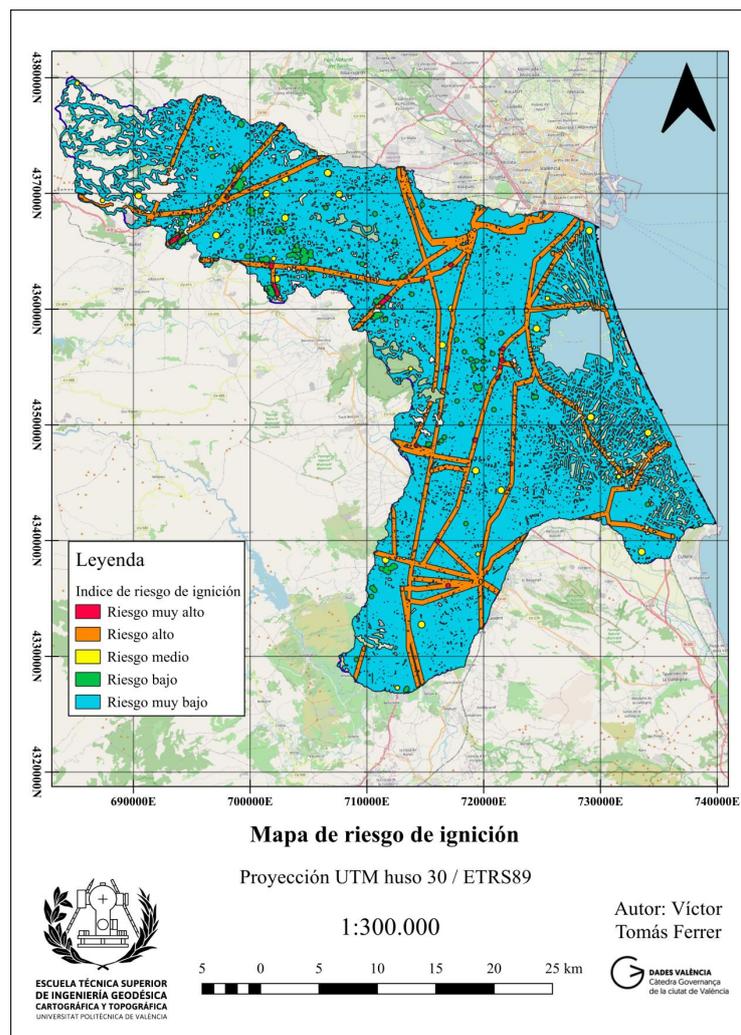


Ilustración 60: Riesgo de ignición. Fuente: Elaboración propia.

5.3 Resultado peligro de incendios.

Como se ha comentado en el apartado 3.3, para poder obtener el resultado de peligro de incendio se han combinado todas las capas en una sola para evaluarlo de igual forma que se ha evaluado el peligro de propagación.

Se emplea también la herramienta de unión, y se hace un análisis para asignar los valores basado en reglas, siendo este el más complejo, ya que están todas las capas juntas en una sola.

Se han identificado seis niveles de peligro, desde peligro máximo hasta peligro bajo. Estos índices se han determinado mediante criterio propio y sirven para determinar el riesgo máximo (Rubén Garrido Rivero, 2016). Se ha realizado una selección basada en atributos, considerando tanto el peligro de propagación como el de ignición. Así, se selecciona el riesgo de propagación muy alto y se le añade la superposición obtenida del peligro de ignición. En este mapa se obtienen seis valores, siendo el último el de peligro bajo en las carreteras, ya que esta capa abarca la mayor zona del estudio y muy bajo la capa de PATFOR menor que 2.

Teniendo como resultado los mapas que se muestran en la Ilustración 61 y 62.

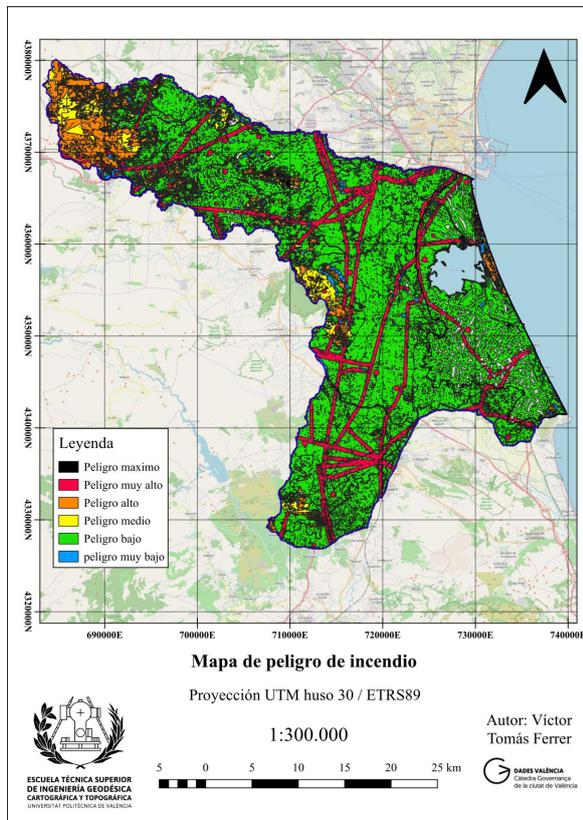


Ilustración 61: Peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.

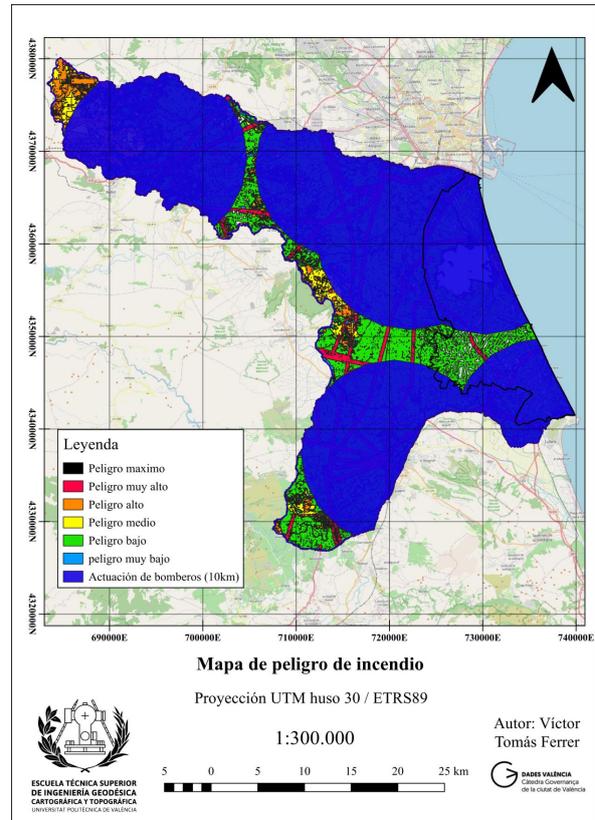


Ilustración 62: Actuación de bomberos con peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.

5.4 Resultado de la simulación.

Para la zona de estudio, se ha seleccionado un área en la que el peligro de incendio es máximo. En esta ubicación se llevará a cabo la simulación del incendio, siendo la zona especificada la de la Ilustración 63.



Ilustración 63: Zona a realizar la simulación. Fuente: Elaboración propia.

Dicha zona se encuentra en la parte superior del límite del PORN, presentando un riesgo de incendio máximo y muy alto. Además, el riesgo alto cubre casi toda la ortofoto. Por lo tanto, para los datos mencionados anteriormente en el apartado 4, se debe realizar un recorte de esta zona.

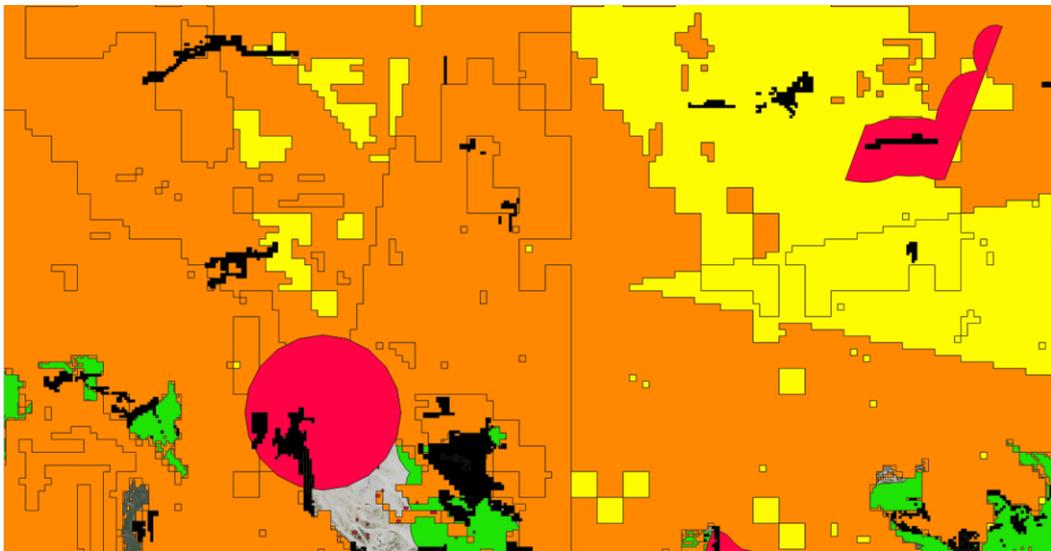


Ilustración 64: Visualización de los factores del peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.

Las zonas que se quemarían si se propagase el incendio son las que se pueden ver en la Ilustración 65. Además, se quemaría un área de 86.85 hectáreas, considerando que los servicios de extinción de incendios no actuaran. Esto generaría una emisión de aproximadamente 1302.75 toneladas de CO₂ y nos quedaríamos sin una parte importante de la fauna y flora. También afectaría a un municipio cercano, provocando incluso un desalojo.



Ilustración 65: Zonas quemadas. Fuente: Elaboración propia.

Y las direcciones que sigue el incendio son las siguientes; teniendo en cuenta que el punto azul es el inicio del incendio (Ilustración 66).

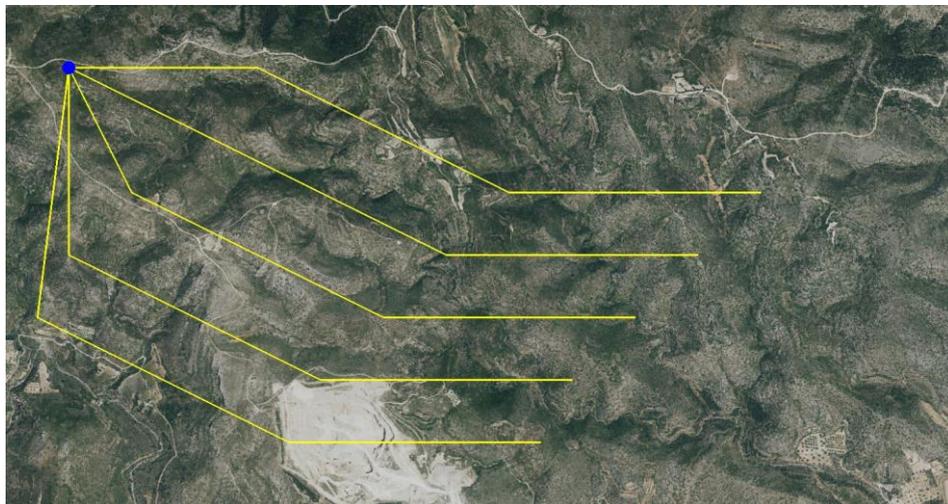


Ilustración 66: Direcciones del incendio. Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones.

El trabajo de fin de grado ha identificado con precisión las áreas de mayor riesgo de incendios en la Albufera de Valencia, combinando datos sobre la propagación e ignición del fuego.

Utilizando herramientas de código abierto como Google Earth Engine, QGIS y FlamMap, se integraron datos meteorológicos, de vegetación y topográficos para modelar el riesgo de incendios de manera efectiva.

Se ha evaluado el peligro de ignición mediante indicadores específicos.

Los resultados muestran cómo el cambio climático aumenta la inflamabilidad de la vegetación, especialmente durante los veranos más calurosos y secos, incrementando la probabilidad de incendios.

La teledetección y el análisis de imágenes satelitales han sido cruciales para detectar niveles de humedad y zonas secas, lo que facilita la planificación de medidas preventivas y de respuesta. La colaboración con instituciones y el uso de datos abiertos han sido esenciales para realizar este estudio sin incurrir en costos adicionales significativos.

Por último, se ha realizado una simulación de un incendio forestal en la zona de estudio proporcionando información crucial para la planificación y actuación en caso de que se produzca uno.

Las recomendaciones incluyen la implementación de trabajos preventivos, como la creación de cortafuegos y la mejora de infraestructuras de respuesta, asegurando una gestión más efectiva y sostenible de los recursos naturales. Aunque el enfoque se ha centrado en la Albufera de Valencia, la metodología utilizada puede aplicarse a otras regiones con riesgos similares, contribuyendo a una mejor gestión ambiental a nivel global y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

7. Presupuesto y gestión del tiempo.

Para la elaboración del presupuesto del proyecto, se tendrán en cuenta los costes directos asociados. Estos incluyen el salario del técnico encargado del proyecto y el software utilizado, sin considerar costes adicionales para la obtención de datos, ya que estos son de uso gratuito y de libre disposición.

El software empleado en el proyecto ha sido de código abierto, incluyendo Google Earth Engine, QGIS y FlamMap. Los datos empleados son accesibles públicamente, ya que se trata de datos abiertos.

En cuanto al salario del técnico competente, se establece conforme al Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería, oficinas de estudios técnicos, inspección, supervisión y control técnico y de calidad, aprobado a principios de 2023 y publicado en el BOE. Para la realización de este proyecto en 2024, se tomará como referencia la tabla salarial más reciente publicada en 2023.

De acuerdo con esta clasificación, el técnico competente, en este caso un Ingeniero graduado en Ingeniería Geomática, Topográfica y Cartográfica, pertenecería al nivel II, cobrando un salario bruto anual de 25.303,12 €.

Para la empresa, el empleado supone un gasto en seguridad social, que es de un 40% del salario bruto anual, en este caso, 10.121,25 €. De esta manera, a la empresa le supone un gasto total de 35.424,37 €.

El gasto que un empleado genera en la empresa es de 16,10 € la hora, si dividimos el sueldo bruto anual entre los 11 meses de trabajo, los 20 días laborables al mes y las jornadas de 8 horas diarias.

El Trabajo de Fin de Grado (TFG) equivale a 12 créditos, lo que corresponde 300 horas de trabajo (1 crédito ECTS equivale 25 horas de trabajo). Una vez contabilizadas las horas de trabajo empleadas en la realización del proyecto, se obtiene que se ha empleado un total de 300 horas. Así, los gastos referentes al ingeniero encargado del proyecto son de 4.830,00 €.

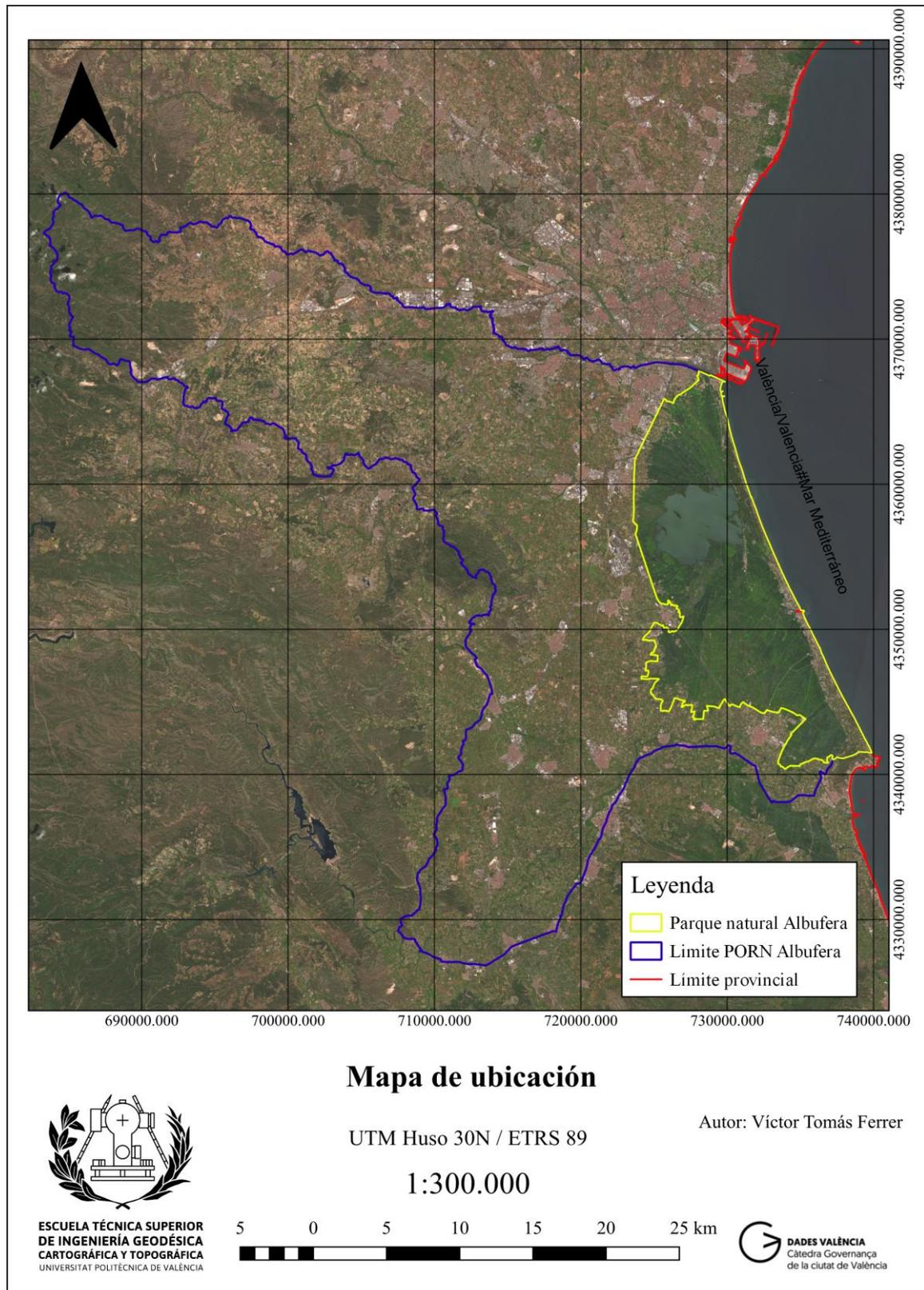
Tabla 9: Salarios según Convenio. Fuente: BOE (2024)

Nivel	Categoría	Salario Base (€/mes)	Plus Actividad (€/mes)	Plus Extrasalarial (€/mes)	Total, Retribución Mensual (€/mes)	Pagas Extra (€/año)	Total, Anual (€/año)
II	Ingeniero Superior	1.340,91	459,74	185,11	1.985,76	2	25.303,12
III	Ingeniero Técnico de Obras Públicas	1.094,57	427,85	185,11	1.707,53	2	21.590,36
IV	Jefe de Personal	1.068,39	427,15	185,11	1.680,65	2	21.368,32
V	Jefe de Administración de Segunda	1.000,21	410,40	185,11	1.595,72	2	20.148,64
VI	Oficial Administrativo de Primera	884,93	404,99	185,11	1.475,03	2	18.600,36
VII	Delineante de Segunda	869,16	349,67	185,11	1.403,94	2	16.847,28
VIII	Oficial Administrativo de Segunda	848,23	344,53	185,11	1.377,87	2	16.534,44
IX	Auxiliar Administrativo	806,32	317,09	185,11	1.308,52	2	15.702,24
X	Auxiliar de Laboratorio	790,57	285,41	185,11	1.261,09	2	15.133,08

Nivel Categoría	Salario Base (€/mes)	Plus Actividad (€/mes)	Plus Extrasalarial (€/mes)	Total, Retribución Mensual (€/mes)	Pagas Extra (€/año)	Total, Anual (€/año)
XI Peón Especializado	859,71	267,61	148,08	1.275,40	2	15.304,80

Por último, La gestión del tiempo del Trabajo de Fin de Grado (TFG), equivalente a 12 créditos ECTS o 300 horas de trabajo, se ha distribuido de la siguiente manera: 20 horas para la planificación y definición del proyecto, 50 horas para la recopilación de datos, 80 horas para el desarrollo de la metodología, 70 horas para el análisis de datos, 60 horas para la redacción del informe final y 20 horas para la preparación de la presentación.

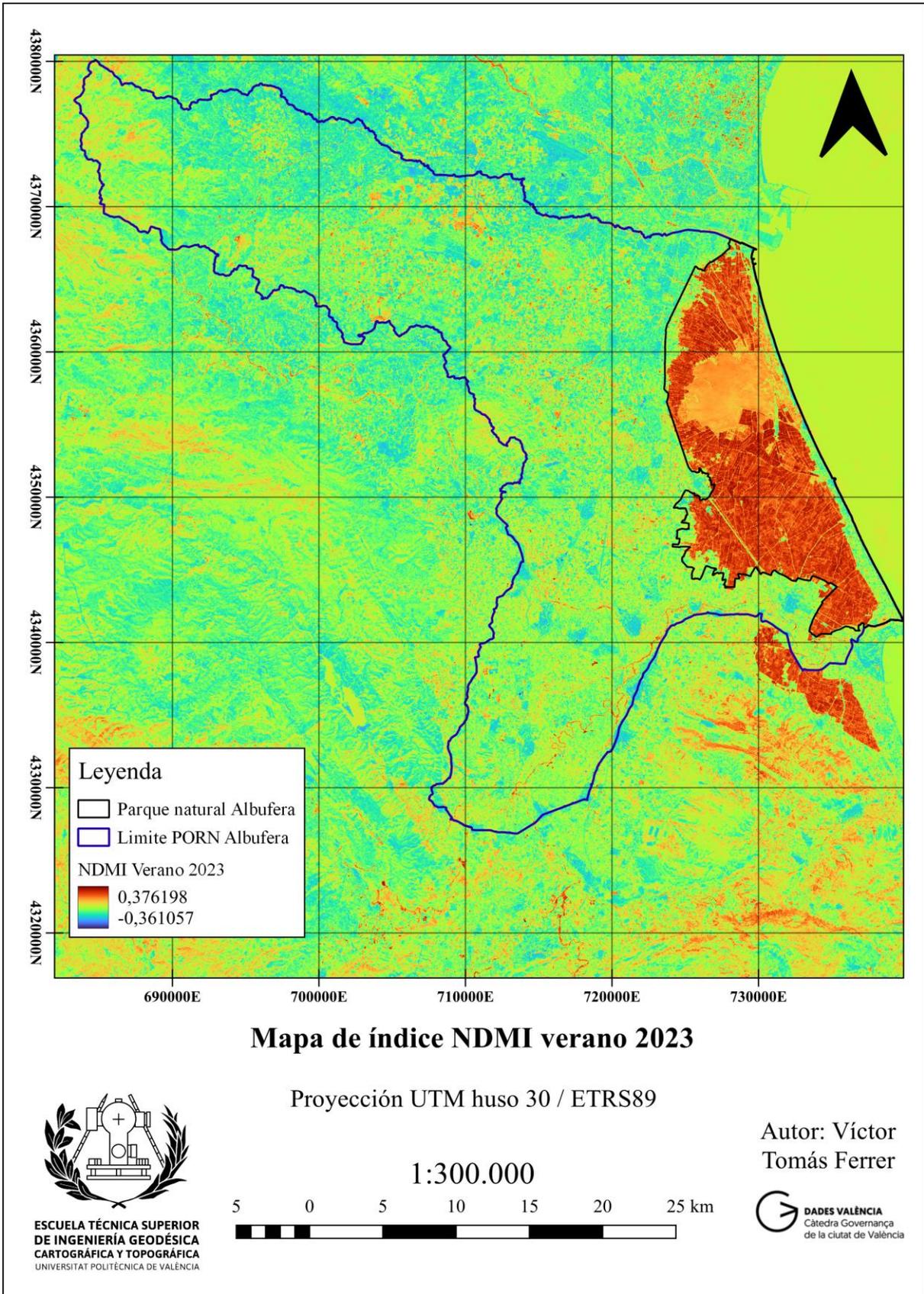
8. Mapas y anejos.



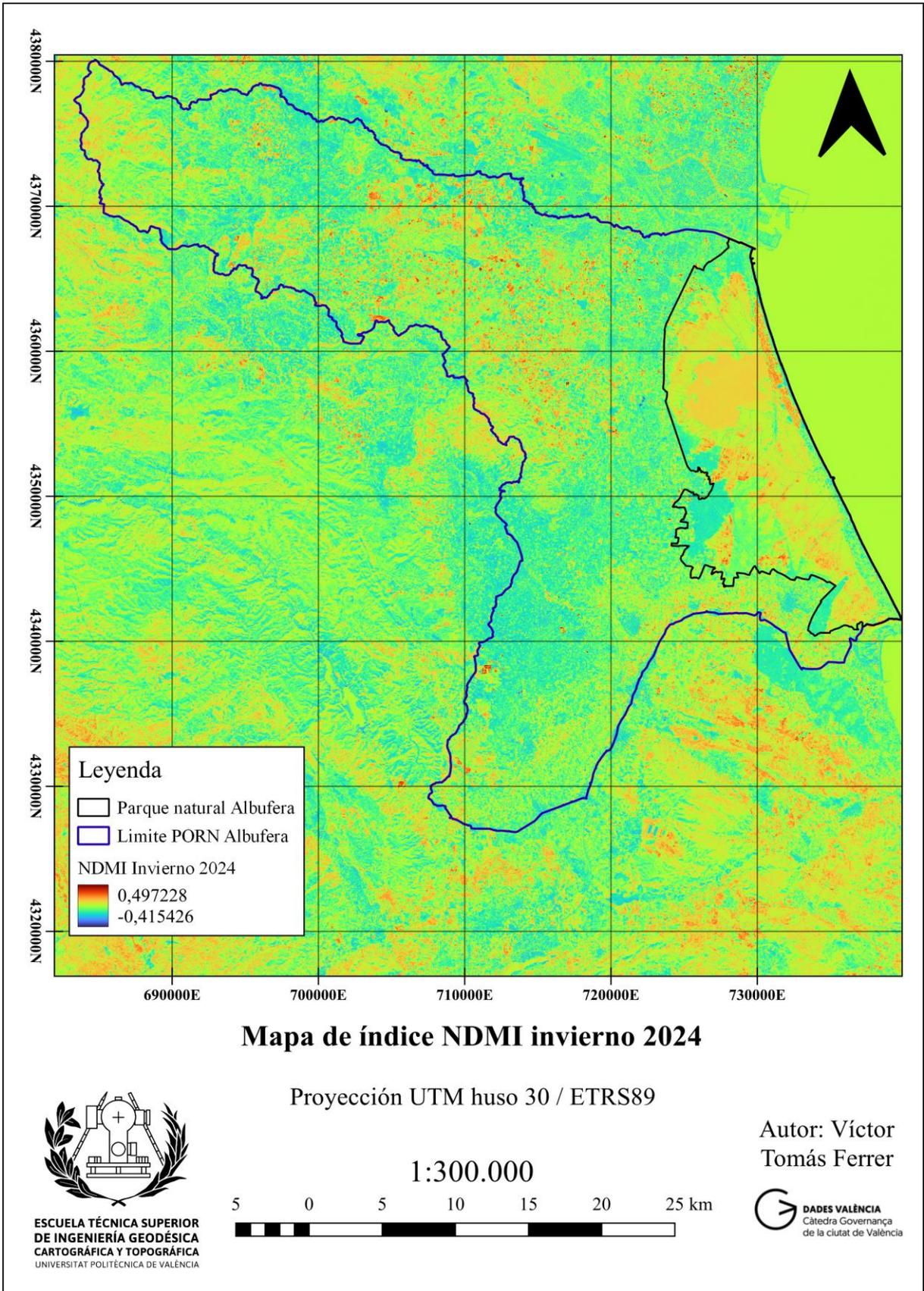
Mapa 1: Ubicación y delimitación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.



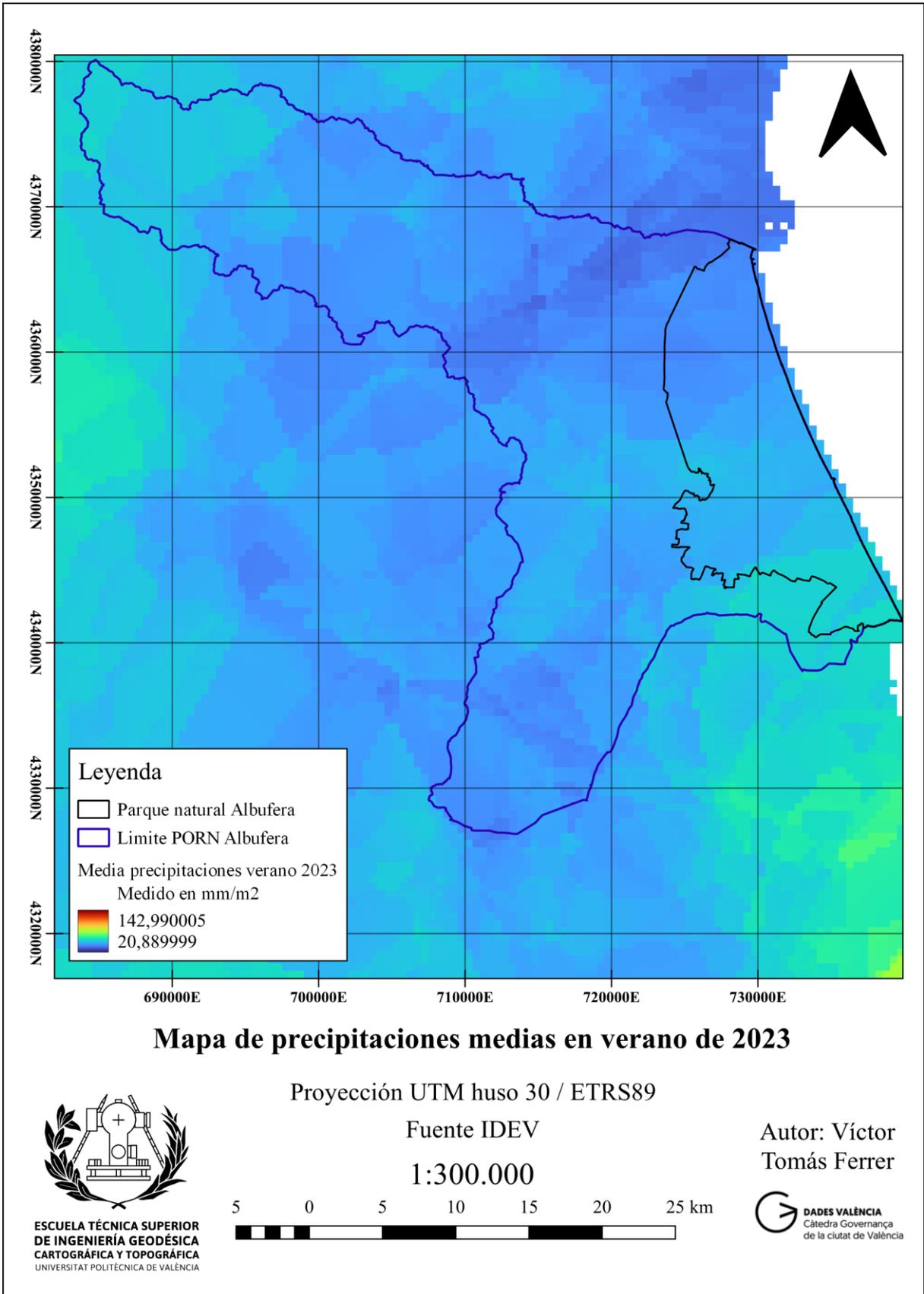
Mapa 2: Ubicación de la zona de estudio en España. Fuente: Elaboración propia.



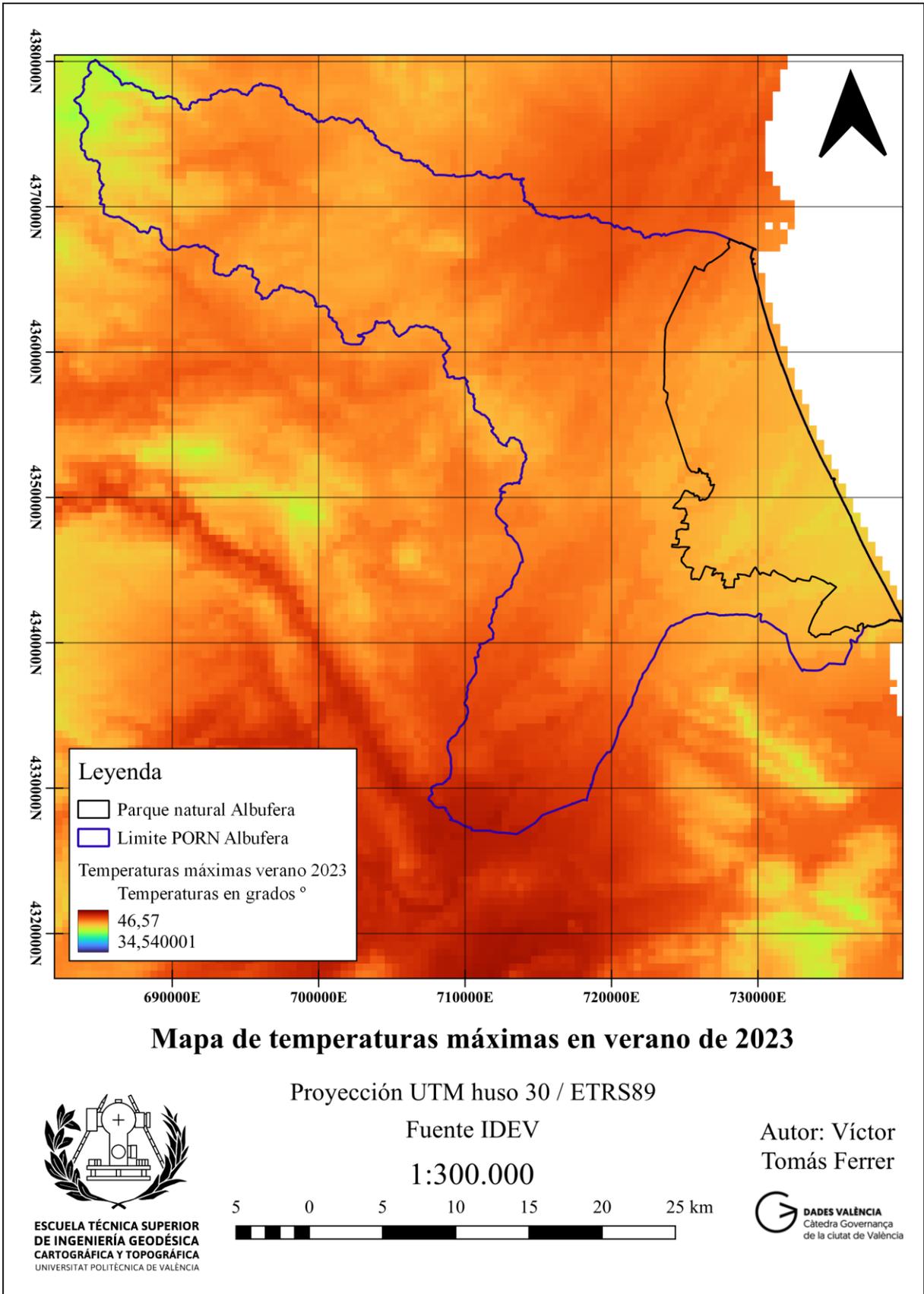
Mapa 3: NDMI verano 2023. Fuente: Elaboración propia.



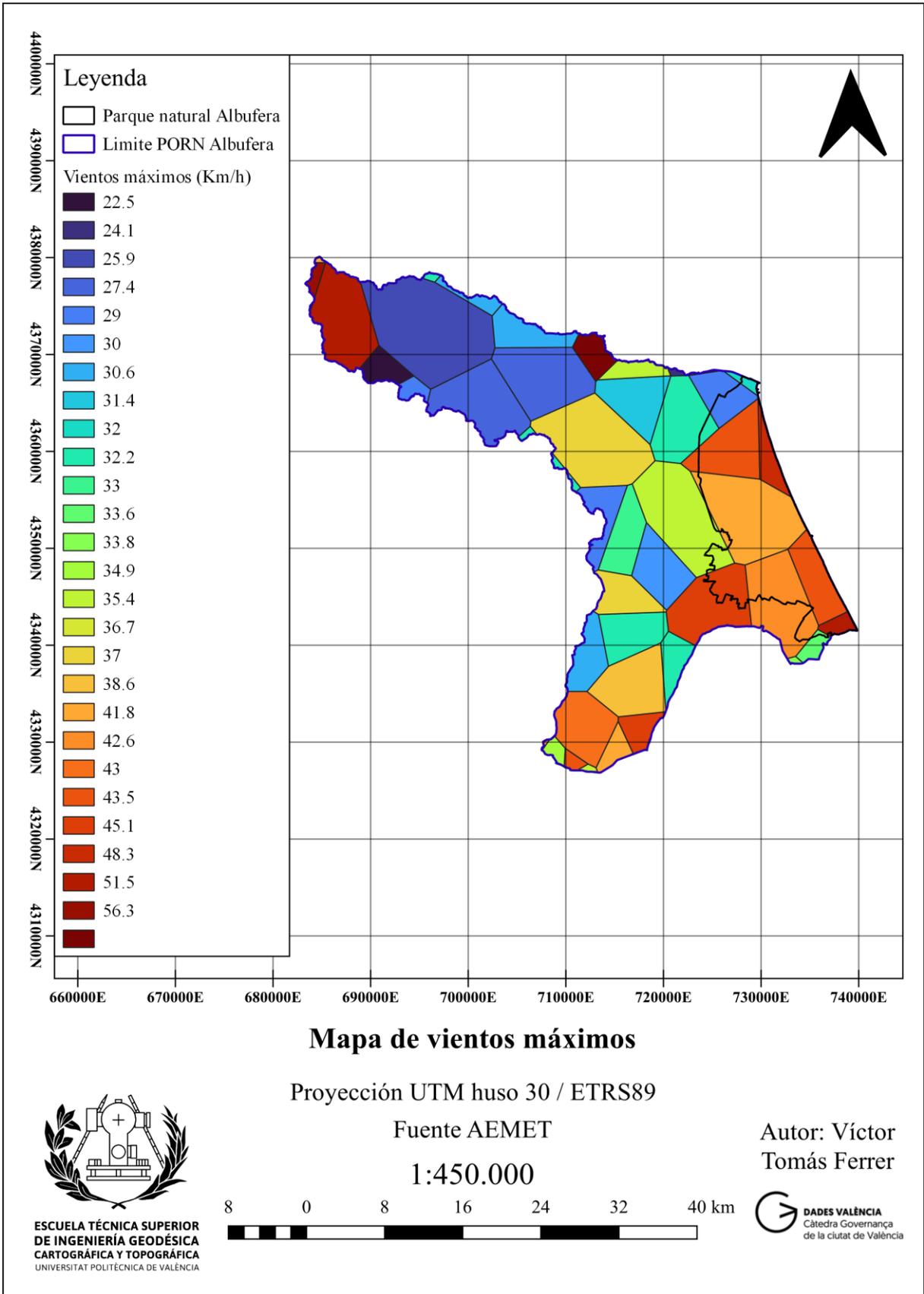
Mapa 4: NDMI invierno 2024. Fuente: Elaboración propia.



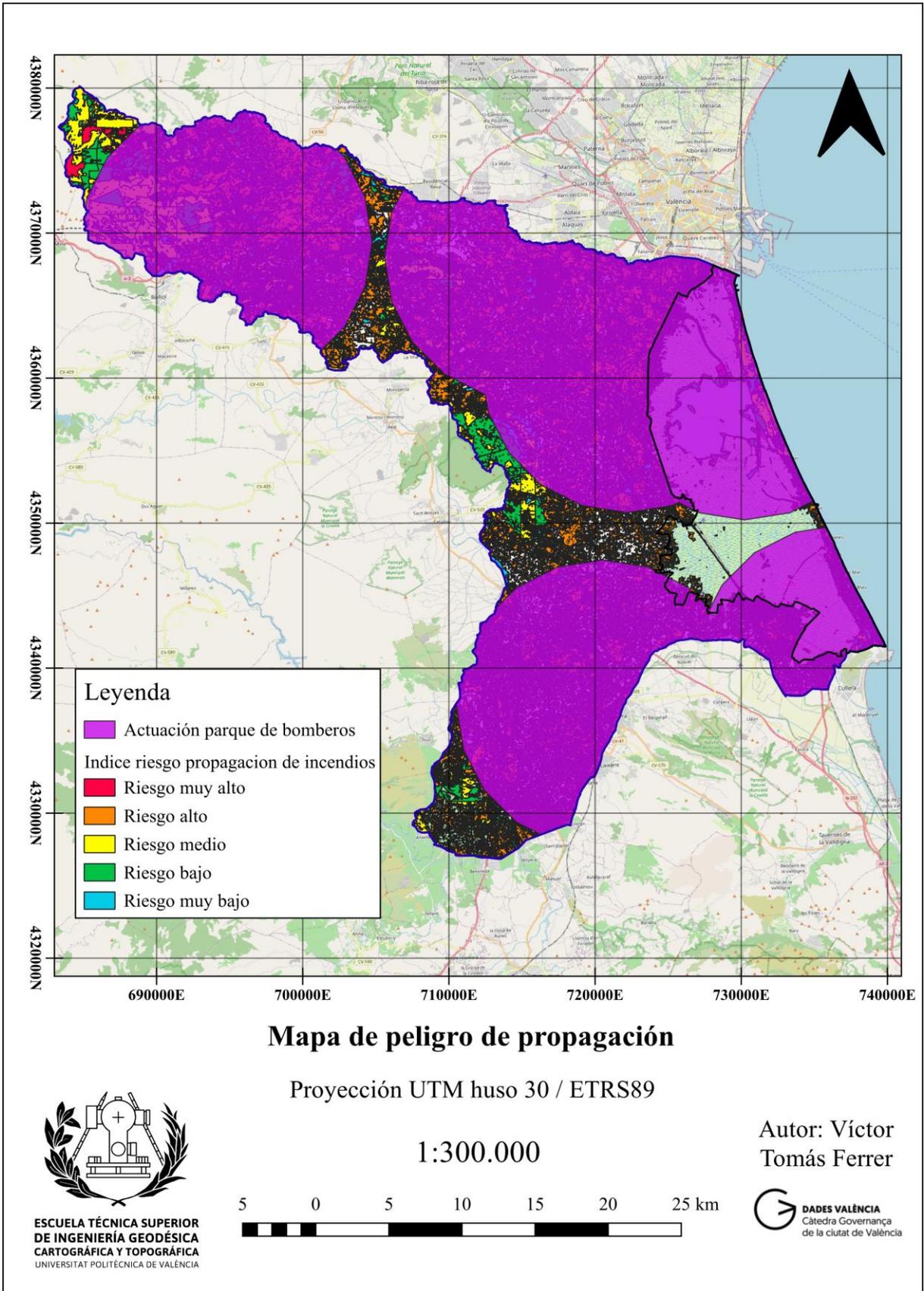
Mapa 5: Precipitaciones medias verano de 2023. Fuente: Elaboración propia.



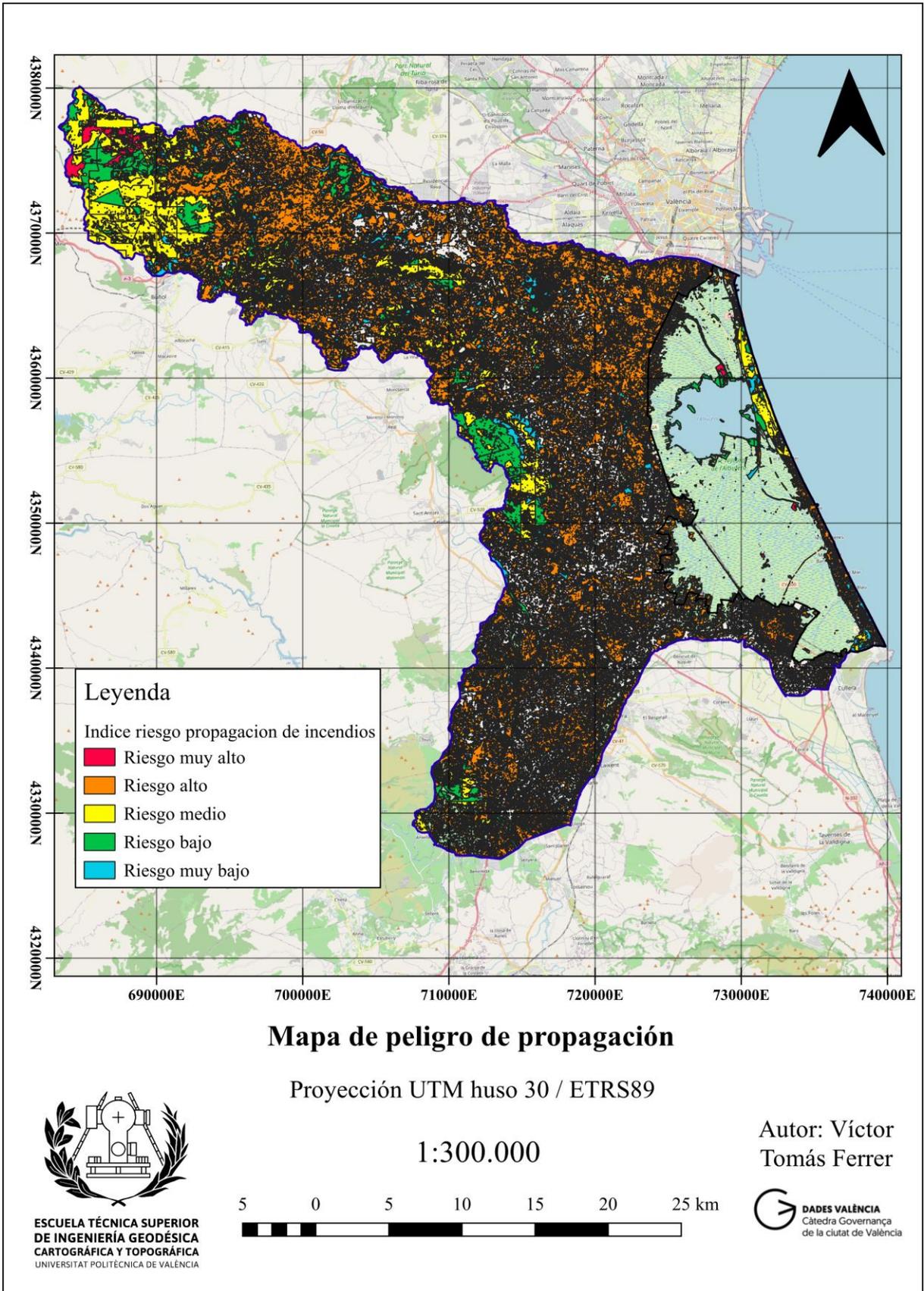
Mapa 6: Temperaturas máximas en verano de 2023. Fuente: Elaboración propia.



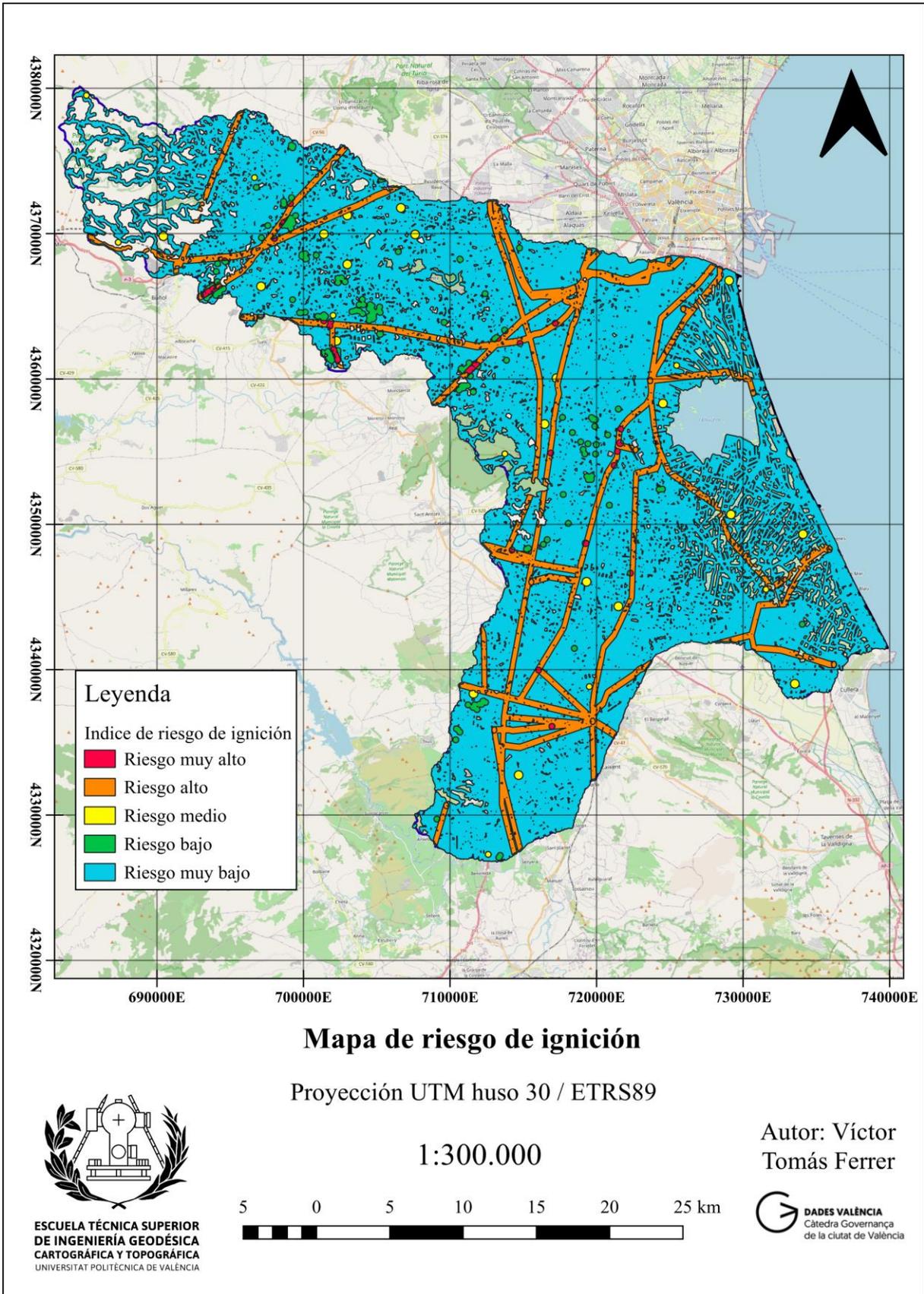
Mapa 7: Vientos. Fuente: Elaboración propia.



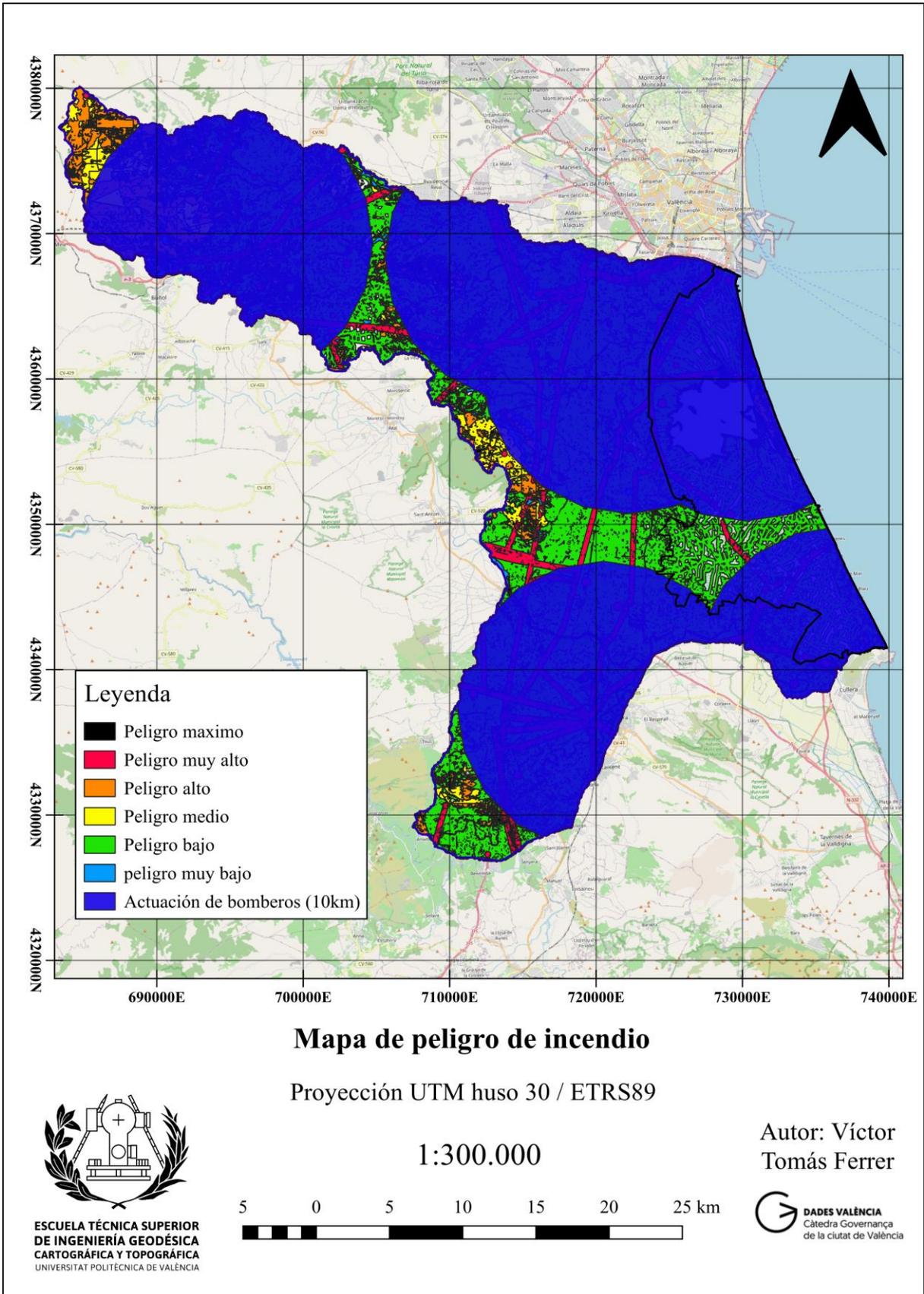
Mapa 8: Peligro de propagación con área de actuación de bomberos. Fuente: Elaboración propia.



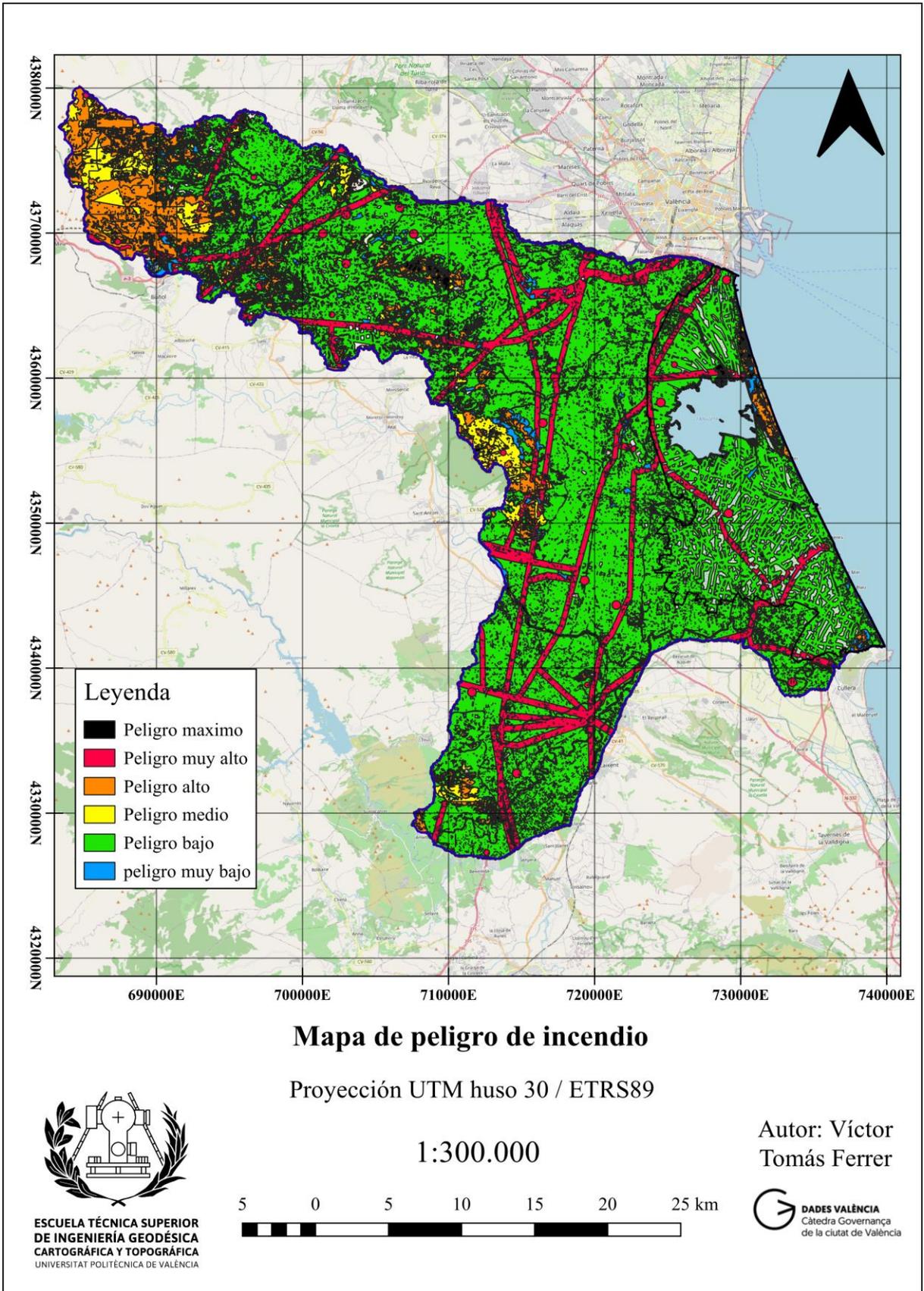
Mapa 9: Peligro de propagación. Fuente: Elaboración propia.



Mapa 10: riesgo de ignición. Fuente: Elaboración propia.



Mapa 11: Peligro de incendio con área de actuación de bomberos. Fuente: Elaboración propia.



Mapa 12: peligro de incendio. Fuente: Elaboración propia.

9. Códigos empleados.

Códigos para obtener las imágenes de Sentinel 2 para verano de 2023, para invierno de 2024 y para obtener el MDE en Google Earth Engine.

Verano de 2023:

```
1) // Define la región de interés (ROI)
2) var albufera ;

3) // Función para enmascarar nubes y píxeles de cirro
4) function maskAllClouds(image) {
5)   var qa = image.select('QA60');
6)   var cloudBitMask = 1 << 10;
7)   var cirrusBitMask = 1 << 11;
8)   var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
9)   .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
10)  return image.updateMask(mask);
11) }

12) // Define las fechas para el verano de 2023
13) var fechaInicial = ee.Date.fromYMD(2023, 6, 1);
14) var fechaFinal = ee.Date.fromYMD(2023, 8, 31);

15) // Filtrar la colección de Sentinel-2, aplicar la máscara de nubes y seleccionar las
    // bandas necesarias
16) var coleccionFiltrada = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
17)   .filterDate(fechaInicial, fechaFinal)
18)   .filterBounds(albufera)
19)   .map(maskAllClouds)
20)   .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));

21) // Seleccionar las bandas 'B2', 'B3', 'B4', 'B8' y 'B11' y crear un mosaico
22) var bandas = coleccionFiltrada.select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8', 'B11']);
23) var mosaicoVerano = bandas.median();

24) // Agregar el mosaico al mapa
25) Map.centerObject(albufera, 10); // Ajusta el nivel de zoom según sea necesario
26) Map.addLayer(mosaicoVerano.clip(albufera), {min: 0, max: 3000}, 'Mosaico Verano
    2023');

27) // Exportar la imagen a Google Drive con la máxima resolución
28) Export.image.toDrive({
29)   image: mosaicoVerano.clip(albufera), // Asegura que la región de interés esté
    // correctamente aplicada
30)   description: 'Mosaico_Verano_2023',
31)   folder: 'EE_Imágenes', // Carpeta en tu Google Drive donde se guardarán las imágenes
```

```

32) fileNamePrefix: 'Mosaico_Verano_2023', // Prefijo del nombre del archivo
33) scale: 10, // Escala de la imagen en metros (máxima resolución)
34) region: albufera, // Región de interés
35) maxPixels: 1e10 // Máximo de píxeles permitidos
36) });

```

Invierno de 2024:

```

1) // Define la región de interés (ROI)
2) var albufera ;

3) // Función para enmascarar nubes y píxeles de cirro
4) function maskAllClouds(image) {
5) var qa = image.select('QA60');
6) var cloudBitMask = 1 << 10;
7) var cirrusBitMask = 1 << 11;
8) var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
   a. .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
9) return image.updateMask(mask);
10) }

11) // Define las fechas para el invierno de 2024
12) var fechaInicial = ee.Date.fromYMD(2023, 12, 1);
13) var fechaFinal = ee.Date.fromYMD(2024, 2, 28);

14) // Filtrar la colección de Sentinel-2, aplicar la máscara de nubes y seleccionar las
    bandas necesarias
15) var coleccionFiltrada = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
16) .filterDate(fechaInicial, fechaFinal)
17) .filterBounds(albufera)
18) .map(maskAllClouds)
19) .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));

20) // Seleccionar las bandas 'B2', 'B3', 'B4', 'B8' y 'B11' y crear un mosaico
21) var bandas = coleccionFiltrada.select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8', 'B11']);
22) var mosaicoInvierno = bandas.median();
23) // Agregar el mosaico al mapa
24) Map.centerObject(albufera, 10); // Ajusta el nivel de zoom según sea necesario
25) Map.addLayer(mosaicoInvierno.clip(albufera), {min: 0, max: 3000}, 'Mosaico
    Invierno 2024');

26) // Exportar la imagen a Google Drive con la máxima resolución
27) Export.image.toDrive({
28) image: mosaicoInvierno.clip(albufera), // Asegura que la región de interés esté
    correctamente aplicada
29) description: 'Mosaico_Invierno_2024',
30) folder: 'EE_Images', // Carpeta en tu Google Drive donde se guardarán las imágenes
31) fileNamePrefix: 'Mosaico_Invierno_2024', // Prefijo del nombre del archivo

```

```
32) scale: 10, // Escala de la imagen en metros (máxima resolución)
33) region: albufera, // Región de interés
34) maxPixels: 1e10 // Máximo de píxeles permitidos
35) });
```

MDE:

```
1) // Cargar el conjunto de datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)
2) var srtm = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003');

3) // Definir la región de interés, en este caso, usando el polígono 'albufera' importado
4) var region = albufera; // Asegúrate de que 'albufera' esté definido en los imports

5) // Recortar el MDE a la región de interés
6) var srtmClipped = srtm.clip(region);

7) // Visualización de parámetros
8) var visParams = {
9) min: 0,
10) max: 3000,
11) palette: ['blue', 'cyan', 'green', 'yellow', 'brown', 'white']
12) };

13) // Agregar el MDE al mapa
14) Map.centerObject(region, 10); // Centrar el mapa en la región de interés
15) Map.addLayer(srtmClipped, visParams, 'SRTM DEM');

16) // Exportar el MDE recortado a Google Drive
17) Export.image.toDrive({
18) image: srtmClipped,
19) description: 'SRTM_DEM',
20) folder: 'EE_Images', // Carpeta en tu Google Drive donde se guardarán las imágenes
21) fileNamePrefix: 'SRTM_DEM', // Prefijo del nombre del archivo
22) scale: 30, // Resolución espacial en metros
23) region: region, // Región de interés
24) maxPixels: 1e10 // Máximo de píxeles permitidos
25) });
```

10. Bibliografía.

(n.d.).

AEMET. (n.d.). Retrieved from

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/servicios/estadisticas/files-1/Estadisticas/23097%20IMS%20FWI_V_Intermedia_13_07_2021.pdf

ar, A. g. (n.d.). Retrieved from

<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuego/conocemas/variables#:~:text=de%20un%20incendio.-,Altura,suelo%20cambian%20con%20la%20altura>

BOMBEROS, C. D. (n.d.). Retrieved from https://www.bombersdv.es/wp-content/uploads/2016/08/5_-INCENDIOS-FORESTALES.pdf

bosques, S. I. (n.d.). Retrieved from <https://salvemoslosbosques.com/conservacion-ambiental/puede-una-colilla-provocar-un-incendio/#:~:text=Las%20colillas%20son%20tanto%20más,e%20incluso%20mortales%20cada%20año.>

C, O. (n.d.). Retrieved from

https://www.congreso.es/docu/ofic_ciencia/OFICINAC_Incendios-forestales_20231214_web.pdf

CSIG. (2022, Julio 6). Retrieved from <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/el-cambio-climatico-aumenta-el-riesgo-de-incendios-forestales>

EOS. (n.d.). *Analisis NDMI*. Retrieved from <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/>

GVA. (n.d.). *Descarga de datos*. Retrieved from

https://geocataleg.gva.es/#/results/espacios_protegidos

GVA. (n.d.). *Mapa forestal*. Retrieved from - https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe_comunidadvalenciana.html

GVA. (n.d.). *Modelo de combustible*. Retrieved from -

<https://cjusticia.gva.es/es/web/prevencion-de-incendios/models-de-combustible>

GVA, V. (n.d.). *Descarga de datos*. Retrieved from

<https://visor.gva.es/visor/?extension=276888,4152982,1154794,4582503&nivelZoom=8&capasids=Imagen;&tcapas=1.0&idioma=es>

ICV. (n.d.). *Datos sobre temperaturas y precipitaciones*. Retrieved from -

https://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spaicv0507_c_c_proyclima_a1b

IGN. (n.d.). *Tendido eléctrico*. Retrieved from <https://signa.ign.es/signa/>

Institute, W. R. (n.d.). Retrieved from <https://es.wri.org/insights/los-ultimos-datos-lo-confirman-los-incendios-forestales-estan-empeorando#:~:text=El%20cambio%20climático%20es%20uno,que%20el%20planeta%20continúa%20calentándose>

Juli G. Pausas, i. d. (n.d.).

L'ALBUFERA. (n.d.). Retrieved from <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/l-albufera-53348>

- Marcelo. (n.d.). *Principios de la teledetección*. Retrieved from -
<https://marceloyopez9.wixsite.com/unisig/single-post/2018/04/15/principios-de-la-teledeteccion>
- Maryland, U. d. (n.d.). Retrieved from
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsen.2022.825190/full>
- NASA. (n.d.). Retrieved from https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/Session2-SAR-Spanish_0.pdf
- Pausas. (n.d.).
- Rodriguez, H. (n.d.). *National Geographic España*. Retrieved from
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/megaincendios-todo-que-debes-saber-sobre-incendios-sexta-generacion_20599
- Rubén Garrido Rivero, R. C. (2016). *Defensa y prevención de incendios forestales*. Albacete: SÍNTESIS, S. A.
- Turbo, O. (n.d.). Retrieved from <https://overpass-turbo.eu/#>
- Unidas, N. (n.d.). *Naciones Unidas / Acción por el cambio climático*. Retrieved from
<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>