



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES Y SUS DAÑOS
MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y
OBTENCIÓN DE UN MODELO DE RIESGO DE
INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE TÉCNICAS SIG

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Bermell Del Fresno, Jorge

Tutor/a: Recio Recio, Jorge Abel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela técnica superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica

ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES Y SUS DAÑOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y OBTENCIÓN DE UN MODELO DE PELIGROSIDAD DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE TÉCNICAS SIG

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR: Bermell del Fresno, Jorge

Tutor: Recio Recio, Jorge Abel

Curso académico: 2022/2023



AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Jorge Abel Recio Recio por guiarme y en especial a Silvia Fraile Navarro, mi tutora en mis prácticas laborales en GeoSAT, por darme la oportunidad de iniciarme en el ámbito laboral del mundo de la teledetección y tener la paciencia suficiente para enseñarme y darme su apoyo.

Al equipo de innovación de Valladolid de la empresa GeoSAT, por ofrecerme toda la ayuda necesaria e integrarme en su equipo desde el primer día de mis prácticas.

A mi madre y padre, por animarme todos estos años de estudio.

A mis compañeros de carrera, por animarme y ayudarme todos estos años, en especial a Lucas Canalda, Clara Bosch, Ana Chajtur, Raquel Castillejo, Minés Ureña, Andrea Ivanova y mis compañeros de nuestro pequeño grupo llamado "Los wachos".

Y a mis amigos de toda la vida, Miguel Ángel, Christian, Jesús y Patricia.

Gracias.



Compromiso

“Este proyecto ha sido realizado en su totalidad por el autor de este, el cual no ha plagiado ningún punto de otro trabajo académico, y toda la información extraída de otras fuentes ha sido entrecomillada y citada, además de añadida en la bibliografía”

En Valencia, a 3 de julio de 2023

Jorge Bermell del Fresno

RESUMEN

La Comunidad Valenciana es una zona altamente vulnerable a los **incendios forestales** debido a su clima mediterráneo y su densidad de masa forestal. Durante los últimos años, se ha registrado un aumento significativo en el número de incendios forestales en la región, lo que ha llevado a la pérdida de miles de hectáreas de bosques y hábitats naturales.

Además, los incendios forestales en la Comunidad Valenciana suelen ser más intensos y destructivos debido a la presencia de vientos fuertes y las altas temperaturas, lo que hace que la extinción de estos incendios sea muy complicada y peligrosa.

La prevención y gestión de los incendios forestales en la Comunidad Valenciana es un tema prioritario para las autoridades locales y regionales debido a los daños que, anualmente, causan, tanto debido a la pérdida de recursos naturales e infraestructuras como los costos que supone la extinción de estos y los problemas que causa al turismo en la comunidad.

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un software que sea capaz de analizar los incendios forestales y sus daños en la Comunidad Valenciana a través del uso de técnicas de **teledetección**. Además, se utilizarán herramientas de **SIG** (Sistemas de Información Geográfica) con el fin de obtener un **modelo** de peligrosidad de incendios forestales que permita una mejor prevención y gestión de estos desastres naturales.

El trabajo se ha desarrollado en varias etapas, comenzando por la recopilación y análisis de **datos** satelitales para la identificación de las áreas afectadas por los incendios forestales en la Comunidad Valenciana y para la realización de un análisis que permita conocer los daños y las características de estos incendios. Posteriormente, se han utilizado técnicas de **procesamiento de imágenes y análisis geoespacial** para la elaboración del modelo de peligrosidad de incendios forestales, que permitirá la identificación de las áreas más propensas a sufrir este tipo de catástrofes y, por tanto, la adopción de medidas preventivas y de gestión.

Palabras clave

Teledetección, Incendios forestales, Delimitación automática, mapa de riesgos



RESUM

La Comunitat Valenciana és una zona altament vulnerable als **incendis forestals** a causa del clima mediterrani i la densitat de massa forestal. Durant els darrers anys, s'ha registrat un augment significatiu en el nombre d'incendis forestals a la regió, fet que ha portat a la pèrdua de milers d'hectàrees de boscos i hàbitats naturals.

A més, els incendis forestals a la Comunitat Valenciana solen ser més intensos i destructius a causa de la presència de vents forts i les altes temperatures, cosa que fa que l'extinció d'aquests incendis sigui molt complicada i perillosa.

La prevenció i gestió dels incendis forestals a la Comunitat Valenciana és un tema prioritari per a les autoritats locals i regionals a causa dels danys que, anualment, causen, tant per la pèrdua de recursos naturals i infraestructures com els costos que suposa l'extinció de aquests i els problemes que causa al turisme a la comunitat.

Aquest treball té com a objectiu desenvolupar un programari que sigui capaç d'analitzar els incendis forestals i els seus danys a la Comunitat Valenciana a través de l'ús de tècniques de **teledetecció**. A més, s'utilitzaran eines de **SIG** (Sistemes d'Informació Geogràfica) per obtenir un **model** de perillositat d'incendis forestals que permeti una prevenció i gestió millor d'aquests desastres naturals.

El treball s'ha desenvolupat en diverses etapes, començant per la recopilació i l'anàlisi de **dades** satel·litàries per a la identificació de les àrees afectades pels incendis forestals a la Comunitat Valenciana i per a la realització d'una anàlisi que permeti conèixer-ne els danys i les característiques. incendis. Posteriorment, s'han utilitzat tècniques de **processament d'imatges i anàlisi geoespacial** per a l'elaboració del model de perillositat d'incendis forestals, que permetrà la identificació de les àrees més propenses a patir aquest tipus de catàstrofes i, per tant, l'adopció de mesures preventives i de gestió.

Paraules clau

Teledetecció, Incendis forestals, Delimitació automàtica, mapa de riscos



SUMMARY

The Valencian Community is a highly vulnerable area to **forest fires** due to its Mediterranean climate and its density of forest mass. During the last few years, there has been a significant increase in the number of forest fires in the region, which has led to the loss of thousands of hectares of forests and natural habitats.

In addition, forest fires in the Valencian Community tend to be more intense and destructive due to the presence of strong winds and high temperatures, which makes extinction of these fires very complicated and dangerous.

The prevention and management of forest fires in the Valencian Community is a priority issue for local and regional authorities due to the damage they cause annually, both due to the loss of natural resources and infrastructures and the costs involved in extinction. these and the problems it causes to tourism in the community.

The objective of this work is to develop software that is capable of analyzing forest fires and their damage in the Valencian Community through the use of **remote sensing techniques**. In addition, **GIS** tools (Geographic Information Systems) will be used in order to obtain a **model** of the danger of forest fires that allows better prevention and management of these natural disasters.

The work has been carried out in several stages, starting with the collection and analysis of satellite **data** to identify the areas affected by forest fires in the Valencian Community and to carry out an analysis that allows knowing the damage and the characteristics of these fires. Subsequently, image **processing techniques and geospatial analysis** have been used for the elaboration of the forest fire danger model, which will allow the identification of the areas most prone to suffer this type of catastrophes and, therefore, the adoption of preventive measures and management.

Keywords

Remote sensing, Forest fires, Automatic delimitation, risk map



ÍNDICE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| <i>Ilustración 1 Imagen NDVI incendio Sierra de Gata, Fuente: Sentinel Hub</i> | 11 |
| <i>Ilustración 2 Imagen NDVI incendio Doñana, Fuente: Sentinel Hub</i> | 11 |
| <i>Ilustración 3 Imagen en falso color incendio Gran Canaria, Fuente: Sentinel Hub</i> | 12 |
| <i>Ilustración 4 Imagen NDVI incendio Gran Canaria, Fuente: Sentinel Hub</i> | 12 |
| <i>Ilustración 5 Hectáreas quemadas por fuego, Fuente: Ministerio de transición ecológica</i> | 13 |
| <i>Ilustración 6 Número de grandes incendios, Fuente: Ministerio de transición ecológica</i> | 13 |
| <i>Ilustración 7 Bandas Sentinel 2. Fuente: Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferro, F., Parente, C., & Pepe, M. et al 2022.</i> | 14 |
| <i>Ilustración 8 Máscara NBR, Fuente: Propia</i> | 18 |
| <i>Ilustración 9 Máscara NDVI, Fuente: Propia</i> | 18 |
| <i>Ilustración 10 Diagrama de trabajo FFA</i> | 19 |
| <i>Ilustración 11 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Carcaixent</i> | 23 |
| <i>Ilustración 12 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Gátova</i> | 23 |
| <i>Ilustración 13 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Beneixama</i> | 24 |
| <i>Ilustración 14 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Llutxent</i> | 25 |
| <i>Ilustración 15 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Artana</i> | 25 |
| <i>Ilustración 16 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Chella</i> | 26 |
| <i>Ilustración 17 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Culla</i> | 27 |
| <i>Ilustración 18 Imagen a color verdadero Incendio Carcaixent, Fuente: Sentinel Hub</i> | 28 |
| <i>Ilustración 19 Relieve Carcaixent, Fuente: IGN</i> | 29 |
| <i>Ilustración 20 Vegetación arbolada Carcaixent, Fuente: ICV</i> | 29 |
| <i>Ilustración 21 NDVI Carcaixent, Fuente: propia</i> | 30 |
| <i>Ilustración 22 Poblaciones cercanas al incendio Carcaixent, Fuente: Catastro</i> | 30 |
| <i>Ilustración 23 Incendios históricos Carcaixent, Fuente: ICV</i> | 31 |
| <i>Ilustración 24 NBR incendio Carcaixent, Fuente: Propia</i> | 32 |
| <i>Ilustración 25 Comparación Incendio Carcaixent ICV/Sentinel 2</i> | 32 |
| <i>Ilustración 26 Imagen nubosidad Carcaixent, Fuente: Sentinel Hub</i> | 36 |
| <i>Ilustración 27 Usos del suelo Carcaixent, Fuente: ICV</i> | 37 |
| <i>Ilustración 28 Logo Geosat e ilustración satélite Geosat 2</i> | 37 |
| <i>Ilustración 29 Imagen en falso color Carcaixent, Fuente: Geosat 2</i> | 39 |
| <i>Ilustración 30 Imagen en falso color Carcaixent, Fuente: Geosat 2</i> | 39 |
| <i>Ilustración 31 Máscara incendio Carcaixent Fuente: GeoSat 2</i> | 39 |
| <i>Ilustración 32 Flujo de trabajo modelo de riesgos, Fuente: propia</i> | 41 |
| <i>Ilustración 33 Esquema variables y sus ránkines, Fuente: propia</i> | 41 |
| <i>Ilustración 34/ Cuadrícula CV y zoom cuadrícula 500x500m</i> | 45 |
| <i>Ilustración 35 Modelo bosques, Fuente: propia</i> | 46 |
| <i>Ilustración 36 Modelo lluvias, Fuente: propia</i> | 47 |
| <i>Ilustración 37 Modelo orientaciones, Fuente: propia</i> | 47 |
| <i>Ilustración 39 Modelo pendientes, Fuente: propia</i> | 48 |
| <i>Ilustración 38 Modelo población, Fuente: propia</i> | 48 |
| <i>Ilustración 40 Modelo carreteras, Fuente: propia</i> | 49 |
| <i>Ilustración 41 Modelo incendios, Fuente: propia</i> | 49 |
| <i>Ilustración 42 Modelo aplicado a la provincia de Valencia, Fuente: propia</i> | 50 |



ÍNDICE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1 índices detección Carcaixent.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tabla 2 índices detección Gátova.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabla 3 índices detección Beneixama</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabla 4 índices detección Llutxent.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Tabla 5 índices detección Artana.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabla 6 índices detección Chella</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabla 7 índices detección Culla.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Tabla 8 Factores medios detección modelo.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Tabla 9 Población Carcaixent, Fuente: INE</i> | <i>31</i> |
| <i>Tabla 10 Histogramas NDVI/NBR Carcaixent, Fuente: propia.....</i> | <i>33</i> |
| <i>Tabla 11 Serie temporal NDVI Carcaixent, Fuente: propia.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Tabla 12 Serie temporal NBR Carcaixent, Fuente: propia.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Tabla 13 Serie temporal un año después NDVI, Fuente: propia.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabla 14 Serie temporal un año después NBR, Fuente: propia.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabla 15 Usos de suelo afectados por el fuego Carcaixent, Fuente: ICV.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Tabla 16 Características técnicas Geosat 2, Fuente: ESA.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Tabla 17 Escala, fuente y año de las variables, Fuente: propia</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 18 Variables, clases y pesos, Fuente: propia</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 19 Tabla salarial, Fuente: BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 20 Tabla grupos profesionales, Fuente: BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 21 Tabla salario/seguridad social.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 22 Costes empresa.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 23 Costes materiales</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 24 Costes totales</i> | <i>52</i> |



ACRÓNIMOS

- SIG: Sistemas de información geográfica
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura
- FRA: Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales
- IGN: Instituto Geográfico Nacional
- RGB: Rojo, Verde, Azul
- NIR: Infrarrojo cercano
- SWIR: Infrarrojo lejano
- QGIS: Quantum GIS (SIG de código abierto)
- NDVI: Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada
- NBR: Índice Normalizado de Área Quemada
- NDMI: Índice De Humedad De Diferencia Normalizada
- GEE: Google Earth Engine
- IFN: Inventario Forestal Nacional
- MFE: Mapa Forestal Español
- ICV: Instituto Cartográfico Valenciano



ÍNDICE

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1 Introducción a los incendios forestales | 10 |
| 1.2 Incendios forestales en España | 10 |
| 1.3 Introducción a la teledetección y técnicas SIG | 14 |
| 1.3.1 Teledetección | 14 |
| 1.3.2 SIG | 15 |
| 1.4 Usos de teledetección y SIG para el análisis de incendios forestales y su prevención | 15 |
| 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 3. OBJETIVOS | 16 |
| 4. FFA (Forest Fire Analytics) | 17 |
| 4.1 Introducción | 17 |
| 4.2 Metodología | 17 |
| 4.3 Validación del análisis | 21 |
| 4.4 Caso práctico, análisis incendio Carcaixent 2016 | 28 |
| 4.4.1 Análisis de la situación previa al incendio | 28 |
| 4.4.2 Usos del suelo y combustibles | 29 |
| 4.4.3 Población y derivados | 30 |
| 4.4.4 Incendios históricos | 31 |
| 4.4.5 Detección y análisis del incendio | 32 |
| 4.5 Conclusiones y posibles mejoras | 40 |
| 5. Modelo FireGeoAlert (Fire Geospatial Analysis) | 40 |
| 5.1 Introducción | 40 |
| 5.2 Metodología | 40 |
| 5.3 Caso práctico, aplicación del modelo a la provincia de valencia | 43 |
| 5.3.1 Variables | 43 |
| 6. Presupuestos | 50 |
| 7. Conclusiones | 52 |
| 8. Bibliografía | 53 |
| 9. Anexo | 54 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción a los incendios forestales

Los incendios forestales se definen como “El fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte” (Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, artículo 6).

Los incendios forestales son un fenómeno natural y pueden ser causados por diversas razones, como factores climáticos, actividad humana y la presencia de combustibles en el bosque. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura), en el mundo se producen anualmente alrededor de 350,000 incendios forestales que afectan a cerca de 4 millones de hectáreas de bosques.

Estos tienen un gran impacto en el medio ambiente, provocando la destrucción de la vegetación, la fauna y los hábitats naturales. También tienen consecuencias negativas en la calidad del aire y pueden afectar la calidad del agua en zonas cercanas a los incendios.

Según un informe realizado por la FAO como complemento de la FRA 2005, un número preocupantemente alto de los incendios forestales son causados por actividades humanas, ya sean intencionados o no.

1.2 Incendios forestales en España

Los incendios forestales son un grave problema en España, especialmente en verano, cuando las altas temperaturas y la sequedad hacen que los bosques sean muy inflamables. Estos incendios pueden ser causados por causas naturales, como la caída de rayos, o por causas humanas, como el uso de fuego para la agricultura o el abandono de colillas de cigarrillos en la naturaleza.

En España, algunos de los incendios forestales más importantes de los últimos años han sido:

- El incendio de la Sierra de Gata en 2015, que arrasó más de 8.000 hectáreas en la provincia de Cáceres.

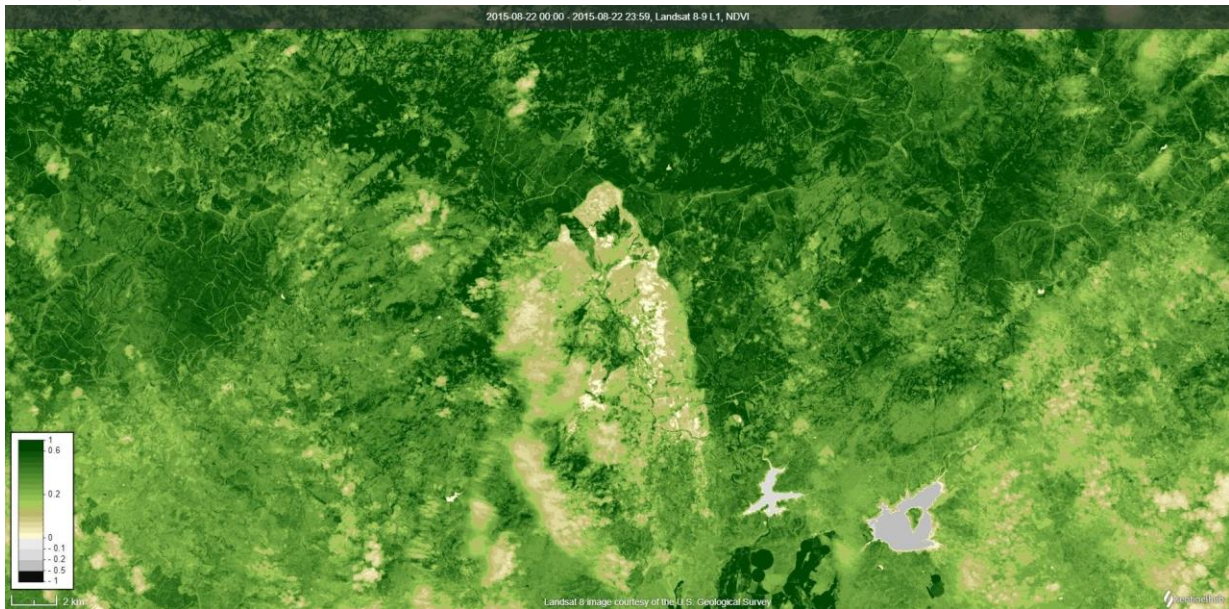


Ilustración 1 Imagen NDVI incendio Sierra de Gata, Fuente: Sentinel Hub

- El incendio de Doñana en 2017, afectó a unas 8.500 hectáreas de bosque en Huelva y Sevilla, en una zona protegida como reserva natural.

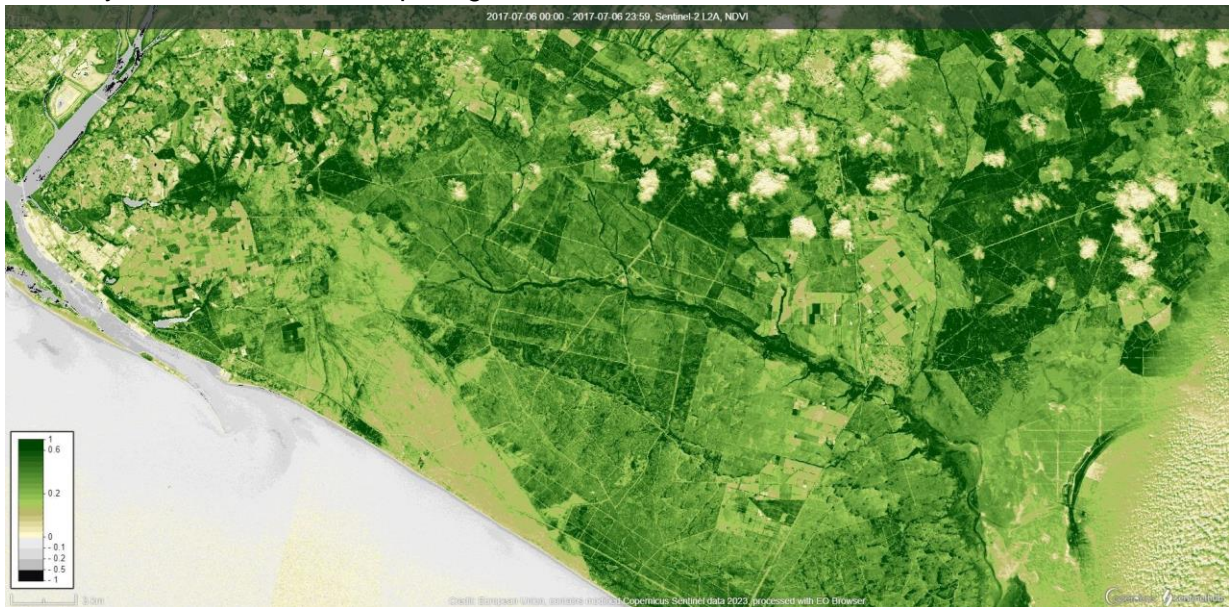


Ilustración 2 Imagen NDVI incendio Doñana, Fuente: Sentinel Hub

- El incendio de Gran Canaria en 2019, que quemó más de 10.000 hectáreas en la isla y obligó a evacuar a miles de personas.

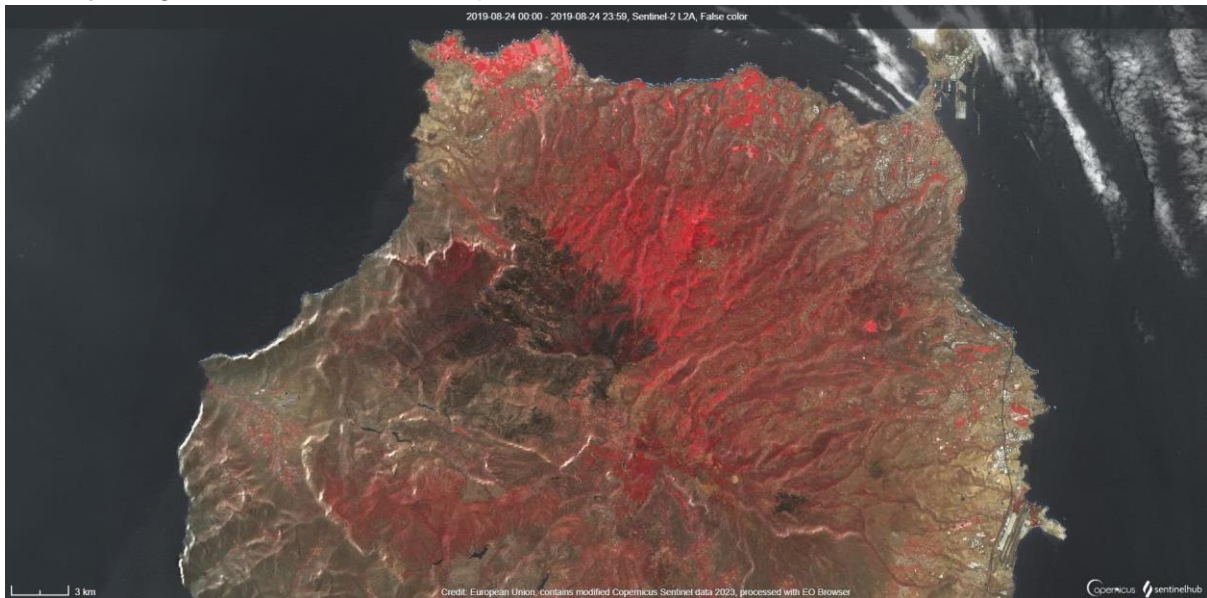


Ilustración 3 Imagen en falso color incendio Gran Canaria, Fuente: Sentinel Hub

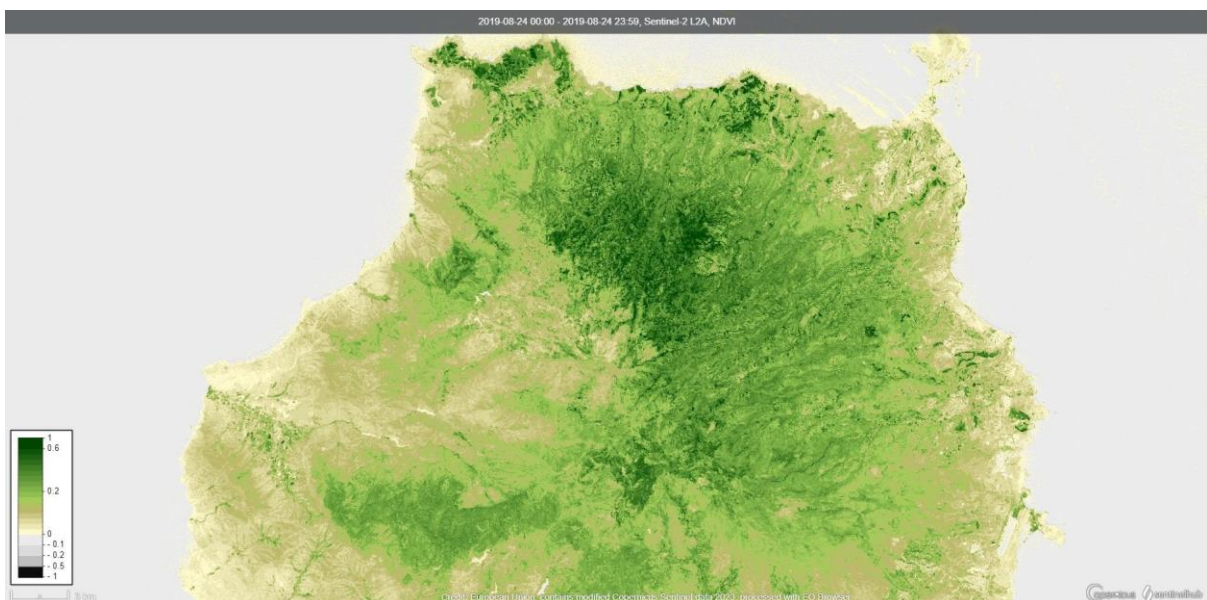


Ilustración 4 Imagen NDVI incendio Gran Canaria, Fuente: Sentinel Hub

Según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico solo en los primeros 5 meses de 2023 se han quemado un total de más de 47 mil hectáreas de superficie en España.

Hectáreas quemadas por el fuego en incendios forestales

De enero al 31 de mayo de cada año

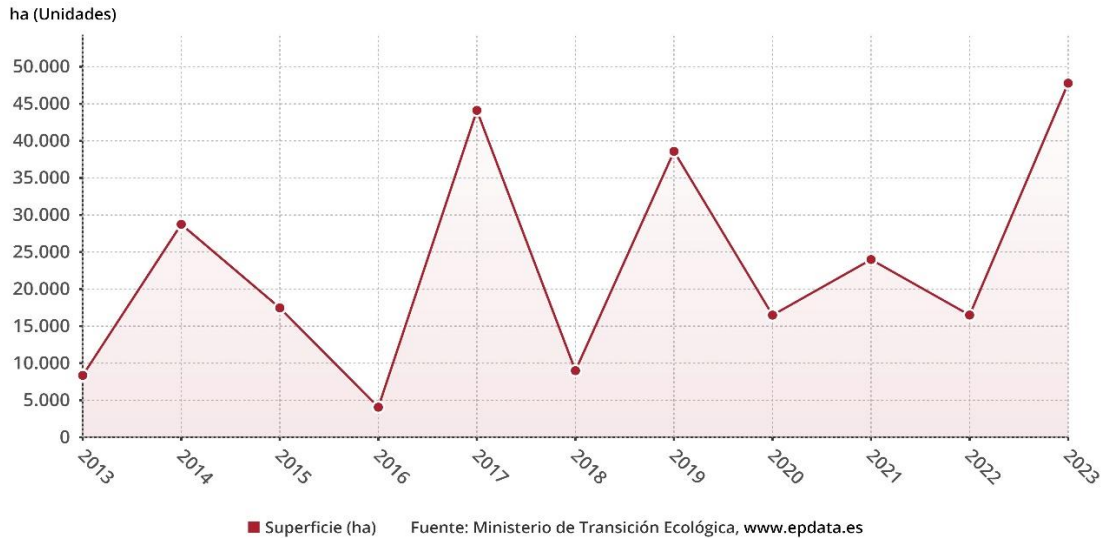


Ilustración 5 Hectáreas quemadas por fuego, Fuente: Ministerio de transición ecológica

En la ilustración anterior (Ilustración 6) se puede apreciar la tendencia al alza que están siguiendo el número de hectáreas afectadas por fuegos forestales en España, se observa cómo, solo desde el 1 de enero hasta el 31 de mayo, lo que hace menos de medio año de 2023, se ha superado el anterior récord de hectáreas afectadas por incendios en territorio español, siendo este de 45000 hectáreas aprox en el año 2017.

Además, según datos del mismo Ministerio, como se puede observar en la siguiente ilustración (Ilustración 6), en la primera mitad del 2023 se han visto incrementados los considerados grandes incendios, los cuales se caracterizan por su gran extensión geográfica, su alta intensidad y la dificultad que presentan a la hora de ser controlados y extintos, lo que indica la necesidad de mostrar más atención por este desastre natural y por su estudio, detección y extinción.

Número de grandes incendios registrados en España

De enero al 31 de mayo de cada año

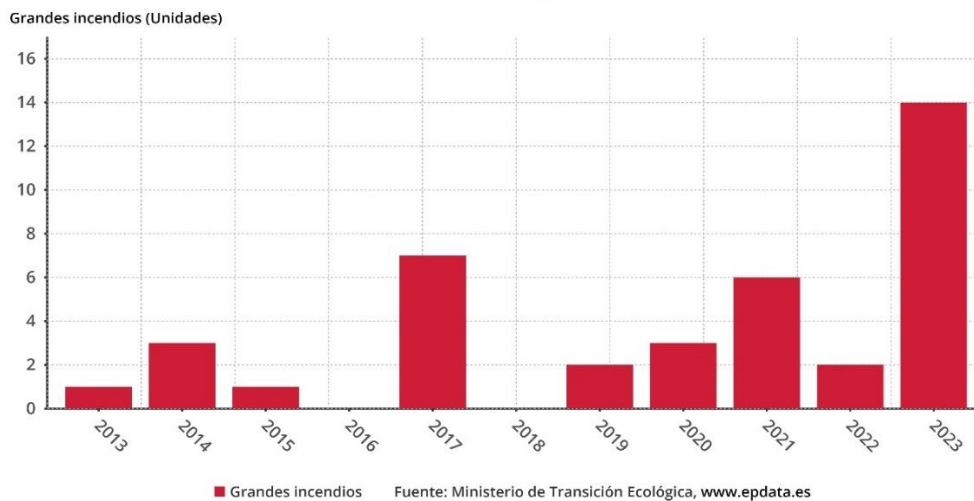


Ilustración 6 Número de grandes incendios, Fuente: Ministerio de transición ecológica

1.3 Introducción a la teledetección y técnicas SIG

1.3.1 Teledetección

Según el IGN la teledetección es “la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales”. Esto se da gracias a la interacción electromagnética dada entre el terreno a analizar y el sensor del que se disponga en la plataforma. Una vez recibidos estos datos son procesados para poder interpretarlos.

Los principios físicos detrás de la teledetección consisten principalmente en el electromagnetismo, la radiación electromagnética se comporta como una onda y se puede caracterizar por su longitud de onda, frecuencia y amplitud. La ciencia de la teledetección se centra en el estudio de cómo esta radiación interactúa con la atmósfera y la superficie terrestre. La radiación electromagnética que llega a la superficie terrestre puede ser reflejada, transmitida o absorbida. La proporción de radiación que se refleja o se transmite depende de la longitud de onda de la radiación y de las características del objeto que la recibe (Campbell, J. B., & Wynne, R. H. et al 2011).

Las bandas utilizadas en la teledetección, en la ilustración 7 se pueden observar las utilizadas en Sentinel 2 con sus respectivas longitudes de onda, se seleccionan en función de la longitud de onda de la radiación electromagnética que se desea detectar. Las bandas se definen por su rango de longitud de onda y se utilizan para identificar diferentes características de la superficie terrestre, como la vegetación, el agua, la nieve, etc. Las técnicas de trabajo en teledetección se basan en el análisis de las características espectrales de la radiación electromagnética detectada en cada banda para obtener información sobre la superficie terrestre (Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. et al 2014).

| Bands | Central Wavelength (μm) | Resolution (m) |
|--------------------|--------------------------------------|----------------|
| B1—Coastal Aerosol | 0.443 | 60 |
| B2—Blue | 0.490 | 10 |
| B3—Green | 0.560 | 10 |
| B4—Red | 0.665 | 10 |
| B5—Red Edge1 | 0.705 | 20 |
| B6—Red Edge2 | 0.740 | 20 |
| B7—Red Edge3 | 0.783 | 20 |
| B8—NIR | 0.842 | 10 |
| B8A—Narrow NIR | 0.865 | 20 |
| B9—Water Vapor | 0.945 | 60 |
| B10—SWIR Cirrus | 1.375 | 60 |
| B11—SWIR1 | 1.610 | 20 |
| B12—SWIR2 | 2.190 | 20 |

Ilustración 7 Bandas Sentinel 2. Fuente: Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferro, F., Parente, C., & Pepe, M. et al 2022.

Algunas técnicas comunes en teledetección incluyen la clasificación de imágenes, la detección de cambios, la estimación de la biomasa vegetal y la detección de la calidad del agua. Estas técnicas se basan en la medición de la reflectancia o la emisión de la radiación

electromagnética en diferentes bandas y la comparación de estas mediciones con modelos de referencia para identificar diferentes características de la superficie terrestre.

En resumen, la teledetección se basa en los principios físicos de la interacción de la radiación electromagnética con la superficie terrestre y la atmósfera. Las bandas utilizadas en teledetección se seleccionan en función de la longitud de onda de la radiación electromagnética que se desea detectar, y las técnicas de trabajo se basan en el análisis de las características espectrales de la radiación electromagnética en cada banda para obtener información sobre la superficie terrestre.

1.3.2 SIG

Las técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica) son herramientas informáticas que se utilizan para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Estos datos pueden ser de diferentes tipos, como mapas, fotografías aéreas, datos de satélite, información de sensores remotos, entre otros.

Los SIG permiten la integración de diferentes fuentes de información geográfica, lo que posibilita la creación de mapas temáticos y la identificación de patrones espaciales. Algunas de las técnicas utilizadas en los SIG incluyen la georreferenciación de datos, la digitalización de mapas, la creación de modelos de terreno, la interpolación espacial, la simulación de procesos espaciales, entre otras.

Entre las aplicaciones de los SIG se encuentran la planificación territorial, la gestión de recursos naturales, la gestión de infraestructuras, la toma de decisiones en la gestión de emergencias, entre otras. Los SIG son ampliamente utilizados en una variedad de campos, incluyendo la geografía, la ecología, la biología, la ingeniería, la arquitectura, la gestión ambiental, la planificación urbana y rural, la gestión de riesgos, entre otros.

En resumen, los SIG son herramientas informáticas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Estos sistemas son ampliamente utilizados en una variedad de campos para la planificación, gestión y toma de decisiones relacionadas con el territorio y los recursos naturales.

1.4 Usos de teledetección y SIG para el análisis de incendios forestales y su prevención

La teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas muy útiles para el análisis y la prevención de incendios forestales.

La teledetección permite obtener información sobre la vegetación, el clima, la topografía y otros factores que pueden influir en el riesgo de incendio, utilizando imágenes satelitales, fotografías aéreas y otros tipos de sensores remotos. Por ejemplo, la teledetección puede proporcionar información sobre la densidad y la altura de la vegetación, la humedad del suelo y las condiciones meteorológicas en tiempo real. Esta información puede ayudar a

los gestores forestales a identificar las áreas más vulnerables a los incendios y a planificar estrategias de prevención y extinción (Mishra et al. 2015).

Por otro lado, los SIG permiten integrar y analizar información geográfica y estadística relacionada con los incendios forestales. Por ejemplo, se pueden crear mapas de riesgo de incendios a partir de la combinación de diferentes capas de información, como la densidad de la vegetación, la topografía, las condiciones meteorológicas y la presencia de carreteras y otras infraestructuras. Estos mapas pueden ser utilizados para planificar la ubicación de brigadas de extinción, la creación de cortafuegos y otras medidas preventivas.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Como se ha descrito anteriormente, los incendios forestales son uno de los mayores problemas medioambientales presentes hoy en día, siendo un riesgo tanto para el medio ambiente y los ecosistemas como para la actividad humana.

En España, en concreto en la Comunidad Valenciana anualmente se sufren las consecuencias de estos desastres y, a pesar de existir una metodología de trabajo centrada en analizar y estudiar estos incendios forestales, reflejados en los informes realizados por el cuerpo de bomberos forestales, esta requiere de intenso trabajo de campo el cual, con técnicas de teledetección se podría ahorrar y simplificar este trabajo.

Con este proyecto se pretende obtener una herramienta (FFA-FGA) que, mediante datos obtenidos mediante satélites como los presentes en el programa Sentinel de la ESA y datos geoespaciales obtenidos de instituciones públicas, sea capaz de analizar los antecedentes para poder entender el comportamiento del incendio y, además, estudiar los daños causados por dichos incendios. Aparte se realizará, mediante datos geoespaciales y análisis estadísticos, un modelo, que a partir de un análisis generará una herramienta capaz de predecir la gravedad de posibles futuros incendios en la zona estudiada, además de generar una cartografía para representarlo.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal, a la hora de aplicar a un caso práctico las herramientas anteriormente mencionadas, será principalmente la creación de un análisis capaz de estimar daños causados por un incendio forestal, simplificar este trabajo en comparación a las herramientas y métodos de trabajo actualmente presentes y poder estimar posibles futuros daños.

Para realizar el trabajo se han utilizado diferentes herramientas, el análisis y detección del incendio, como se ha indicado anteriormente, se ha trabajado principalmente con imágenes Sentinel, en concreto se han utilizado las bandas RGB, NIR, longitudes de onda entre los 700 a los 1400 nanómetros, y SWIR, desde los 1400 hasta los 3000 nanómetros, del satélite Sentinel 2. Siendo las bandas necesarias para realizar los cálculos presentes en el trabajo. El proceso se ha realizado en GEE, la cual es una plataforma en la nube desarrollada por Google que permite el análisis y la visualización de datos geoespaciales a gran escala.

Para el modelo se ha trabajado principalmente con datos procedentes de instituciones públicas, y una vez procesados se han representado en QGIS con la idea de realizar un mapa temático con los resultados.

4. FFA (Forest Fire Analytics)

4.1 Introducción

FFA consiste en una herramienta, creada a partir del software de Google llamado Google earth engine, que, mediante datos obtenidos mediante la observación terrestre y su posterior procesamiento, mediante filtrados, cálculos de índices como el NDVI etc, es capaz de obtener tanto el área afectada por el incendio forestal analizado como un archivo vectorial que contiene y representa los daños que este ha causado y su severidad, además de indicar los usos de suelo y tipo de vegetación que se ha visto afectada o dañada por el fuego.

4.2 Metodología

Para la realización de la detección de áreas quemadas, previamente se aplica un filtrado para solo tener en cuenta zonas forestales mediante una máscara creada a partir de una capa vectorial de las zonas forestales de España y un filtrado de nubes para eliminar datos anómalos, se obtiene una máscara que representa el área que representa el área afectada por el fuego, para obtenerla se obtiene una máscara a partir de tres índices:

- NDVI: Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada, indicador numérico asociado a la cantidad y salud de la vegetación.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

- NBR: Índice Normalizado de Área Quemada, indicador numérico que resalta áreas quemadas.

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

- NDMI: Índice De Humedad De Diferencia Normalizada, indicador numérico que detecta los niveles de humedad de la vegetación.

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

Aunque similar al NBR, mientras el NDMI como banda SWIR utiliza la banda 11 de Sentinel 2, el NBR utiliza la 12.

Una vez obtenidos los índices para antes y después del incendio se obtiene la diferencia entre estos índices (NDVI y NBR) para ambos momentos, una vez realizada se establecen varios rangos de valores de cada uno de estos índices multitemporales, los cuales si se cumplen significa que se nos encontramos ante una zona que cumple requisitos como,

posible zona afectada por un incendio, posible zona en la cual se ha perdido vegetación y posible zona la cual no presenta gran cantidad de humedad. Lo que, asociando estas posibilidades, representaría la zona de un posible incendio forestal.

Los rangos de valores son, para el NBR multitemporal se establece el rango de valores entre 0,1 y 1 ya que, como se establece en:

- < -0,25: Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego
- 0,25 – – 0,1: Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego
- 0,1 – 0,1: Zonas estables o sin quemar
- 0,1 – 0,27: Zonas quemadas con gravedad baja
- 0,27 – 0,44: Zonas quemadas con gravedad moderada-baja
- 0,44 – 0,66: Zonas quemadas con gravedad moderada-alta
- > 0,66: Zonas quemadas con gravedad alta

Estos valores han sido obtenidos a partir del artículo (Keeley J.E. et all, 2009), el cual establece una breve introducción a la detección de zonas afectadas por un incendio forestal a partir índices espectrales como el NBR.

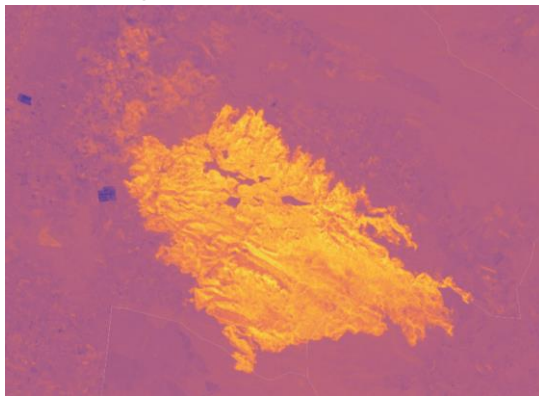


Ilustración 8 Máscara NBR, Fuente: Propia

Con respecto al NDVI multitemporal se establece el rango de valores entre 0,1 y 2, ya que el índice tiene un rango entre -1 a 1, al calcular su diferencia se obtienen valores entre -2 y 2, siendo los valores entre 0,1 y 2 las zonas que han perdido vegetación, representando las zonas cercanas al valor 2 las zonas más afectadas, los valores cercanos a 0 no representan cambios y los valores cercanos a -2 representan zonas que han ganado vegetación.

Una vez obtenida esta máscara se exporta en una capa vectorial para ofrecer una posibilidad de trabajo y análisis más amplia con otras herramientas como QGIS o ArcMap.



Ilustración 9 Máscara NDVI, Fuente: Propia

Además, esta máscara se extrae junto a los valores del NBR de después del incendio para poder cartografiar y analizar la severidad de este.

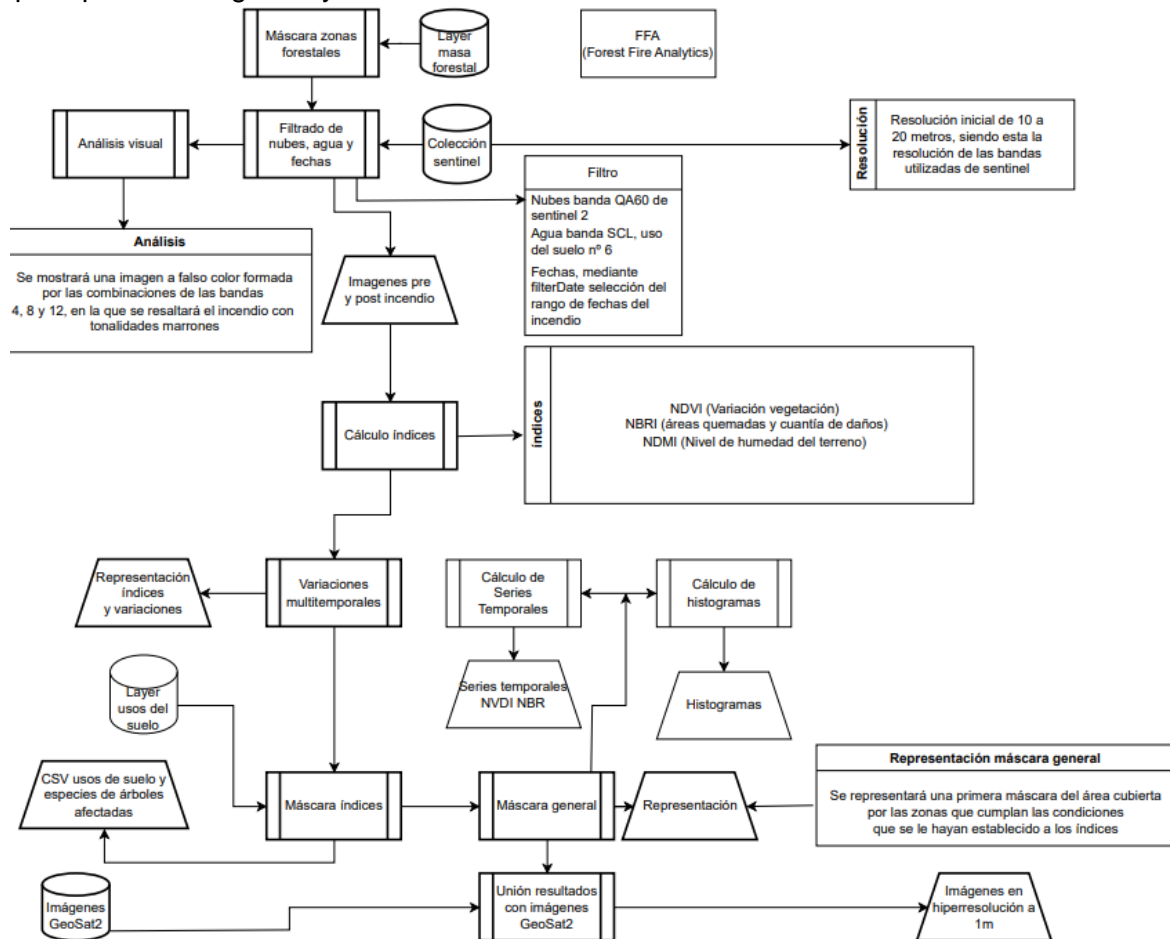


Ilustración 10 Diagrama de trabajo FFA

De esta máscara se extrae su geometría para usarla de fronteras para obtener el área a partir de la cual se obtienen histogramas de antes y después del incendio para poder analizar visualmente los daños causados de manera más sencilla.

También se obtienen series temporales de ambos índices que representan otra manera de cuantificar los daños causados por el incendio y una forma de representar la evolución de la recuperación de la vegetación de la zona a lo largo del tiempo.

Además, a partir de la máscara obtenida, se extraen los usos de suelo que se han visto afectados por el fuego.

Para la realización de este análisis se ha desarrollado un script en la herramienta Google Earth Engine.

Se empieza cargando los datos, los cuales son colecciones de imágenes Sentinel dentro de la zona y el rango de fechas del incendio estudiado, se filtran nubes para eliminar datos anómalos. Esto se realiza gracias a la función:

```

function MascaraNubesS(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  //Excluimos los píxeles identificados como nubes y cirros de la imagen
  var RecorteNubesMascaraS = 1 << 10;
  var RecorteCirrosMascaraS = 1 << 11;
  var MascaraS = qa.bitwiseAnd(RecorteNubesMascaraS).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(RecorteCirrosMascaraS).eq(0));
  return image.updateMask(MascaraS);
}
  
```

Y se representa visualmente el incendio en una combinación de bandas en falso color (B11, B8, B4) para resaltar visualmente la zona afectada por el fuego.

```
Map.addLayer (Incendio, {
  max: 5000.00,
  min: 0.00,
  bands: ['B11', 'B8', 'B4']],
  'Vista de Incendio',0);
```

Se cargan las colecciones de imágenes pertenecientes a las fechas antes y después del incendio.

```
var imagen1b = ee.Image(imagen1clip.mean());
Map.addLayer (imagen1b, {max: 4000.0, min: 0.0, gamma: 1.0, bands: ['B4','B3','B2']}, 'RGB color natural (preincendio)',0);
var imagen2 = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterDate ('2016-06-20', '2016-07-15') // Momento temporal post
  .map(MascaraNubesS)

var overlapping = imagen2.filterBounds(table2)
var imagen2clip = overlapping.map(function(img){
  return img.clip(table2);
});
var imagen2b = ee.Image(imagen2clip.mean());
Map.addLayer (imagen2b, {max: 4000.0, min: 0.0, gamma: 1.0, bands: ['B4','B3','B2']}, 'RGB color natural (postincendio)',0);
```

Y a partir de estas colecciones se obtienen los índices NDVI, NBR y NDMI, para la colección de antes y de después del incendio y se representan.

```
// ÍNDICES
// NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
var NDVI1 = imagen1b.expression ('float ((NIR - RED) / (NIR + RED))',{
  'NIR': imagen1b.select ('B8'),
  'RED': imagen1b.select ('B4')));
var NDVI2 = imagen2b.expression ('float ((NIR - RED) / (NIR + RED))',{
  'NIR': imagen2b.select ('B8'),
  'RED': imagen2b.select ('B4')));
// NBRI (Normalized Burned Ratio Index)
var NBRI1 = imagen1b.expression ('float (NIR - SWIR12) / float (NIR + SWIR12)', {
  'NIR': imagen1b.select ('B8'),
  'SWIR12': imagen1b.select ('B12')));
var NBRI2 = imagen2b.expression ('float (NIR - SWIR12) / float (NIR + SWIR12)', {
  'NIR': imagen2b.select ('B8'),
  'SWIR12': imagen2b.select ('B12')));
// NDMI (Normalized Difference Moisture Index)
var NDMI1 = imagen1b.expression ('float ((NIR - SWIR11) / (NIR + SWIR11))',{
  'NIR': imagen1b.select ('B8'),
  'SWIR11': imagen1b.select ('B11')));
var NDMI2 = imagen2b.expression ('float ((NIR - SWIR11) / (NIR + SWIR11))',{
  'NIR': imagen2b.select ('B8'),
  'SWIR11': imagen2b.select ('B11')));
```

Una vez se calculan los índices, se obtiene la máscara del incendio conforme los valores previamente presentados.

```
//MÁSCARAS
var mask1 = NBRImultitemporal.gte(0.1).mask(NBRImultitemporal.lte(1))
var mask1clip = mask1.clip(table)
var mask2 = NDVIImultitemporal.gte(0.1).mask(NDVIImultitemporal.lte(2))
var mask2clip = mask2.clip(table)
Map.addLayer(mask1clip, {}, 'mask_NBR',0)
Map.addLayer(mask2clip, {}, 'mask_NDVI',0)
////////////////////////////////////NBR////////////////////////////////////
var mask_incendio1nbr = mask1clip.eq(1)
////////////////////////////////////
var clipNBR = NBRImultitemporal.mask(mask_incendio1nbr);
```



```
var connectedCount2nbr = mask_incendio1nbr.connectedPixelCount(256,true)
var segmentacion2nbr = mask_incendio1nbr.updateMask(connectedCount2nbr.gte(100))
var segmentacionnbr = NBRmultitemporal.mask(segmentacion2nbr);
Map.addLayer(segmentacionnbr, {palette:['000000', '232323', '4a4a49', '727171', '9b9a9a', 'cacac9', 'ffffd']},
'maskNBR_severidad',0)
////////////////////////////////NBR_NDVI////////////////////////////////
var mask_incendio = mask1clip.add(mask2clip)
var mask_incendio1 = mask_incendio.eq(2)
////////////////////////////////
var clipNBR_NDVI = NBRmultitemporal.mask(mask_incendio1);
var connectedCount2 = mask_incendio1.connectedPixelCount(256,true)
var segmentacion2 = mask_incendio1.updateMask(connectedCount2.gte(100))
var segmentacion = NBRmultitemporal.mask(segmentacion2);
Map.addLayer(segmentacion, {palette:['000000', '232323', '4a4a49', '727171', '9b9a9a', 'cacac9', 'ffffd']},
'maskNBR/NDVI_severidad',0)
```

Mediante la función `ui.Chart.image.histogram` se obtienen los histogramas, este paso se repite para los momentos pre y post del incendio para los índices NDVI y NBR.

```
var PREHistogramNDVI = ui.Chart.image.histogram({
  image: janImagendvi.select('nd'),
  region: geometry,
  scale: 10,
  maxBuckets: 20,
}).setOptions({
  title: 'Histograma NDVI - PRE'
});
```

Y como paso final, se obtienen las series temporales anteriormente mencionadas, además de los usos del suelo afectados.

```
// Extraer la serie temporal de valores de NBR
var nbrChart = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: collection.select('NBR'),
  region: geometry,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 10,
  xProperty: 'system:time_start'
})
// Exportar los valores de los campos a un archivo de texto en Google Drive
var nombreArchivo = 'valores_campos';
var carpeta = 'nombre_de_tu_carpeta'; // Puedes especificar una carpeta existente en tu Google Drive

var tareaExportacion = Export.table.toDrive({
  collection: campos_filtrados,
  description: nombreArchivo,
  folder: carpeta,
  fileFormat: 'CSV'
})
```

4.3 Validación del análisis

Para comprobar el análisis realizado se obtiene el índice de acierto de los resultados. Se realizará el análisis de los resultados obtenidos mediante datos de Sentinel 2 y un breve análisis de los resultados obtenidos mediante datos de GeoSAT 2.

Para ello se realiza una comparación entre los resultados obtenidos y las extensiones de los incendios ofrecidas por el ICV.

Para obtener el % de acierto del análisis se ha evaluado el % de acierto mediante el **método de cálculo de factores de exceso y factores de defecto** de varios incendios.

Este método consiste en el cálculo de:



- Factor de exceso (FE):

El factor de exceso se refiere a una medida del error por exceso, es decir, detecta las zonas que se han detectado como incendio cuando realmente no lo son. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$FE = FP/TP$$

Donde:

FE: Son los píxeles detectados como incendios que realmente no lo son.

TP: Son los píxeles detectados como incendios que sí que lo son.

- Factor de defecto (FD):

Se refiere a una medida del error por defecto, es decir, detecta las zonas que no se han detectado como incendio cuando realmente sí lo son. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$FD = FN/TP$$

Donde:

FN: Son los píxeles detectados como no incendio que realmente sí lo son.

TP: Son los píxeles detectados como no incendios que no lo son.

- Porcentaje de detección (PD):

Se refiere al porcentaje de superficie detectada como incendio que se ha detectado correctamente. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PD = 100 * (TP/(TP + FN))$$

- Porcentaje de calidad/acierto (PC):

Se refiere a la calidad de la detección, un valor de 100% indicaría la totalidad de acierto, ya que significa que se ha detectado todo el incendio correctamente, ya que el valor de FN y FP sería 0. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PC = 100 * (TP/(TP + FN + FP))$$

Se ha realizado este análisis para 7 incendios de la comunidad valenciana, siendo estos los resultados:

- **Carcaixent 2016:**

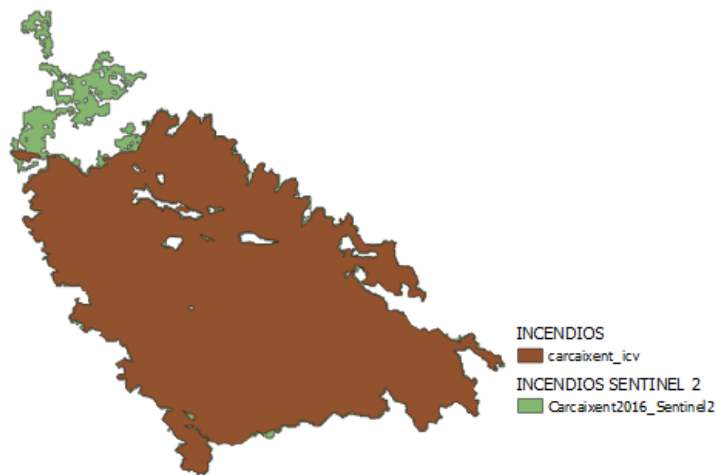


Ilustración 11 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Carcaixent

| | |
|----|----------|
| TN | 785366px |
| FN | 9032px |
| FP | 62211px |
| TP | 716763px |
| FE | 0.087 |
| FD | 0.013 |

Tabla 1 índices detección Carcaixent

% de detección: 98.75%

% de acierto: 90.96%

En el incendio de Carcaixent se observan valores de FE cercanos al 10%, debido principalmente a la zona excedente del norte de la máscara creada con datos Sentinel. Lo que disminuye el porcentaje de acierto.

- **Gátova 2017:**

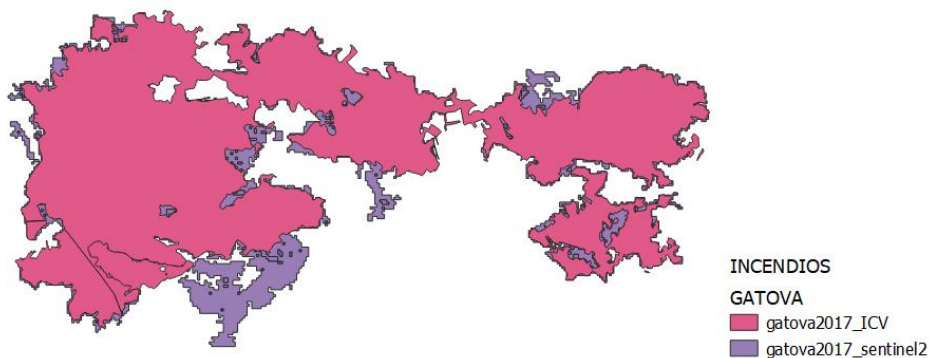


Ilustración 12 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Gátova

| | |
|----|---------|
| TN | 47430px |
| FN | 2855px |
| FP | 7536px |
| TP | 50739px |
| FE | 0.148 |
| FD | 0.057 |

Tabla 2 índices detección Gátova

% de detección: 94.67%

% de acierto: 83%

En lo referente al incendio de Gátova, el valor de falsos positivos excede del 10%, en cambio al tener un valor de 5% de falsos negativos el valor del porcentaje de detección es cercano al 95% lo que lo hace un buen valor a pesar del 83% del porcentaje de acierto.

- **Beneixama 2019:**

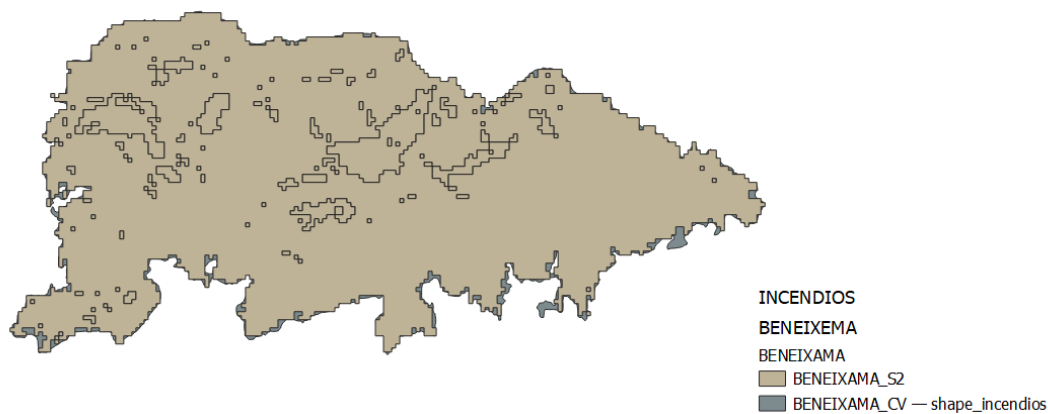


Ilustración 13 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Beneixama

| | |
|----|---------|
| TN | 12669px |
| FN | 244px |
| FP | 479px |
| TP | 24493px |
| FE | 0.019 |
| FD | 0.010 |

Tabla 3 índices detección Beneixama

% de detección: 99.01%

% de acierto: 97.13%

La máscara resultante del incendio de Beneixama, con valores muy cercanos 100% debido a sus bajos valores de falsos positivos y negativos, ya que estos no superan el 2%.

- **Llutxent 2018:**

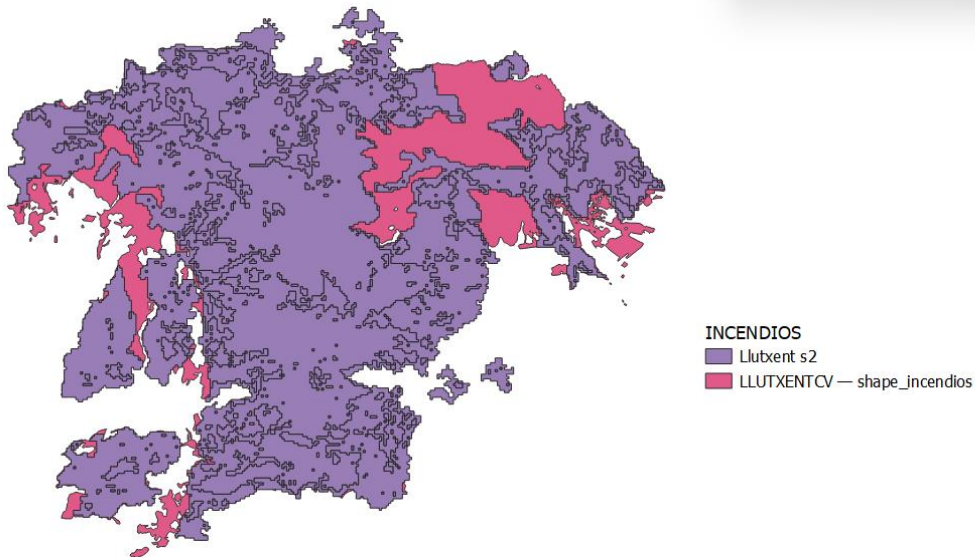


Ilustración 14 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Llutxent

| | |
|----|---------|
| TN | 65039px |
| FN | 12069px |
| FP | 3602px |
| TP | 85891px |
| FE | 0.042 |
| FD | 0.141 |

Tabla 4 Índices detección Llutxent

% de detección: 87.68% % de acierto: 84.57%

Este incendio muestra valores altos de falsos negativos, lo que indica que se han decretado como no incendio muchos píxeles que sí que lo eran.

- **Artana 2016:**

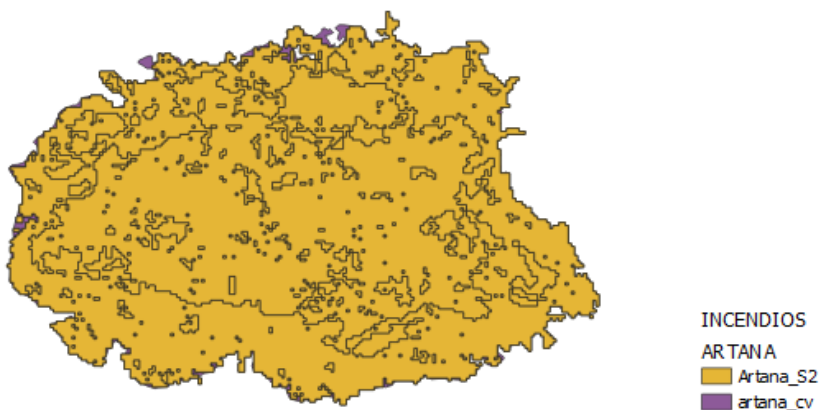


Ilustración 15 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Artana

| | |
|----|----------|
| TN | 26443px |
| FN | 258px |
| FP | 3834px |
| TP | 146118px |
| FE | 0.0262 |
| FD | 0.0018 |

Tabla 5 índices detección Artana

% de detección: 99,82% % de acierto: 97,28%

En este incendio analizado también se pueden ver una gran calidad de la detección, con calores de falsos negativos menores del 0.2%.

- **Chella 2017:**

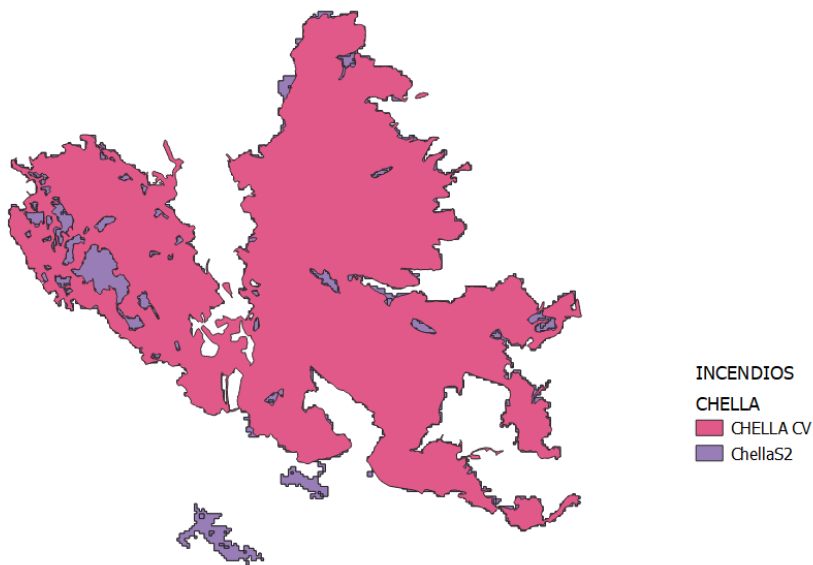


Ilustración 16 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Chella

| | |
|----|---------|
| TN | 68853px |
| FN | 1778px |
| FP | 4339px |
| TP | 50581px |
| FE | 0.0858 |
| FD | 0.0357 |

Tabla 6 índices detección Chella

% de detección: 96,60% % de acierto: 89,21%

En el incendio de Chella se observan valores de falsos positivos menores del 10%, ya que se pueden ver zonas detectadas como incendio cuando no lo son, como las islas presentes a la izquierda de la máscara, las cuales no corresponden a zonas quemadas según las geometrías ofrecidas por el ICV.

- **Culla 2017:**

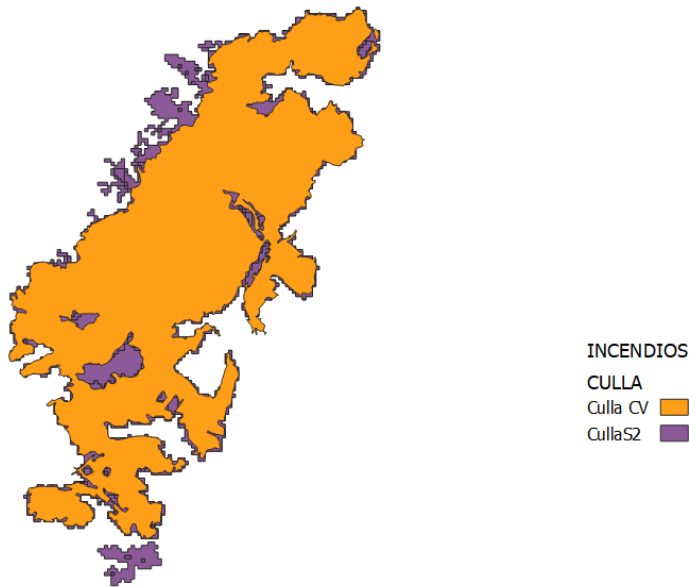


Ilustración 17 Comparación área incendio ICV/Sentinel 2 Culla

| | |
|----|---------|
| TN | 24112px |
| FN | 203px |
| FP | 2096px |
| TP | 16159px |
| FE | 0.1297 |
| FD | 0.0126 |

Tabla 7 Índices detección Culla

% de detección: 98.76% % de acierto: 87,54%

Una vez realizado el cálculo para estos 7 incendios se ha obtenido estos valores medios

| | |
|---------|--------|
| FEmedio | 8,58% |
| FDmedio | 1,26% |
| PDmedio | 98,76% |
| PCmedio | 89,21% |

Tabla 8 Factores medios detección modelo

Los cuales representan los valores de fiabilidad y acierto de la herramienta a la hora de detectar superficies forestales quemadas.

4.4 Caso práctico, análisis incendio Carcaixent 2016

Con el fin de aplicar la herramienta previamente expuesta se va a realizar un análisis del incendio de Carcaixent, ocurrido en junio del 2016.



Ilustración 18 Imagen a color verdadero Incendio Carcaixent, Fuente: Sentinel Hub

El cual afectó a varias zonas urbanas, como las urbanizaciones colindantes a la zona del incendio.

Como paso previo al análisis del incendio se van a analizar, mediante técnicas SIG, la situación previa a este.

4.4.1 Análisis de la situación previa al incendio.

4.4.1.1 Análisis del terreno

La zona afectada se trata de una zona presente en una pequeña meseta, por lo que se encuentran gran cantidad de pendientes en laderas ascendentes. Se observa que la zona del incendio se encuentra en una zona elevada del terreno, en la meseta previamente mencionada. El incendio se encuentra situado en la sierra de las Agujas, al sur del municipio de Carcaixent, en la comarca valenciana de la Ribera Alta, en la provincia de Valencia.

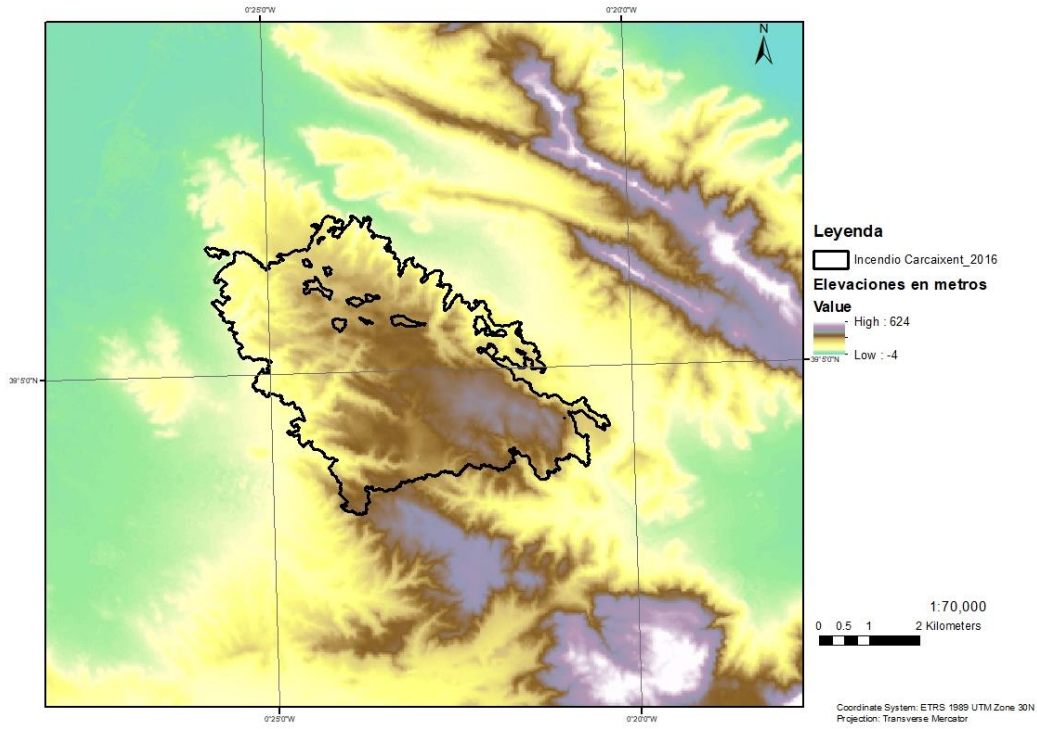


Ilustración 19 Relieve Carcaixent, Fuente: IGN

4.4.2 Usos del suelo y combustibles

4.4.2.1 Análisis del uso del suelo

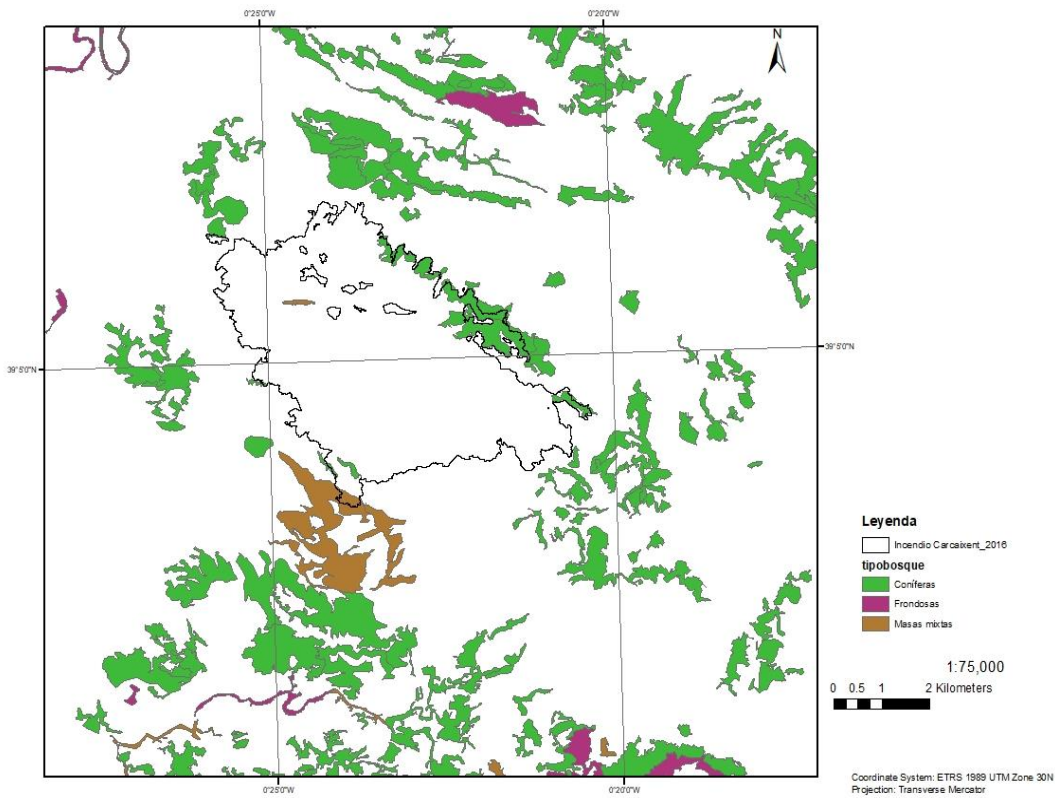


Ilustración 20 Vegetación arbolada Carcaixent, Fuente: ICV

A partir de la capa de usos de suelo se observa que la zona afectada no corresponde a una zona arbolada, pero, analizando los valores de NDVI se observan valores cercanos a 0.6 lo que indica que nos encontramos ante una zona de vegetación pequeña, como arbustos.

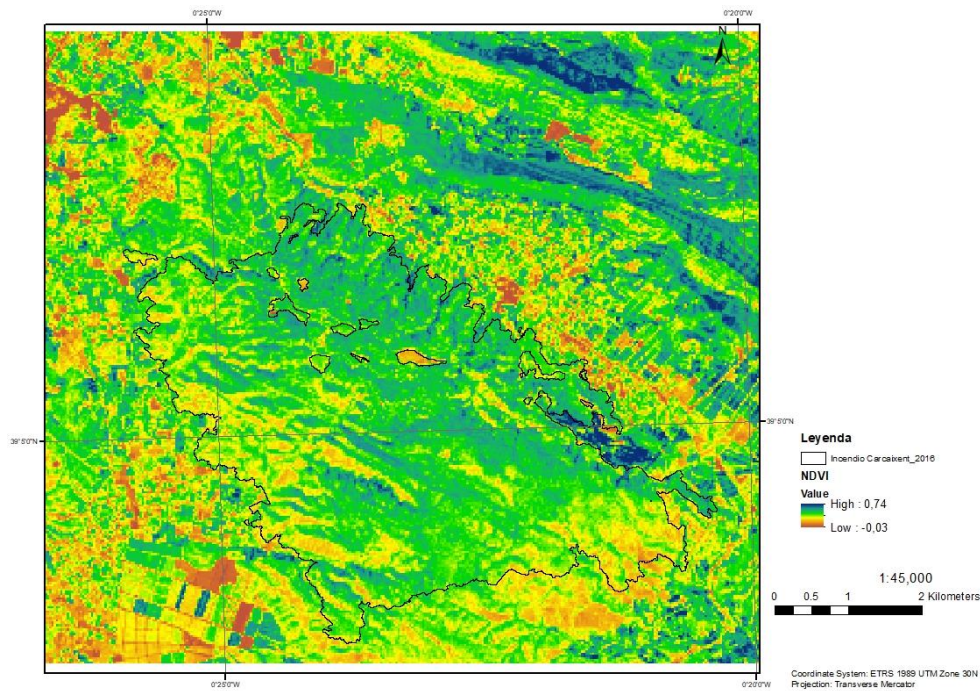


Ilustración 21 NDVI Carcaixent, Fuente: propia

4.4.3 Población y derivados

4.4.3.1 Análisis de las poblaciones cercanas

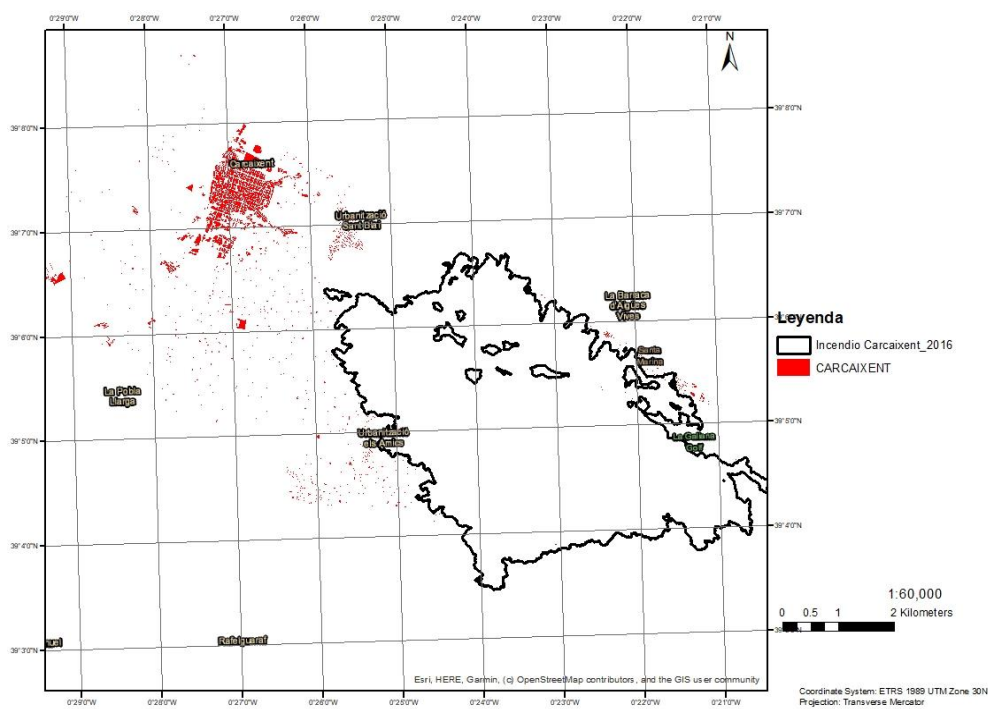


Ilustración 22 Poblaciones cercanas al incendio Carcaixent, Fuente: Catastro

A partir de datos extraídos de la sede del catastro se pueden evaluar las zonas urbanas que podrían verse afectadas por el fuego, destacan principalmente el municipio de Carcaixent y varias urbanizaciones colindantes a este, lo que equivale a, aproximadamente equivaldrían a 20520 personas según datos de población del INE para Carcaixent en 2016.

| | Total 2016 |
|------------------|---------------|
| 46083 Carcaixent | 20.520 |

Tabla 9 Población Carcaixent, Fuente: INE

4.4.4 Incendios históricos

4.4.4.1 Análisis y conclusiones

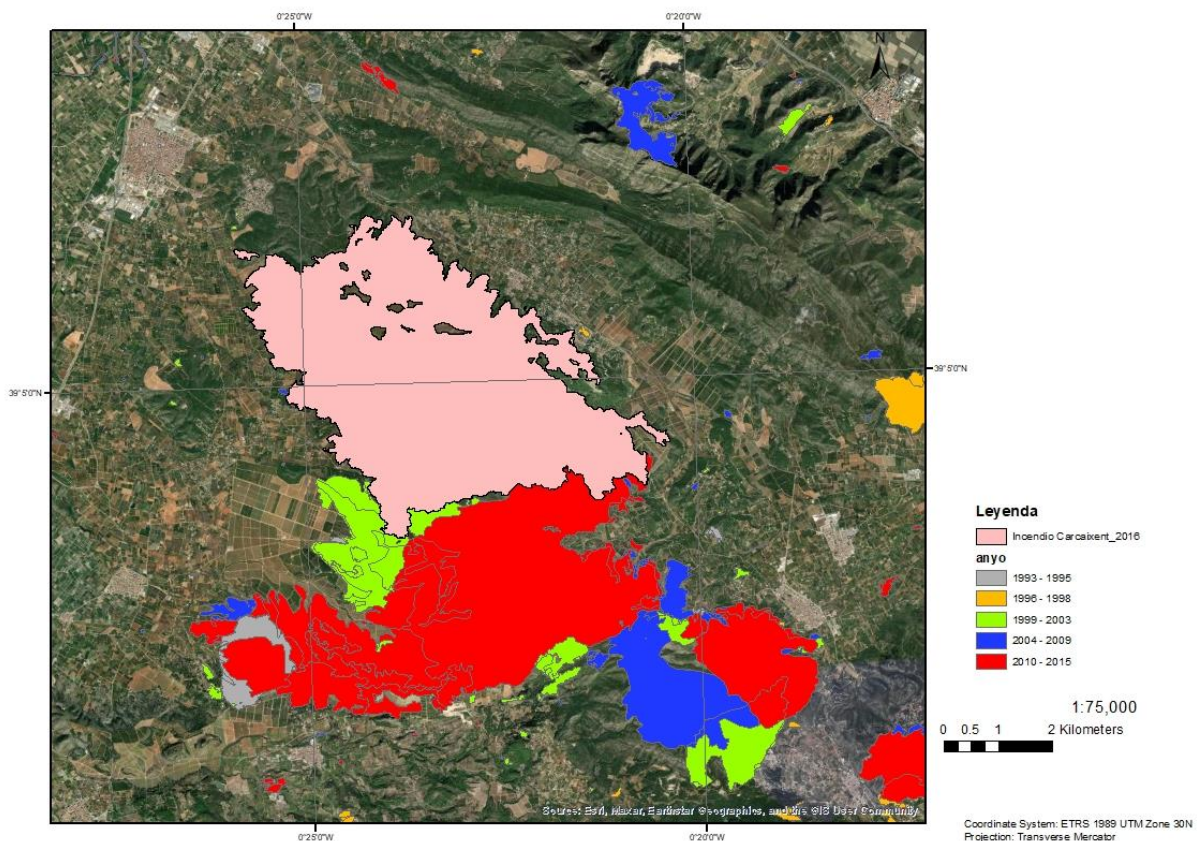


Ilustración 23 Incendios históricos Carcaixent, Fuente: ICV

Mediante datos extraídos del ICV se obtienen los incendios ocurridos en la zona antes del analizado, destacan principalmente los fuegos ocurridos entre 2010 y 2015, en parte coincidentes con la zona afectada por el fuego de 2016, lo que podría significar que la zona solo dispone de pequeña vegetación, ya que no habría dado tiempo a que se recuperara una posible masa forestal. Esta vegetación, debido a su pequeño tamaño, puede ser más propensa a verse afectada por el fuego en caso de un incendio.

4.4.5 Detección y análisis del incendio

El incendio se ha detectado y analizado con datos Sentinel 2, obteniendo la siguiente área localizada:

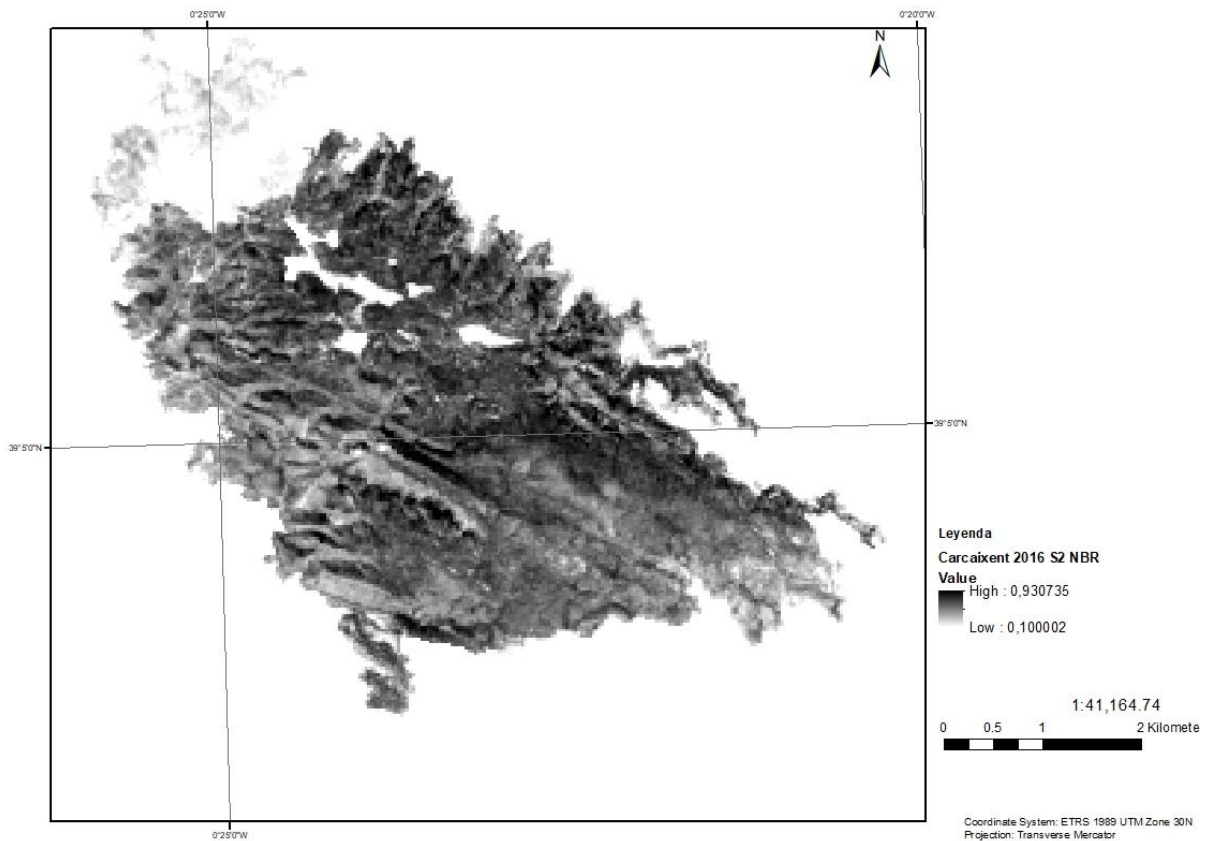


Ilustración 24 NBR incendio Carcaixent, Fuente: Propia

Además, se muestran los valores del NBR (Ilustración 22) de la zona después del fuego, lo que destaca principalmente valores cercanos a 1 en algunas zonas, siendo estas las más afectadas por el fuego.

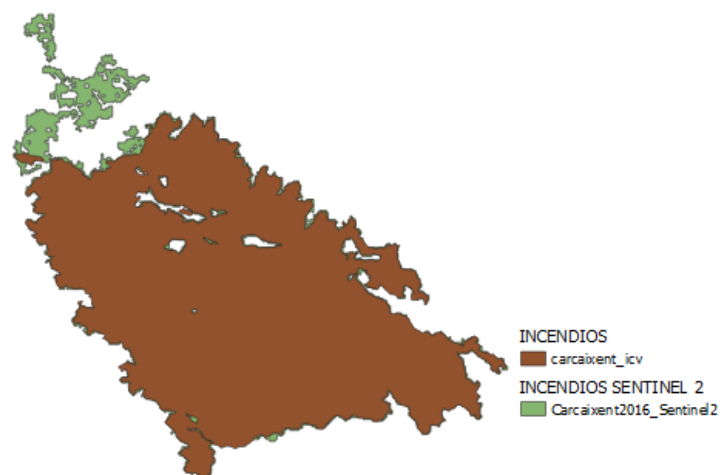


Ilustración 25 Comparación Incendio Carcaixent ICV/Sentinel 2

Como se había mostrado anteriormente, no toda la zona detectada es perteneciente al incendio, esto también se puede observar en los valores del NBR, como los menores, cercanos a 0, son zonas de falso positivo.

Para analizar la severidad del incendio se han obtenido los histogramas de los índices, en los momentos de antes y después del fuego:

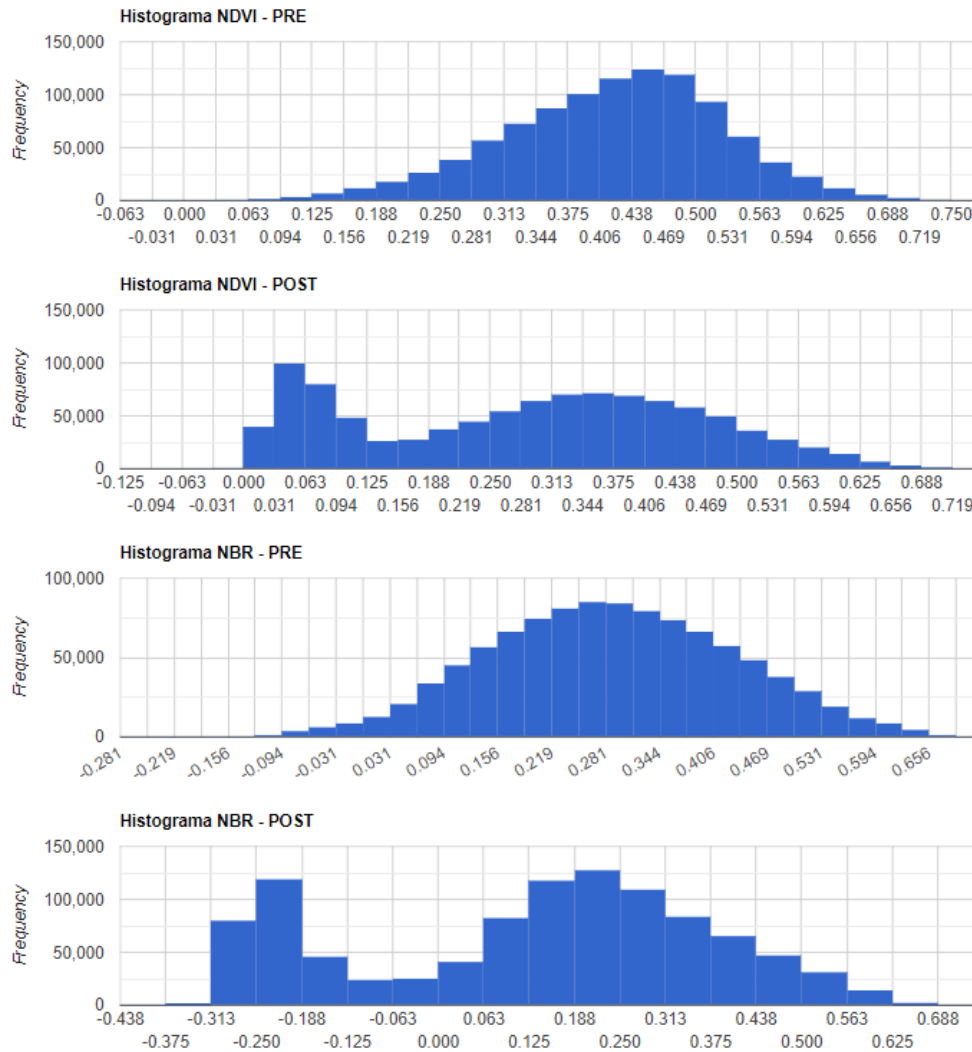


Tabla 10 Histogramas NDVI/NBR Carcaixent, Fuente: propia

Se observa un claro descenso en los valores del NDVI, lo que indica una pérdida de la vegetación. Se observa también como el índice NBR ha pasado a valores cercanos a -0.25, lo que indica que estamos ante una zona que, pasado el incendio, se encuentra en sus primeras fases de recuperación de su vegetación, aunque la presencia de valores cercanos a 0 indica que aún hay zonas dañadas por el fuego.

Como otro método para analizar los daños causados por el fuego y su evolución se trabaja con series temporales de los índices NDVI y NBR

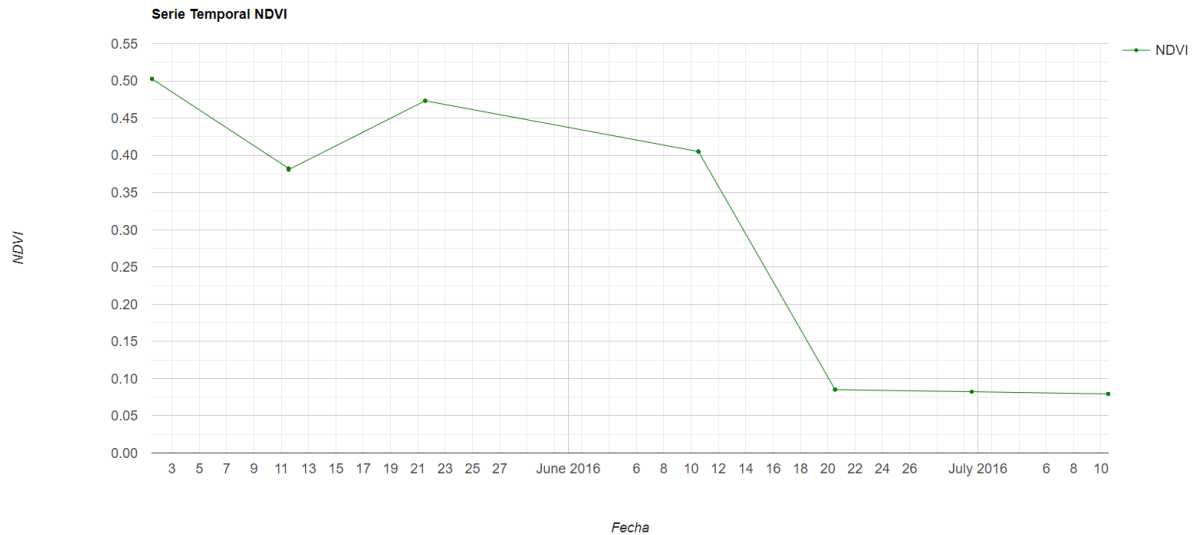


Tabla 11 Serie temporal NDVI Carcaixent, Fuente: propia

Se observa un claro descenso de los valores de vegetación y como este descenso se mantiene pasado el incendio, lo que significa que en la zona afectada se ha perdido casi la totalidad de la vegetación presente.

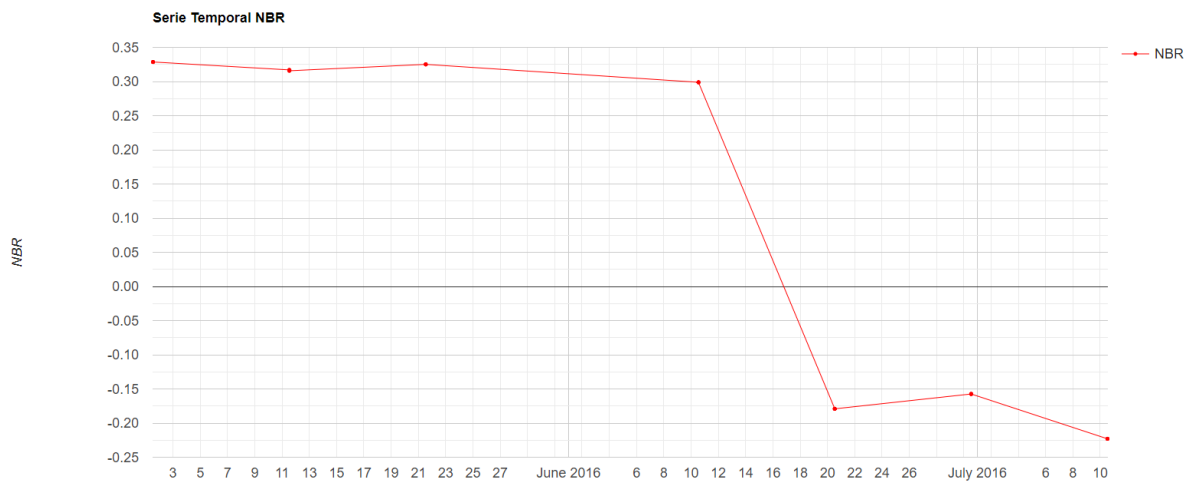


Tabla 12 Serie temporal NBR Carcaixent, Fuente: propia

Además, existe un claro descenso de los valores de NBR, lo que significa que la zona estudiada se ha visto afectada por un incendio.

Se obtienen posteriormente las series temporales de ambos índices para un año después, con el objetivo de ver su evolución y de cómo se ha recuperado la zona.

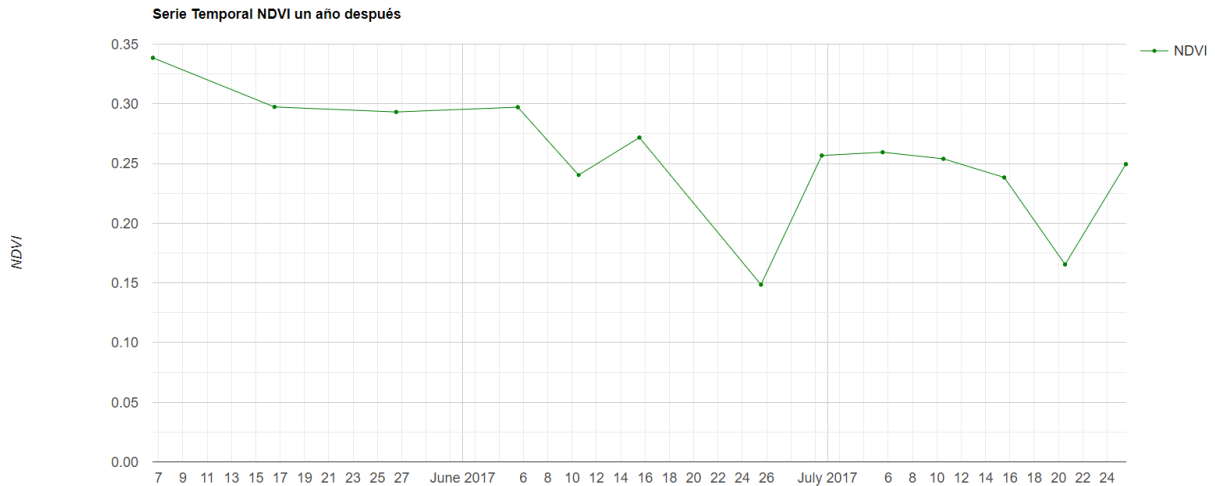


Tabla 13 Serie temporal un año después NDVI, Fuente: propia

Respecto al índice NDVI, se observan valores de vegetación más elevados, cercanos a 0.3, lo que indicaría que la vegetación que había anterior al incendio no se habría recuperado.

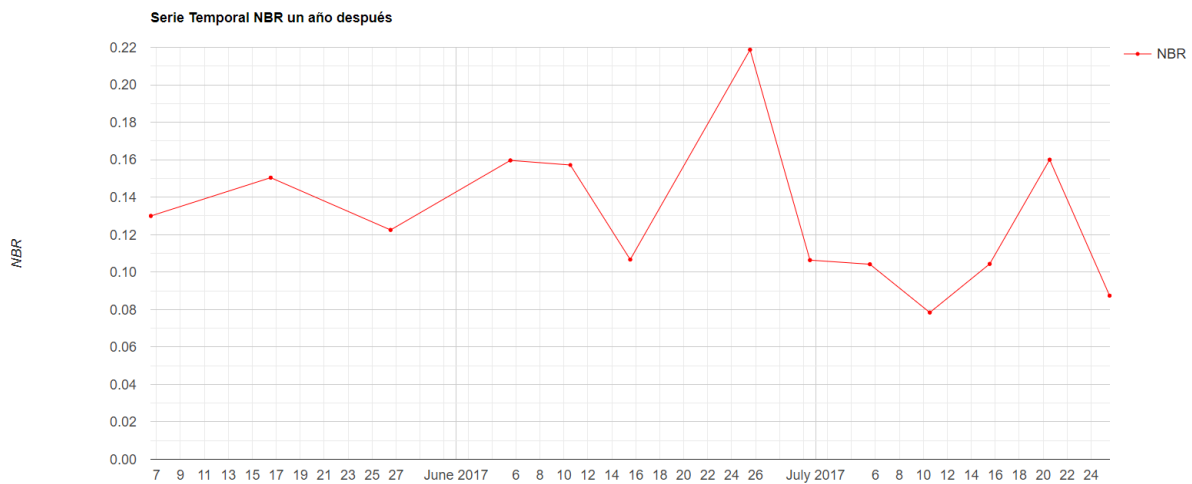


Tabla 14 Serie temporal un año después NBR, Fuente: propia

Respecto al NBR, se observan como los valores superiores a 0 representan una zona la cual ya no se encuentra afectada por el fuego.

En ambas series temporales se observa un valor anómalo presente el 25 de junio, el cual, debido a un posterior análisis visual, se concluye que es debido a la gran cantidad de nubes ese día, que da como resultado un dato incorrecto. Esto se podría solucionar evaluando si la máscara utilizada para filtrar las nubes funciona correctamente para esta situación en la que la nubosidad que cubren la zona del incendio no es muy densa.



Ilustración 26 Imagen nubosidad Carcaixent, Fuente: Sentinel Hub

También se extrae información en formato Excel de los usos del suelo afectados, gracias a datos extraídos del SIOSE, siendo los siguientes para este incendio:

Por lo que se observa que, ninguna zona artificial, como podrían ser casas o cultivos, en cambio sí se ha visto afectada una gran parte de vegetación arbolada La cual es la siguiente:

| <u>tipo_estr</u> | <u>tipobosque</u> | <u>usoifn</u> | <u>usomfe</u> |
|-----------------------------------|-------------------|--|---------------|
| Bosque | Masas mixtas | Monte arbolado. Bosque | Arbolado |
| Bosque | Coníferas | Monte arbolado. Bosque | Arbolado |
| Matorral | | Monte desarbolado. Matorral | Desarbolado |
| Agrícola | | Agrícola | Cultivos |
| Artificial | | Artificial | Artificial |
| B. Plantación | Coníferas | Monte arbolado. Bosque de plantaciones | Arbolado |
| Pastizal-Matorral | | Monte desarbolado | Desarbolado |
| A.F.M. (Bosquetes) | Coníferas | Monte arbolado. Bosque | Arbolado |
| Minería, Escombreras y Vertederos | | Artificial | Artificial |

Tabla 15 Usos de suelo afectados por el fuego Carcaixent, Fuente: ICV

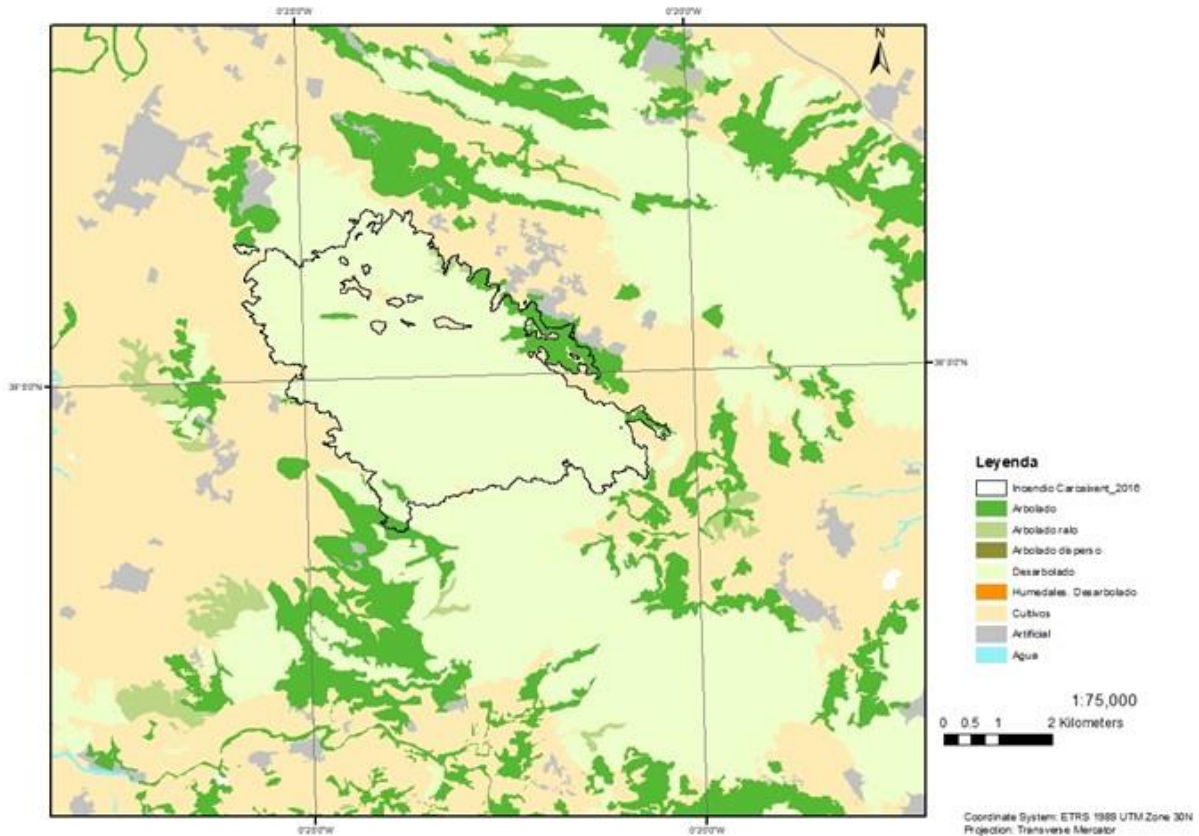


Ilustración 27 Usos del suelo Carcaixent, Fuente: ICV

Destacando principalmente coníferas.

4.4.6.3 Mejora de resolución con GeoSAT 2

Como paso final, se integran imágenes del satélite GeoSAT 2 con el objetivo de mejorar la resolución espacial de los resultados, ya que el satélite Sentinel 2 de la ESA trabaja con una resolución de entre 10 y 60 metros (según la banda), en cambio GeoSAT 2 es capaz de aumentar esta resolución hasta el metro.

4.4.6.3.1 Satélite GeoSAT 2



GEOSAT

El GEOSAT-2 (previamente conocido como Deimos-2) es un satélite especializado en la captura de imágenes de la Tierra. Fue construido para GEOSAT, una empresa hispanoportuguesa, y fue lanzado el 19 de junio de 2014. Hasta el día de hoy, sigue en funcionamiento.

Este satélite es el segundo en formar parte del sistema de observación de la Tierra GEOSAT, sucediendo al GEOSAT-1. Destaca por ser el primer satélite europeo totalmente privado con la

Ilustración 28 Logo Geosat e ilustración satélite Geosat 2

capacidad de proporcionar imágenes multispectrales de alta resolución a nivel submétrico.

El objetivo principal del diseño del GEOSAT-2 fue brindar un servicio eficiente y altamente receptivo para satisfacer la creciente demanda de acceso rápido a imágenes submétricas. Este satélite permite la asignación, descarga, procesamiento y entrega de imágenes casi en tiempo real a los usuarios finales.

Con una capacidad de recolección de más de 150,000 km² por día y un tiempo de revisión promedio de dos días en todo el mundo (un día en latitudes medias), el GEOSAT-2 proporciona una amplia cobertura global para satisfacer diversas necesidades de observación terrestre.

| | |
|---|---|
| Camera | Pushbroom type imager |
| Optics | <ul style="list-style-type: none"> - Korsch telescope of 42 cm aperture diameter (clear aperture of 40 cm diameter) - Focal length = 5.75 m - FOV = 1.2° Optical components in zerodur, fused silica; Hull: CFRP M55J/RS-3 |
| GSD (Ground Sample Distance) | 0.75 m PAN-sharpened, 4 m MS @ 590 km altitude |
| Spectral Bands | Pan: 560-900 nm MS1: 466-525 (blue) MS2: 532-599 (green) MS3: 640-697 (red) MS4: 770-892 (NIR) |
| FPA (Focal Plane Assembly) | CCD detector with TDI capability |
| TDI detector exposure levels of the various bands | PAN: 6, 12, 24, 48 Blue, green: 4, 8, 16 Red, NIR: 2, 4, 8 |
| Data Quantization | 10 bit |
| Swath Width | 12 km at nadir (24 km in wide area mode) |
| Data Handling | Lossless compression, real-time encryption |
| Downlink Data Rate | 160 Mbit/s (QPSK) |
| HIRAS instrument mass, power | 50 kg, -100 W |

Tabla 16 Características técnicas Geosat 2, Fuente: ESA

4.4.6.3.2 Resultados

Gracias a su gran resolución, la precisión de los resultados es mucho mayor.

Mediante el método de evaluación usado anteriormente, se obtienen los % de acierto y los factores calculados para compararlos con los resultados obtenidos con Sentinel 2

- **Carcaixent Sentinel 2 2016:**

TN: 785366px
FN: 9032px
FP: 62211px
TP: 716763px
FE: 0.087
FD: 0.013
% de detección: 98.75%
% de acierto: 90.96%

- **Carcaixent Geosat 2 2016:**

TN: 105990px
FN: 493px
FP: 1450px
TP: 58894px
FE: 0.0246
FD: 0.0084
% de detección: 99,17%
% de acierto: 96,81%



Ilustración 30 Imagen en falso color Carcaixent, Fuente: Geosat 2

Esta máscara se ha obtenido utilizando las bandas roja e infrarroja disponibles en las imágenes ofrecidas por el satélite, se ha obtenido la imagen coincidente con la zona y las fechas del incendio, siendo esta la imagen:

2016-06-20_DE2_L0R_000000_20160620T101633_20160620T101636_DE2_10855_495D. Ofrecida en el catálogo de imágenes de la empresa. Una vez obtenido el NBR con dicha imagen se ha obtenido la máscara coincidente con la zona del incendio, es decir la zona detectada como incendio, siendo la siguiente:

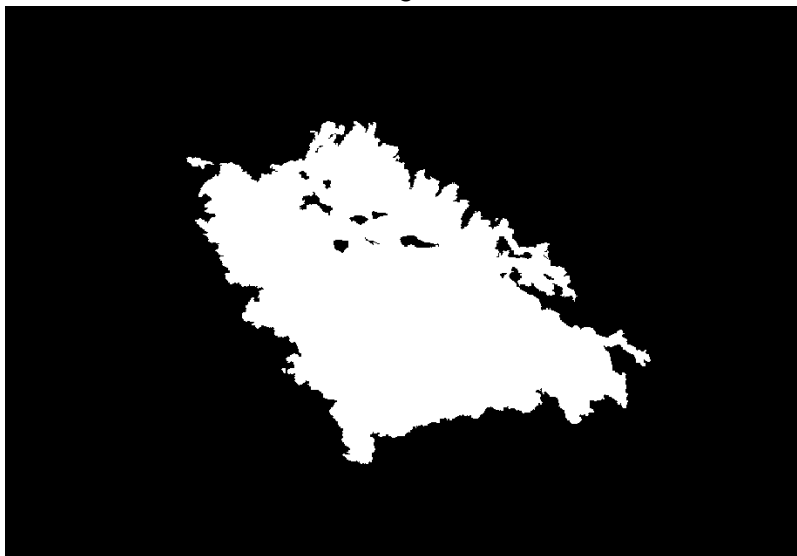


Ilustración 31 Máscara incendio Carcaixent Fuente: GeoSat 2

Lo que indica que a pesar de que, la detección con Sentinel 2 ya tenía valores bastante elevados, gracias a la mayor resolución de las imágenes, se obtiene un mayor porcentaje de acierto con los datos obtenidos con el satélite Geosat 2.

4.5 Conclusiones y posibles mejoras

Para finalizar, se concluye que la herramienta desarrollada presenta una elevada precisión a la hora de detectar incendios forestales y de cuantificar los daños causados por estos, en cambio se observan valores relativamente elevados en los factores de exceso, lo que indica que aproximadamente el 8% de los píxeles detectados como incendios no lo son. Esto se podría resolver de diferentes formas:

- 1) Mejorando la resolución de los datos de partida y de los procesos del análisis de los % de acierto.
- 2) Integrandos imágenes de satélites del sector privado con mejor resolución espacial.
- 3) Analizando los rangos de valores utilizados en los índices para obtener las máscaras del incendio, los cuales con una calibración más exacta podrían representar de forma más fiable el área.

De todas formas, se está trabajando con un método de teledetección, el cual ofrece menor acierto a la hora de representar de manera precisa áreas que otras técnicas, como sería obtener datos en campo por GPS. Pero sí ofrece una mayor facilidad, velocidad de trabajo y posibilidad de integrar datos de severidad con respecto a técnicas de campo.

Dentro de las posibilidades de ampliación, existiría la posibilidad de análisis de los gases emitidos a la atmósfera con datos del Sentinel 5, o estudiar la viabilidad de utilizar datos de Sentinel 1, el cual al ser tecnología SAR ayudaría a representar las zonas afectadas sin verse afectado por la climatología, pero sin poder representar la severidad.

5. Modelo FireGeoAlert (Fire Geospatial Analysis)

5.1 Introducción

FireGeoAlert consiste en un modelo que, mediante datos geoespaciales, tanto datos vectoriales como datos raster, clasifica la zona a la que se aplique según los niveles de peligrosidad que pueda representar un futuro incendio forestal.

5.2 Metodología

El estudio se ha realizado utilizando herramientas como QGIS “3.26.3-Buenos Aires”, se han utilizado datos extraídos del modelo forestal español, de AEMET, de catastro y del ICV. El proceso de trabajo consiste en una clasificación de 7 variables, las cuales mediante clasificación por cuantiles se han clasificado en 5 niveles, siendo 0 el valor de menor riesgo y 4 el de mayor peligrosidad.

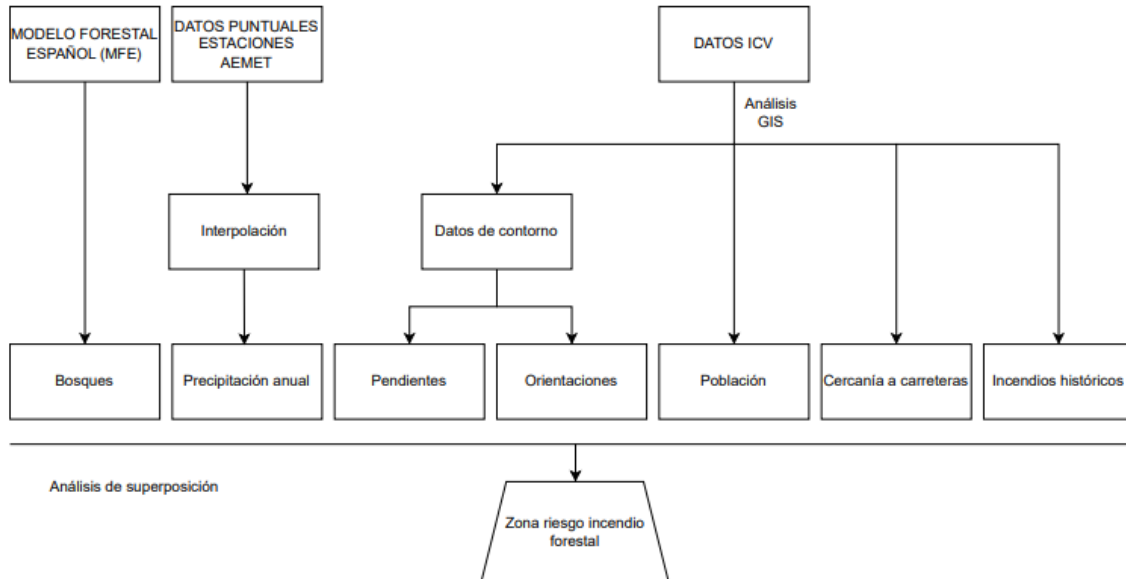


Ilustración 32 Flujo de trabajo modelo de riesgos, Fuente: propia

Siendo, las presentes en la siguiente ilustración (Ilustración 30), las variables utilizadas para la creación del modelo, junto a su correspondiente clasificación de valores.

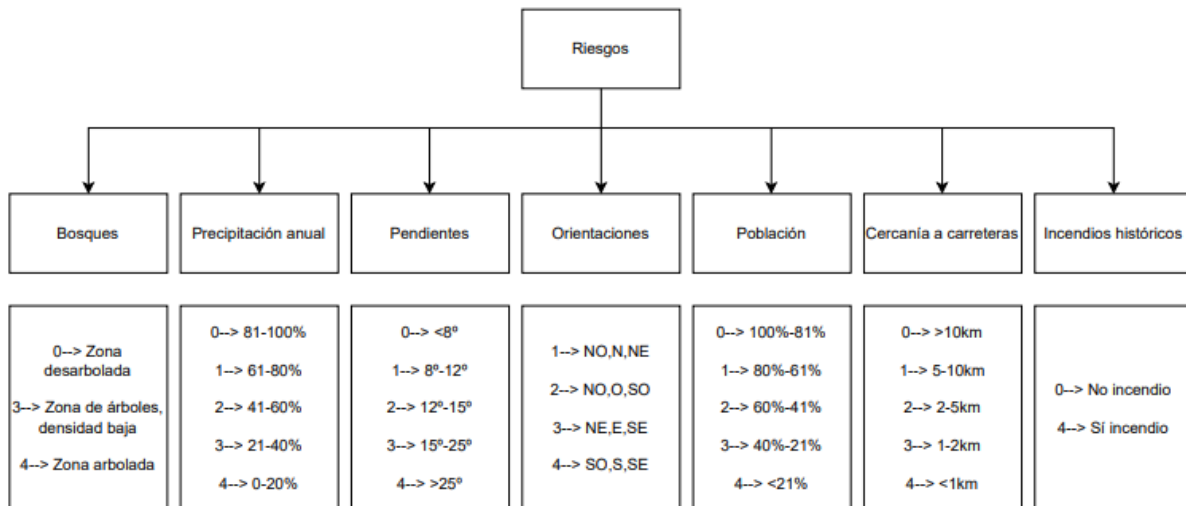


Ilustración 33 Esquema variables y sus ránkines, Fuente: propia

Exponiendo (Tabla 17) la escala/resolución junto a la fuente y el año de obtención de cada una de las variables.

| DATOS | ESCALA/RESOLUCIÓN | FUENTE | AÑO |
|-----------------|-------------------|--------|------|
| BOSQUES | 1:50.000 | MFE | 2005 |
| PRECIPITACIONES | --- | AEMET | 2020 |
| ORIENTACIONES | 200m | IGN | 2009 |
| PENDIENTES | 200m | IGN | 2009 |
| POBLACIÓN | --- | ICV | 2023 |

| | | | |
|----------------------|--------|-----|-----------|
| CERCAÑÍA CARRETERAS | 1:5000 | ICV | 2023 |
| INCENDIOS HISTÓRICOS | 1:5000 | ICV | 1993-2017 |

Tabla 17 Escala, fuente y año de las variables, Fuente: propia

Para el modelado se han aplicado previamente diferentes pesos a cada variable según la afección de estas a un posible fuego forestal. La designación de estos pesos (Tabla 18) se ha basado en diferentes estudios y trabajos similares, como el *“Identification and modelling of forest fire severity and risk zones in the Cross – Niger transition forest with remotely sensed satellite data”* redactado por el departamento de geoinformática de la facultad de ciencias ambientales de la universidad de Nigeria.

| PARÁMETRO | CLASE | RANQUING | PESO | RIESGO |
|-----------------|----------------|----------|------|-------------|
| BOSQUES | NO ARBOLES | 0 | 5 | Muy bajo |
| | POCA DENSIDAD | 3 | | Elevado |
| | MUCHA DENSIDAD | 4 | | Muy elevado |
| LLUVIAS ANUALES | 81-100% | 0 | 1 | Muy bajo |
| | 61-80% | 1 | | Bajo |
| | 41-60% | 2 | | Medio |
| | 21-40% | 3 | | Elevado |
| | 0-20% | 4 | | Muy elevado |
| PENDIENTES | <8º | 0 | 3 | Muy bajo |
| | 8º-12º | 1 | | Bajo |
| | 12º-15º | 2 | | Medio |
| | 15º-25º | 3 | | Elevado |
| | >25º | 4 | | Muy elevado |
| ORIENTACIONES | NO, N, NE | 1 | 3 | Bajo |
| | NO, O, SO | 2 | | Medio |
| | NE, E, SE | 3 | | Elevado |
| | SO, S, SE | 4 | | Muy elevado |
| POBLACIÓN | Q5 <= 100% | 0 | 2 | Muy bajo |
| | Q4 <= 80% | 1 | | Bajo |
| | Q3 <= 60% | 2 | | Medio |
| | Q2 <= 40% | 3 | | Elevado |
| | Q1 <= 20% | 4 | | Muy elevado |
| CARRETERAS | >10km | 0 | 1 | Muy bajo |
| | 5-10km | 1 | | Bajo |
| | 2-5km | 2 | | Medio |
| | 1-2km | 3 | | Elevado |
| | <1km | 4 | | Muy elevado |
| INCENDIOS | SI | 0 | 4 | Muy bajo |
| | NO | 4 | | Muy elevado |

Tabla 18 Variables, clases y pesos, Fuente: propia

Para su relación, la ecuación utilizada se resume en:

$$FGA = \sum Wi+Ci$$

Siendo, W_i el peso asignado a cada variable y C_i el valor de ranking de cada variable estudiada.

La ecuación resultante es:

$$RV = 5B + 4I + 3(Pe + O) + 2Po + C + Ll$$

Siendo B la variable Bosques, I incendios históricos, Pe pendientes, O orientaciones, Po población, C cercanía a carreteras y Ll lluvias medias anuales.

Una vez obtenidos los resultados de la anterior ecuación, con el objetivo de simplificar los resultados a 5 clases, entre 0 y 4 como las variables usadas, se realiza una clasificación por cuantiles de los resultados.

5.3 Caso práctico, aplicación del modelo a la provincia de valencia

Se ha aplicado el modelo a la zona de la provincia de Valencia para obtener un mapa de peligrosidad de incendios forestales en la zona estudiada.

5.3.1 Variables

Bosques:

Se ha dividido la variable en 3 subgrupos, siendo estos zonas de bosques, zonas de densidad baja de árboles y zonas sin árboles. Esto se ha establecido a partir de la premisa de que una mayor densidad de vegetación puede ser más vulnerable a que el fuego se propague. (Ilustración 35)

Precipitaciones medias anuales:

La afección de esta variable a un incendio forestal se puede ver desde dos puntos distintos. Esta influye a la disponibilidad de combustible vegetal (J.T Abatzoglou et al. 2013). La precipitación anual afecta directamente a la disponibilidad y la sequedad del combustible vegetal en un área forestal. Cuanto mayor sea la precipitación, mayor será la acumulación de biomasa vegetal, lo que puede aumentar el riesgo de incendios.

Además, afecta directamente a la humedad de la vegetación y el suelo, cuando la precipitación es alta, los combustibles vegetales tienden a mantener niveles de humedad más altos, lo que dificulta la ignición y la propagación del fuego. (Ilustración 36)

Orientaciones:

La orientación del terreno es un factor importante a tener en consideración a la hora de evaluar la propagación de un incendio forestal. Esta afecta directamente a la insolación recibida por el terreno, la cual puede secar la vegetación presente y el suelo. En el análisis se clasifica en cuatro clases, siendo el valor más alto los valores comprendidos entre el Se y el SO, ya que como se expone en el trabajo de investigación "*Identification and modelling of forest fire severity and risk zones in the Cross – Niger transition forest with remotely sensed satellite data*" redactado por el departamento de geoinformática de la facultad de ciencias ambientales de la universidad de Nigeria esta orientación es la que mayor cantidad de luz solar recibe a lo largo del día. Los valores menores corresponden a las zonas orientadas hacia el norte. (Ilustración 37)

Pendientes:

Un fuego se propaga a mayor velocidad cuando la pendiente aumenta debido a factores como, la acumulación de calor o cambios de geometría en el fuego, es decir en terrenos con pendientes más pronunciadas las llamas pueden elevarse más verticalmente, lo que aumenta la columna de fuego. Se ha subdividido en 5 niveles, siendo 0 los valores menores de 8° de pendiente y 4 los de más de 25°. (Ilustración 39)

Población:

La cantidad de población puede afectar directamente a la posibilidad de origen de un incendio forestal, debido a que, de manera intencionada o voluntaria, la posibilidad de que se dé un incendio por causas humanas aumenta. Según el artículo *“Incendios forestales, 99% provocados por el hombre”* escrito por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, el 99% de los incendios forestales son causados por acción humana. Para clasificar esta variable se divide la zona analizada en 5 grupos, siendo el grupo de mayor valor las zonas que acumulan un valor de población por encima del 81% y el menor las zonas que acumulan un valor de población solo por encima del 20% restante como máximo. (Ilustración 38)

Cercanía de carreteras:

Esta variable se puede relacionar con la anterior, ya que lo que se ha tenido en cuenta en esta es como, la cercanía y densidad de carreteras en una zona significa directamente una mayor densidad de población en la zona. Se ha subdividido en 5 niveles, siendo el de mayor valor el que presenta carreteras a menos de 1 km y el de menor el que las presenta a más de 10km. (Ilustración 40)

Incendios históricos:

Después de un incendio, la vegetación regenerada puede ser más inflamable y tener un mayor contenido de combustible fino, ya que no se ha tenido tiempo de que la vegetación de gran tamaño se recupere, solo vegetación baja y fina, lo que la hace más fácil de quemar. Se ha dividido en dos niveles, siendo presencia de incendios y no. (Ilustración 41)

Respecto al procedimiento, las variables se dividen en dos grupos, las variables en formato vectorial y las variables disponibles en formato raster. Al trabajar con ambas se han de transformar a un formato común, por lo que los datos raster se han vectorizado, pero debido al tamaño de los datos, este vectorizado se ha realizado de la siguiente manera:

- Creación de cuadrícula: Se crea una cuadrícula, de 500 m de tamaño de píxel, se ha establecido esta resolución debido a la limitación de computación y la cantidad de datos que contiene cada capa, pero este se puede variar según las necesidades y la precisión requerida), del tamaño del área en la que se va a aplicar el modelo. En este caso del de la provincia de Valencia.



Ilustración 34/ Cuadrícula CV y zoom cuadrícula 500x500m

- Asignar valores: A cada celda de la cuadrícula se le asigna el valor correspondiente a la variable raster, es decir, se sobrepone el raster y se le asigna el valor a la celda con la que solape.
- Clasificación: Seguido, estos valores se clasifican en los grupos previamente expuestos según cada variable, con el fin de obtener una cartografía con dichos valores representados, y, para simplificar el mapa resultante, se aplica un dissolve para unir las celdas con similar valor.

Para las variables de datos puntuales, como las precipitaciones, se ha creado una capa vectorial de puntos, la cual tiene un punto por cada estación pluviométrica utilizada, a cada cual se le ha asignado su valor medio anual de lluvias. Una vez asignados los valores se ha interpolado para que cubra toda el área la cual se pretenda representar, la provincia de Valencia en este caso.

Para concluir, las variables en formato vectorial con geometría tipo área, como podría ser la población, al ya estar en formato vectorial en forma de área el proceso es mas simple, ya que solo se deberán clasificar los datos según lo expuesto anteriormente para poder representarlos y relacionarlos con el resto de las variables.

Se han obtenido los siguientes planos:

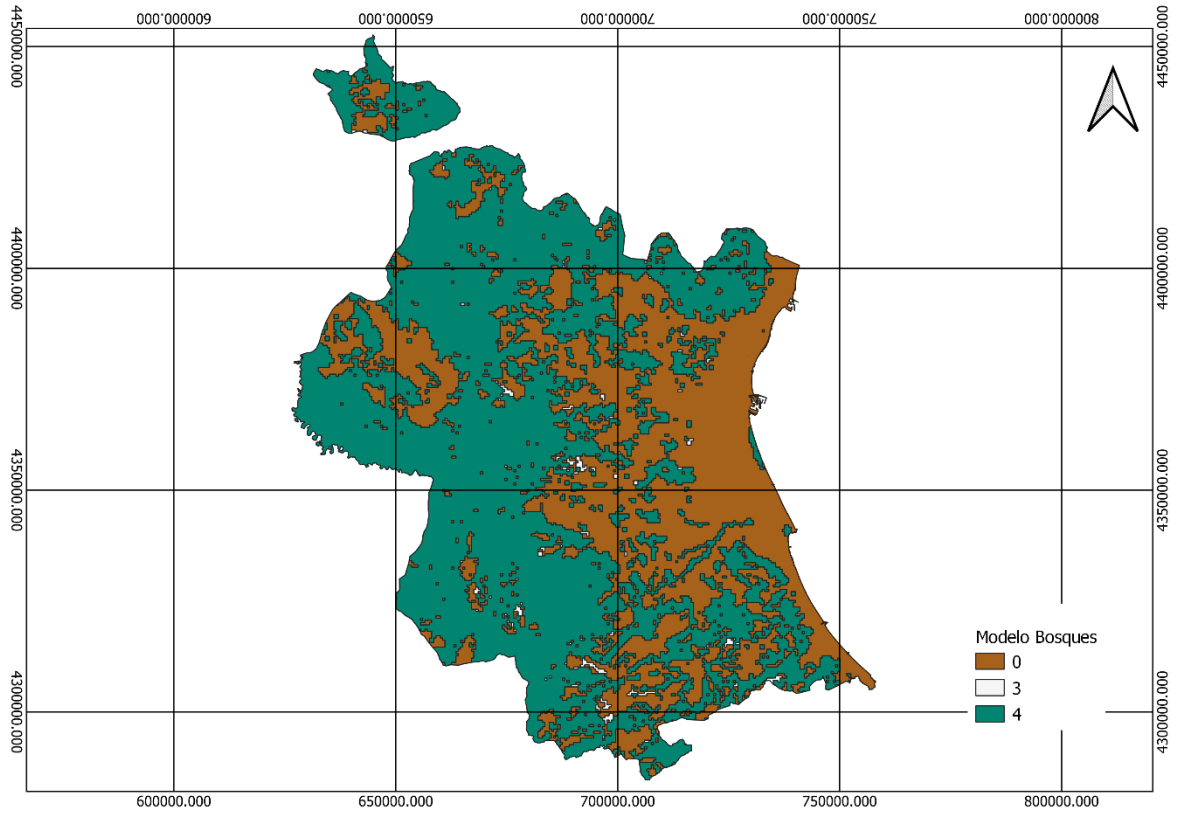


Ilustración 35 Modelo bosques, Fuente: propia

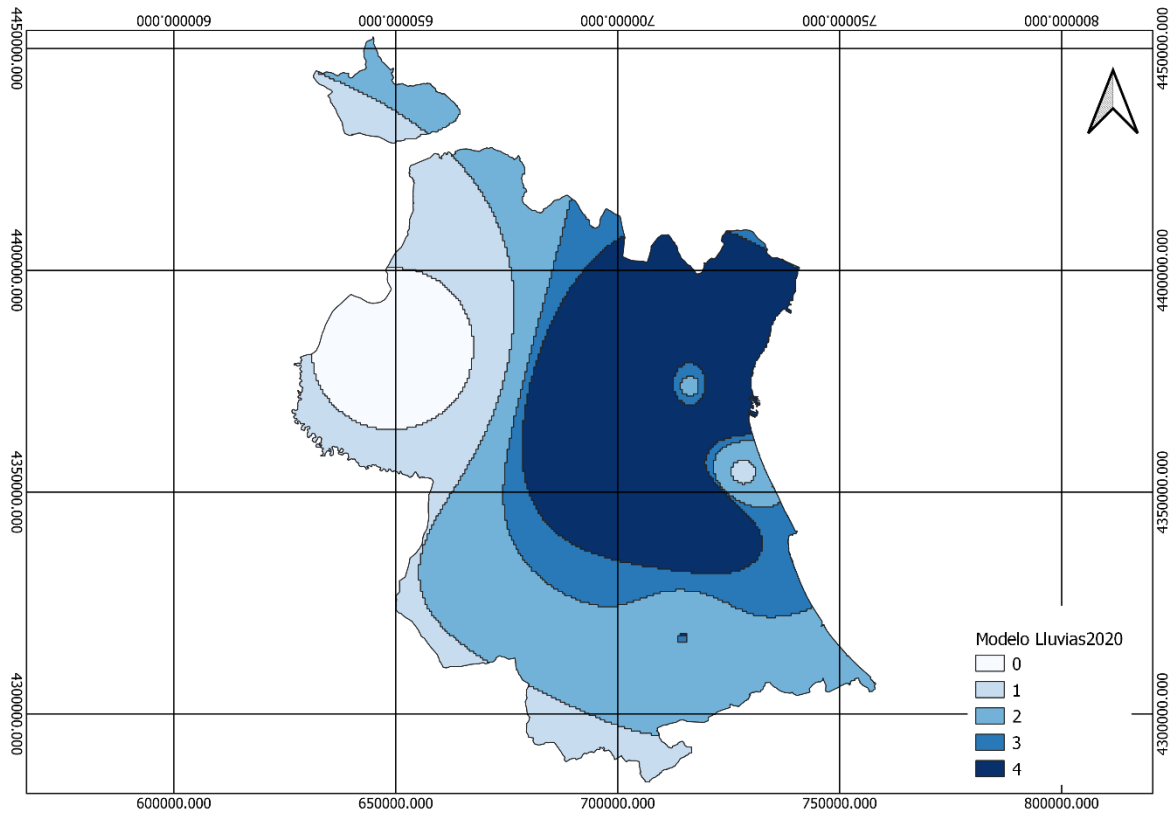


Ilustración 36 Modelo Lluvias, Fuente: propia

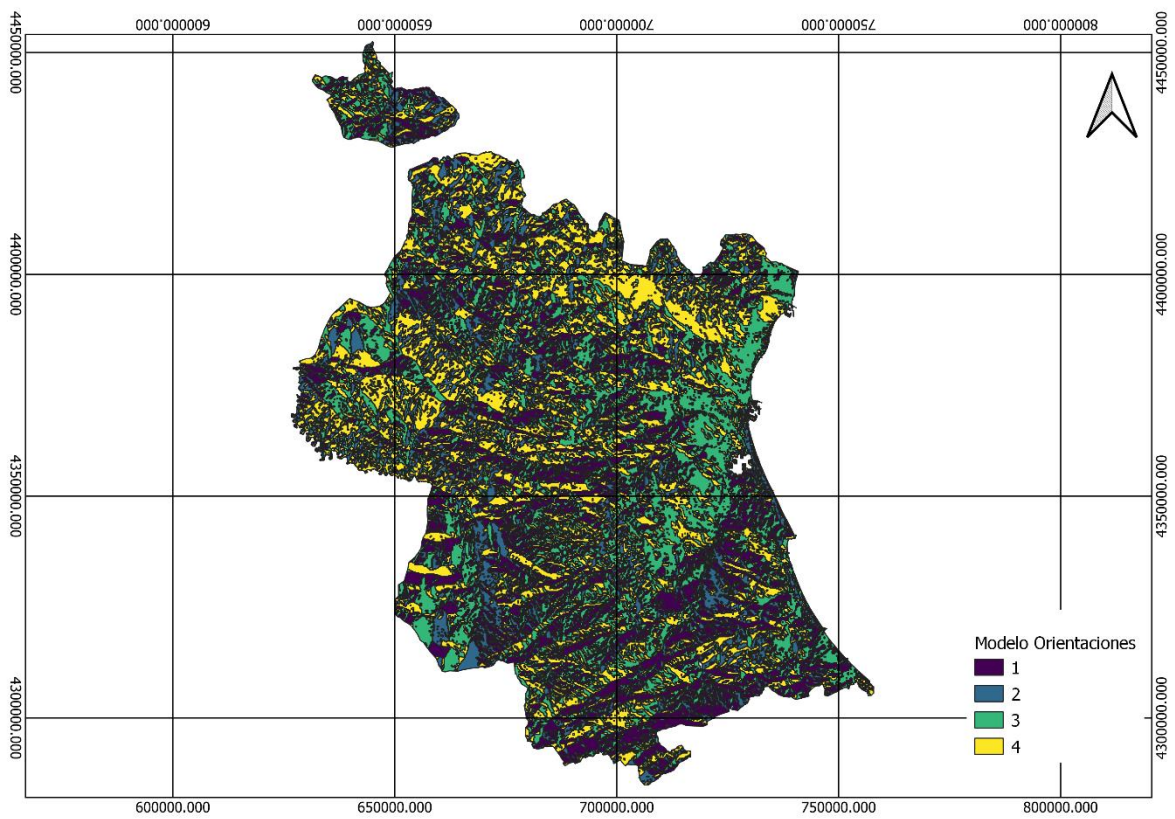


Ilustración 37 Modelo orientaciones, Fuente: propia

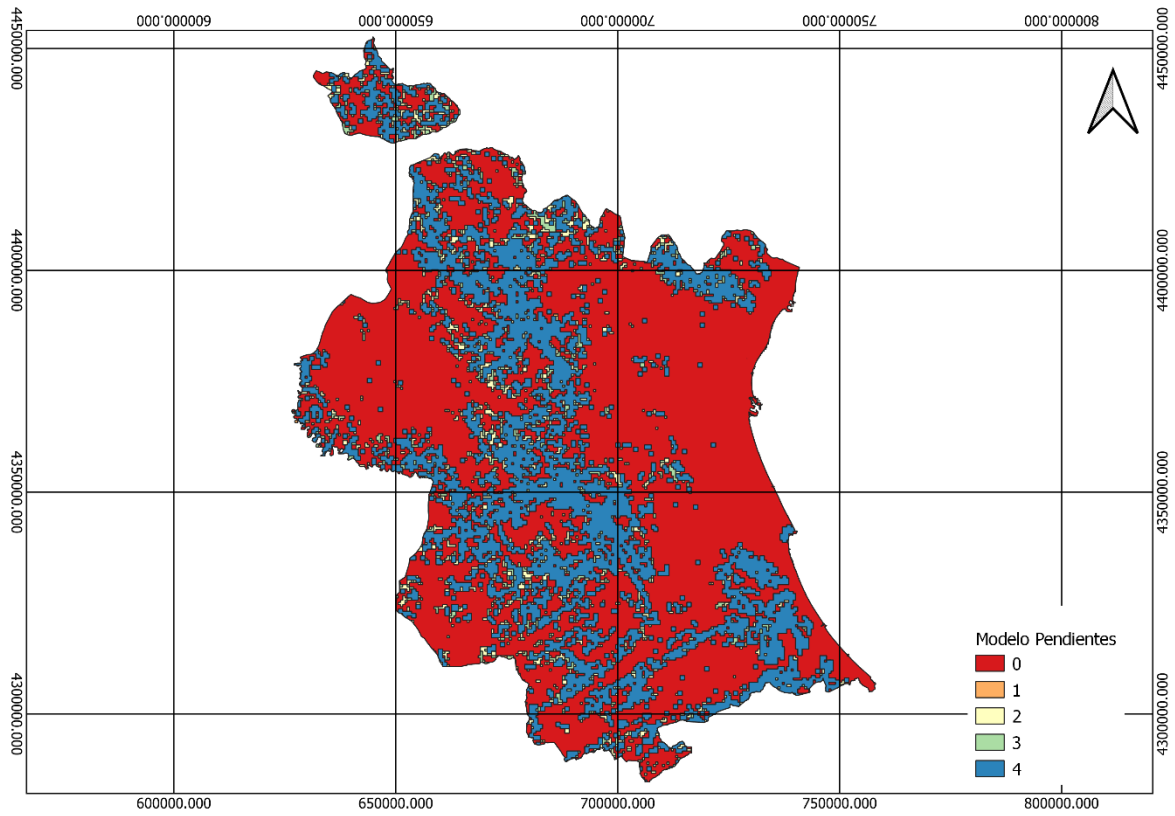


Ilustración 39 Modelo pendientes, Fuente: propia

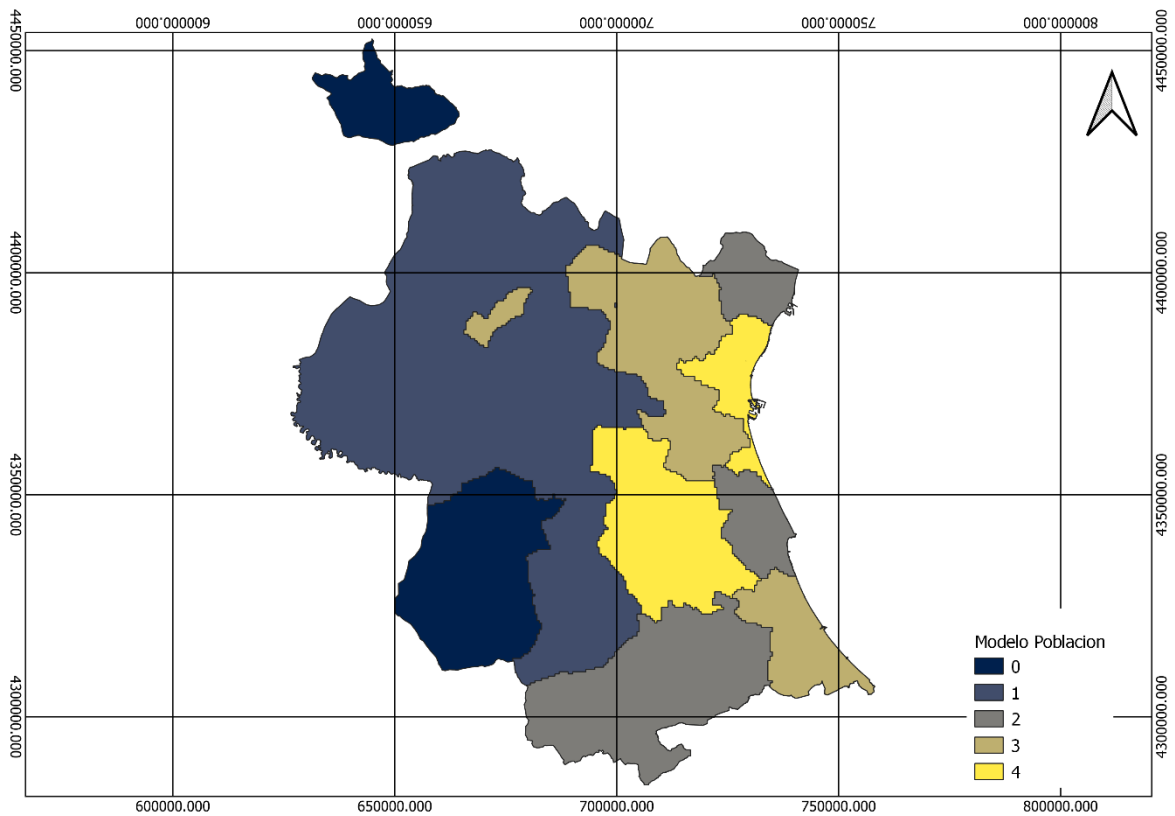


Ilustración 38 Modelo población, Fuente: propia

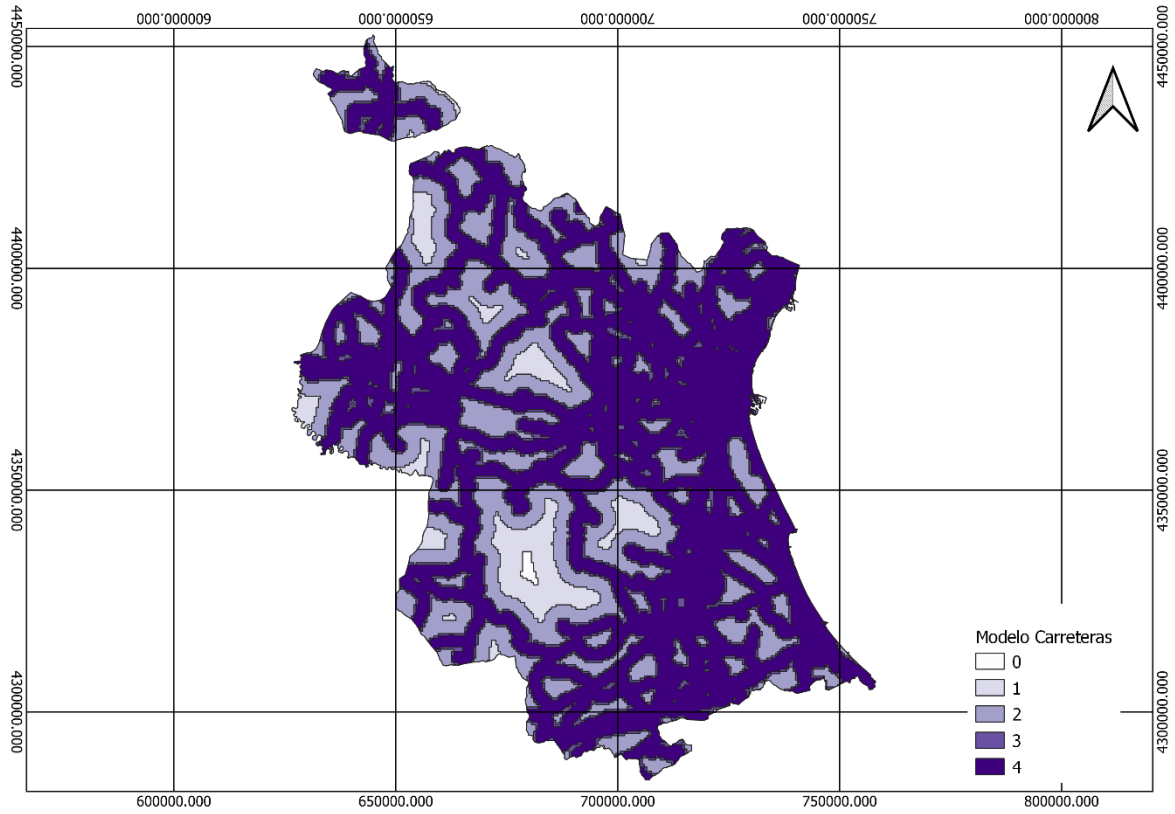


Ilustración 40 Modelo carreteras, Fuente: propia

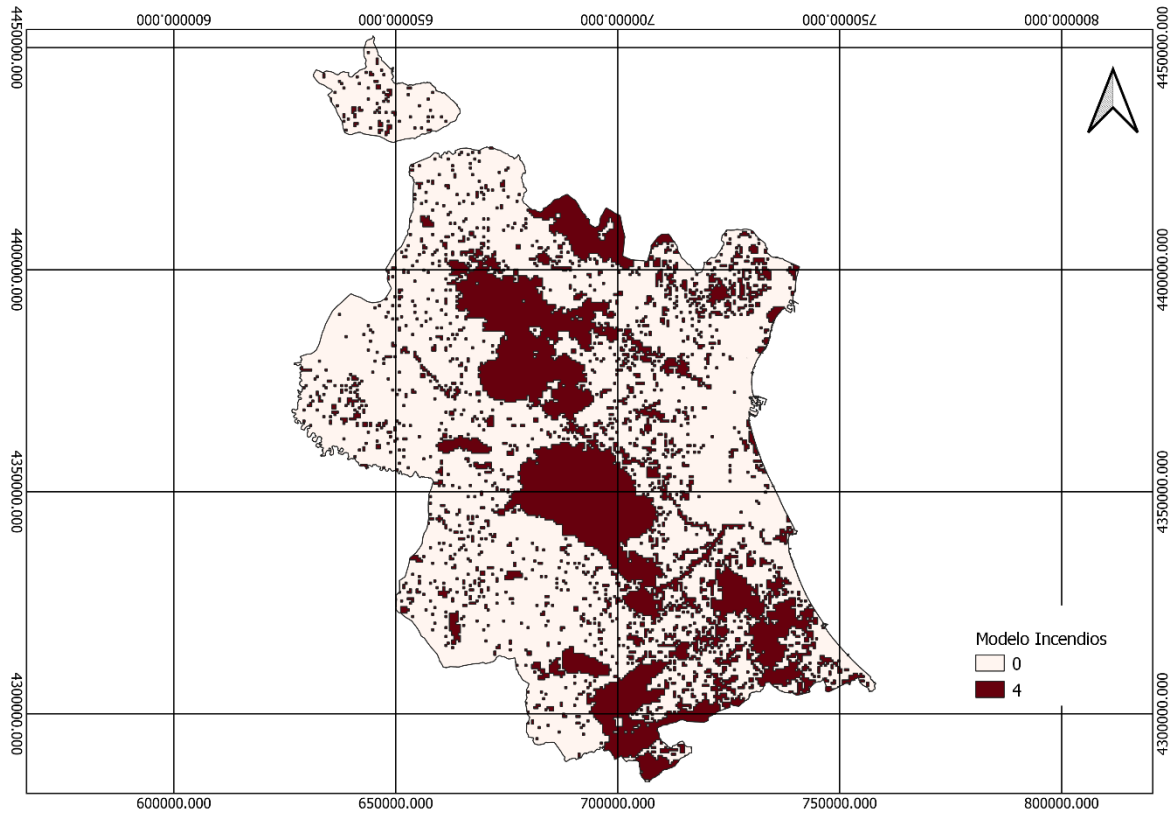


Ilustración 41 Modelo incendios, Fuente: propia

- Obtenidos cada uno de los mapas (presentes en Anejos, apartado 9) se aplica la fórmula previamente mostrada para obtener la cartografía que represente al modelo aplicado en la zona estudiada.
- Una vez relacionadas las diferentes variables con la fórmula anteriormente expuesta se obtiene un rango de resultados el cual se debe simplificar, en este caso de 0 a 76, estos resultados se clasifican por cuantiles en 5 clases, siendo estos grupos:
 - Nivel 0: Riesgo muy bajo (Valores entre 0 y 31)
 - Nivel 1: Riesgo bajo (Valores entre 32 y 39)
 - Nivel 2: Riesgo moderado (Valores entre 40 y 45)
 - Nivel 3: Riesgo alto (Valores entre 46 y 54)
 - Nivel 4: Riesgo muy alto (Valores 55 y 76)

Obteniendo como resultado del análisis la siguiente cartografía:

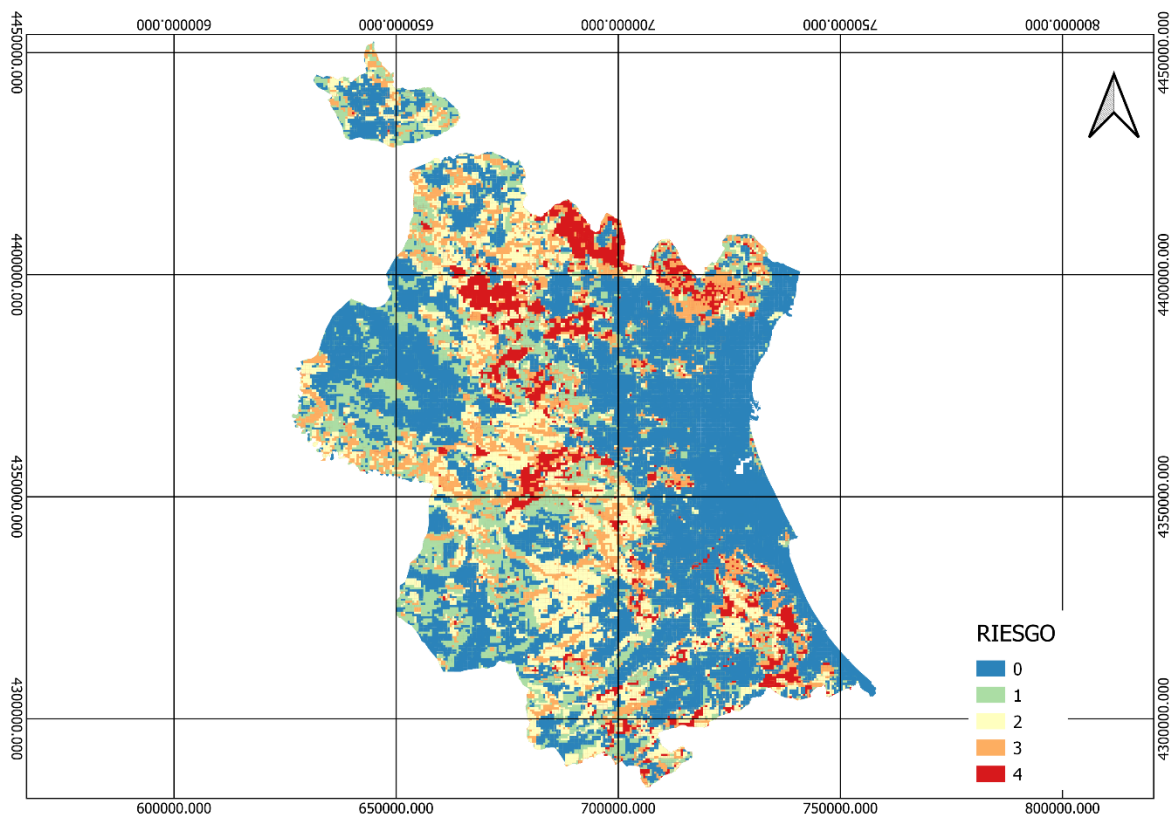


Ilustración 42 Modelo aplicado a la provincia de Valencia, Fuente: propia.

6. Presupuestos

A partir del BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022 se extrae la siguiente tabla, la cual indica los salarios para cada nivel salarial, siendo el que interesa el nivel 1, ya que como graduados en ingeniería geomática y topografía, equivalemos al nivel salarial 1



Año 2022

| Nivel salarial | Tabla salarial art. 33 | | Plus convenio según art. 38 convenio | Total anual |
|----------------|------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------|
| | Mes x 14 | Anual | | |
| 1 | 1.765,51 | 24.717,14 | 2.396,68 | 27.113,82 |
| 2 | 1.331,06 | 18.634,84 | 2.396,68 | 21.031,52 |
| 3 | 1.283,52 | 17.969,28 | 2.396,68 | 20.365,96 |
| 4 | 1.176,74 | 16.474,36 | 2.396,68 | 18.871,04 |
| 5 | 1.051,43 | 14.720,02 | 2.396,68 | 17.116,70 |
| 6 | 905,87 | 12.682,18 | 2.396,68 | 15.078,86 |
| 7 | 875,48 | 12.256,72 | 2.396,68 | 14.653,40 |
| 8 | 864,28 | 12.099,92 | 2.396,68 | 14.496,60 |
| 9 | 857,97 | 12.011,58 | 2.396,68 | 14.408,26 |

Tabla 19 Tabla salarial, Fuente: BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022

| Grupo profesional | Nivel salarial | Personal Técnico | Personal Administrativo |
|-------------------|----------------|---|--|
| | | Puestos de trabajo (relación no exhaustiva) | Puestos de trabajo (relación no exhaustiva) |
| I | 1 | INGENIERO; ARQUITECTO; DOCTOR; LICENCIADO; TITULADO 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO; GRADUADO UNIVERSITARIO CON MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL HABILITANTE O MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL (MÍN. 60 ECTS). CUANDO APOORTE ESPECIALIZACIÓN Y COMPETENCIAS PROFESIONALES NECESARIAS PARA EL DESEMPEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO. ANALISTA. | LICENCIADO; TITULADO 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO; GRADUADO UNIVERSITARIO CON MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL HABILITANTE O MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL (MÍN. 60 ECTS). CUANDO APOORTE ESPECIALIZACIÓN Y COMPETENCIAS PROFESIONALES NECESARIAS PARA EL DESEMPEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO. |
| | 2 | GRADUADO UNIVERSITARIO; INGENIERO TÉCNICO; ARQUITECTO TÉCNICO; APAREJADOR; DIPLOMADO UNIVERSITARIO; TITULADO 1er. CICLO UNIVERSITARIO. | GRADUADO UNIVERSITARIO; DIPLOMADO UNIVERSITARIO; TITULADO 1er. CICLO UNIVERSITARIO |
| II | 3 | TÉCNICO DE CÁLCULO O DISEÑO; PROGRAMADOR INFORMÁTICO. | JEFE 1.º ADMINISTRATIVO |
| | 4 | DELINEANTE-PROYECTISTA. | JEFE 2.º ADMINISTRATIVO |
| III | 5 | DELINEANTE; TÉCNICO 1.º; TÉCNICO MODELADOR BIM; TÉCNICO INFORMÁTICO. | OFICIAL 1.º ADMINISTRATIVO; TRADUCTOR E INTÉRPRETE NO JURADO DE UNO O MÁS IDIOMAS EXTRANJEROS |
| | 6 | TÉCNICO 2.º | OFICIAL 2.º ADMINISTRATIVO |
| IV | 7 | VIGILANTE/SUPERVISOR/INSPECTOR DE OBRA; AUXILIAR TÉCNICO. | AUXILIAR ADMINISTRATIVO; TELEFONISTA-RECEPCIONISTA |
| | 8 | AYUDANTE. | |

Tabla 20 Tabla grupos profesionales, Fuente: BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022

Por lo que se obtienen los siguientes presupuestos totales.

| Personal | Salario Base | Salario Bruto | Plus por convenio | Total Anual | Seguridad Social |
|--------------------------|--------------|---------------|-------------------|-------------|------------------|
| Ingeniero/a en Geomática | 1.765,51 € | 21.186,12 € | 2.396,68 € | 28760,16 | 580,85 € |

Tabla 21 Tabla salario/seguridad social

| Coste Total Empresa | Coste X Día de Trabajo |
|---------------------|------------------------|
| 29,341.01 € | 108,94 € |

Tabla 22 Costes empresa

| Material | Licencia |
|---------------------|------------|
| QGIS | Gratuita |
| Google Earth Engine | Gratuita |
| Ordenador | 1.800,00 € |

Tabla 23 Costes materiales

| Teledetección | | | | | | |
|--|-----------|----------------|----------|---|---------|-------------------|
| Aprendizaje del uso de Google Earth Engine | 150 horas | Ing. Geomática | 680.88 € | Google Earth Engine | 1,800 € | 953.23 € |
| Aplicación de Google Earth Engine para desarrollo del software | | Ing. Geomática | | | | |
| Documentación | | Ing. Geomática | | | | |
| Análisis incendio Carcaixent | | Ing. Geomática | | | | |
| Trabajo SIG incendio | 60 horas | Ing. Geomática | 272.35 € | QGIS | | |
| Creación de los mapas necesarios | | Ing. Geomática | | | | |
| Análisis de los resultados y severidad | | Ing. Geomática | | | | |
| SIG | | | | | | |
| Estudio variables para modelo | 150 horas | Ing. Geomática | 680.88 € | Centro de Descargas del IGN, ICV, AEMET | 1,800 € | 680.88 € |
| Modelaje y análisis SIG | | Ing. Geomática | | QGIS | | |
| Análisis final | | Ing. Geomática | | QGIS | | |
| TOTAL | | | | | | 3,434.10 € |

Tabla 24 Costes totales

Lo que da como resultado final un valor total de 3434,10€ al trabajo realizado.

7. Conclusiones

Una vez realizada la herramienta para detectar incendios y analizada su confianza a la hora de detectarlos se puede determinar que, aun con factores en contra como los presentados por las condiciones climáticas, datos anómalos presentados por zonas distintas a zonas de cobertura vegetal, la precisión de la detección bastante alta, aun así, mejorable. Una de la principal mejora sería analizar si, los umbrales utilizados para la detección pueden calibrarse mejor aún. Aun así, se puede determinar que el análisis realizado por la herramienta llega a ser bastante acertado.

Con respecto al modelo, este depende fuertemente de las variables en las que se basa y de los pesos que se le aplican, en este caso los pesos se han asignado según, basándose en trabajos similares, su importancia a la hora de afectar al inicio y propagación de un posible incendio forestal. La precisión de la representación depende, entre otras cosas, de la resolución de la cartografía empleada en el proceso de trabajo de los datos en programas como QGIS, esta puede mejorar conforme mejore la capacidad de procesamiento del ordenador utilizado, ya que al ser datos que engloban una gran región la capacidad de procesamiento se puede ver bastante limitada. Aun así, comparando el modelo creado aplicado a la provincia de Valencia, con incendios históricos en la zona, se puede determinar que este es capaz de resaltar correctamente las zonas más vulnerables por fuegos forestales.

Este modelo se podría exportar más allá de la Comunidad Valenciana, para esto sería necesario disponer de una colección de datos públicos de libre acceso, como los presentes en el ICV, los cuales al no estar presentes en todas las comunidades autónomas supondría un impedimento a solventar, pero la aplicación de trabajos similares a nivel nacional ayudaría a prevenir incendios y sus daños.



8. Bibliografía

Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teledetección.

<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

[Consultado 29 de Mayo 2023]

Alcaras, E., Costantino, D., Guastafarro, F., Parente, C., & Pepe, M. (2022). Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): a new index for sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 14(7), 1727.

<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1727>

[Consultado 5 de Junio 2023]

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.

<https://www.wiley.com/en-it/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation,+7th+Edition-p-9781118343289>

[Consultado 31 de Mayo 2023]

Mishra, Deepak & Ghosh, Shuvankar & Hladik, C. & O'Connell, Jessica & Cho, Hyun Jung. (2015). Wetland Mapping Methods and Techniques Using Multisensor, Multiresolution Remote Sensing: Successes and Challenges..

https://www.researchgate.net/figure/6-Summary-of-LiDAR-Derived-DEM-Accuracies_tbl5_284447981

[Consultado 5 de Junio 2023]

Forest GIS. (2019). Sentinel-2: Combinação de Bandas e como baixar os dados mais facilmente.

<https://forest-gis.com/2019/12/sentinel-2-combinacao-bandas-baixar-dados.html>

[Consultado 29 de Mayo 2023]

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España:

<https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/incendios-forestales/>

[Consultado 29 de Mayo 2023]

Ecoavant. (s.f.). Incendios forestales en España: problema que se agrava con el cambio climático y la despoblación rural. Ecoavant.

<https://www.ecoavant.com/es/noticias/incendios-forestales-en-espana-problema-que-se-agrava-con-el-cambio-climatico-y-la-despoblacion-rural/>

[Consultado 30 de Mayo 2023]

United Nations, Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)

<https://un-spider.org/es/node/10959>

[Consultado 2 de Junio 2023]

EOS Data analytics, NDMI (Índice De Humedad De Diferencia Normalizada)

<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/>

[Consultado 2 de Junio 2023]



Keeley, J. E. (2009). *Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage*. *International Journal of Wildland Fire*

<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70032718>

[Consultado 9 de Junio 2023]

Abatzoglou, John & Kolden, Crystal. (2013). Relationships between climate and macroscale area burned in the Western United States. *International Journal of Wildland Fire*. 22. 1003. 10.1071/WF13019.

https://www.researchgate.net/publication/275203022_Relationships_between_climate_and_macroscale_area_burned_in_the_Western_United_States

[Consultado 15 de Junio 2023]

Llovería, R.M., Cabello, F.P., Martín, A.G., Vlassova, L., & Fernández, J.R. (2014). *La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales*.

<https://www.semanticscholar.org/paper/La-severidad-del-fuego%3A-revisión-de-conceptos%2C-y-Llovería-Cabello/aad7de11b56aa7ebbd0a7a2c7e43ac1262cbd9a3>

[Consultado 6 de Junio 2023]

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (s.f.). *What is GIS?*

<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>

[Consultado 29 de Mayo 2023]

Enoh, M. A., Okeke, U. C., & Narinua, N. Y. (2021). *Identification and modelling of forest fire severity and risk zones in the Cross – Niger transition forest with remotely sensed satellite data*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 879-887.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.002>

[Consultado 16 de Junio 2023]

Abatzoglou, J. T., & Kolden, C. A. (2013). Relationships between climate and macroscale area burned in the western United States. *International Journal of Wildland Fire*, 22(7), 1003-1020.

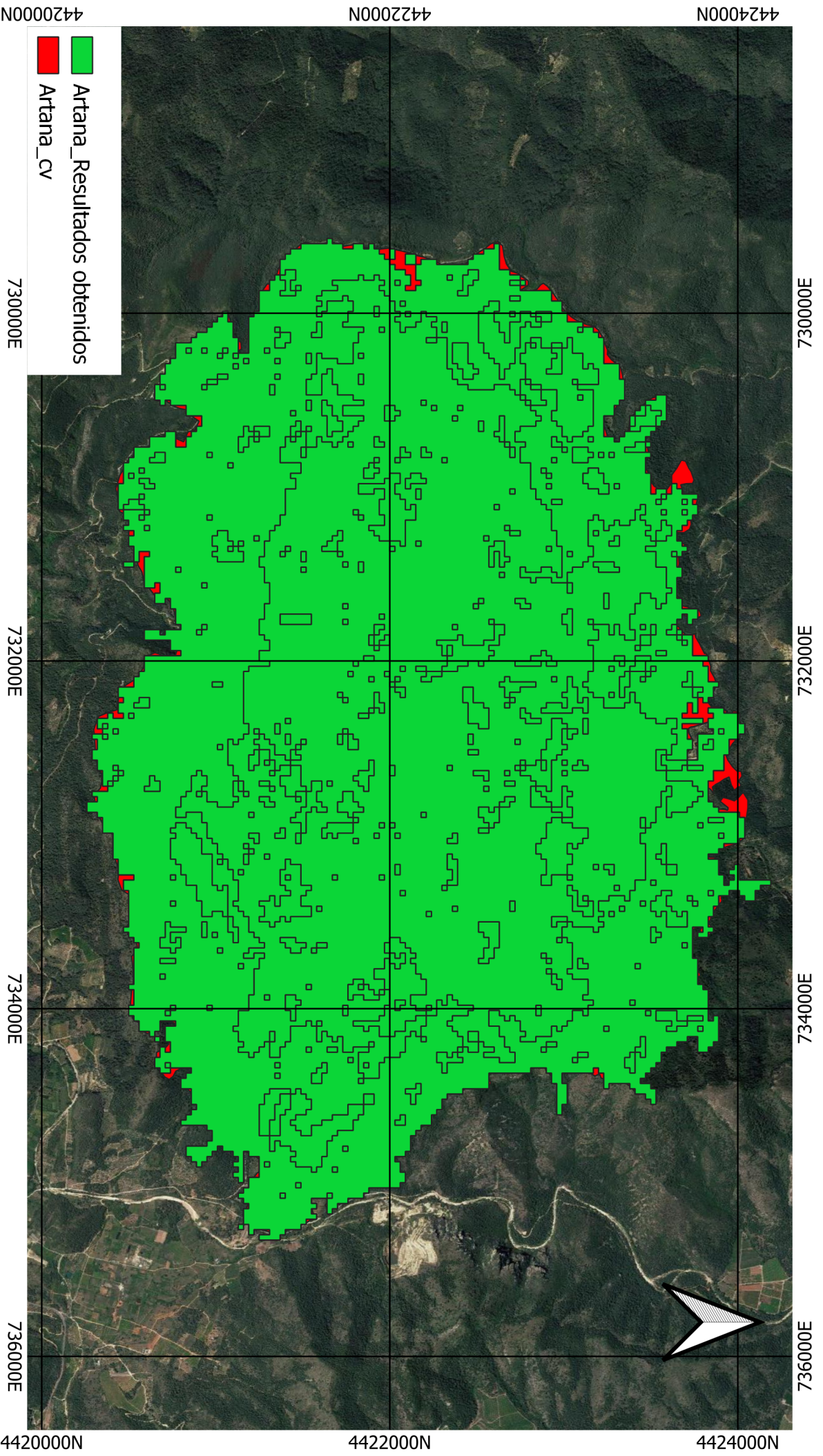
https://www.researchgate.net/publication/275203022_Relationships_between_climate_and_macroscale_area_burned_in_the_Western_United_States

[Consultado 15 de Junio 2023]

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.

[Consultado 5 de Junio 2023]

9. Anexo



442000N

442200N

442400N

730000E

732000E

734000E

736000E

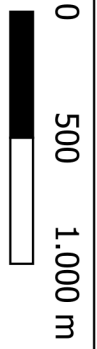
730000E

732000E

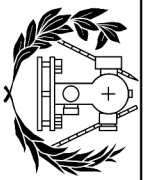
734000E

736000E

- Artana_Resultados obtenidos
- Artana_cv



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escala 1:30000 A4

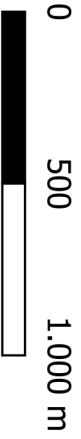
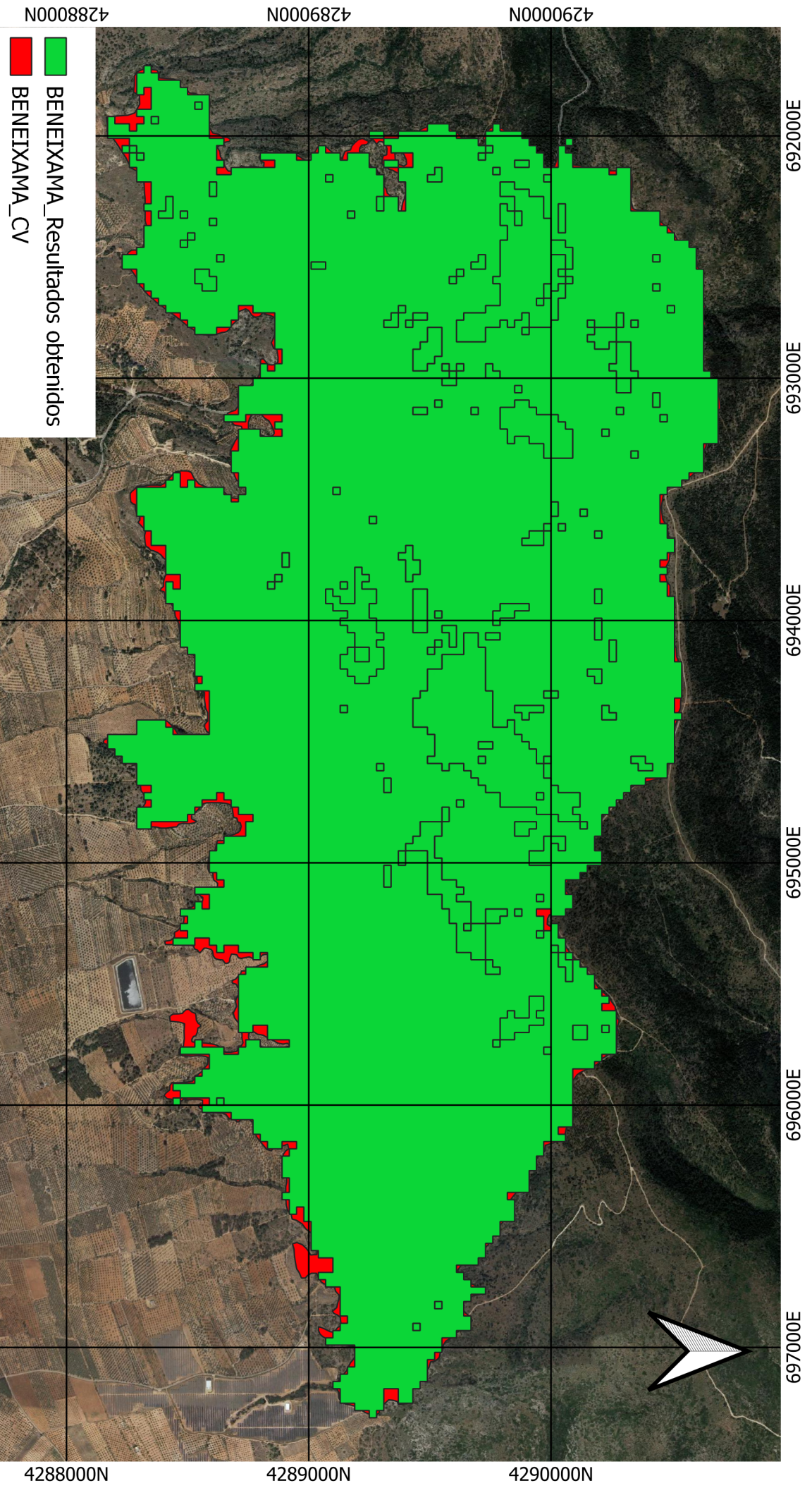
Plano comparación resultados incendio Artana

Proyecto: TFG

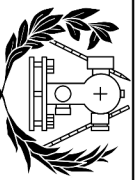
442000N

442200N

442400N



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

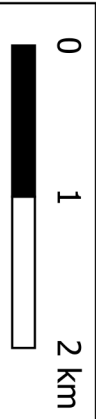
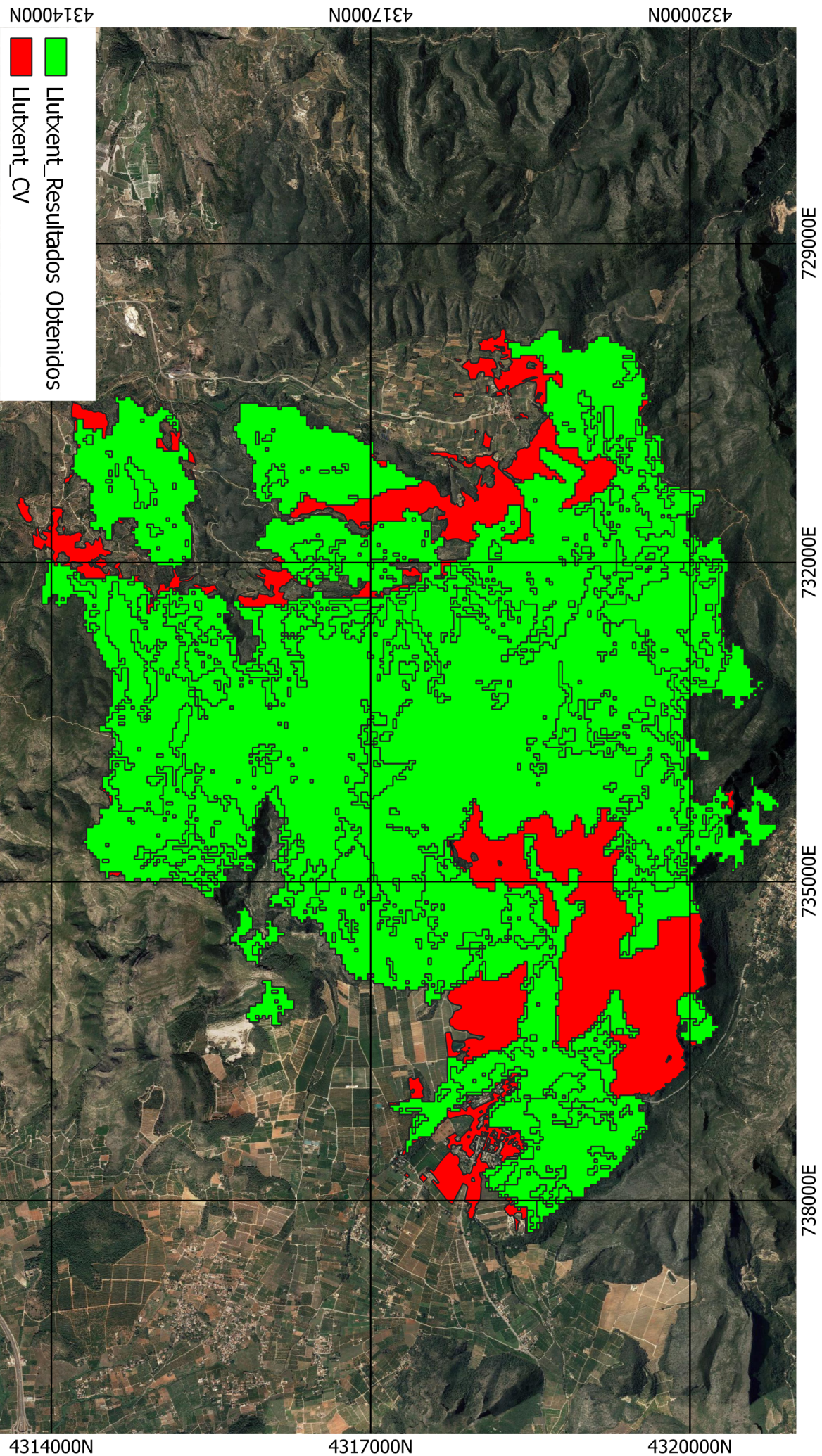


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escala 1:22000 A4

Plano comparación resultados incendio Beneixema

Proyecto: TFG



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

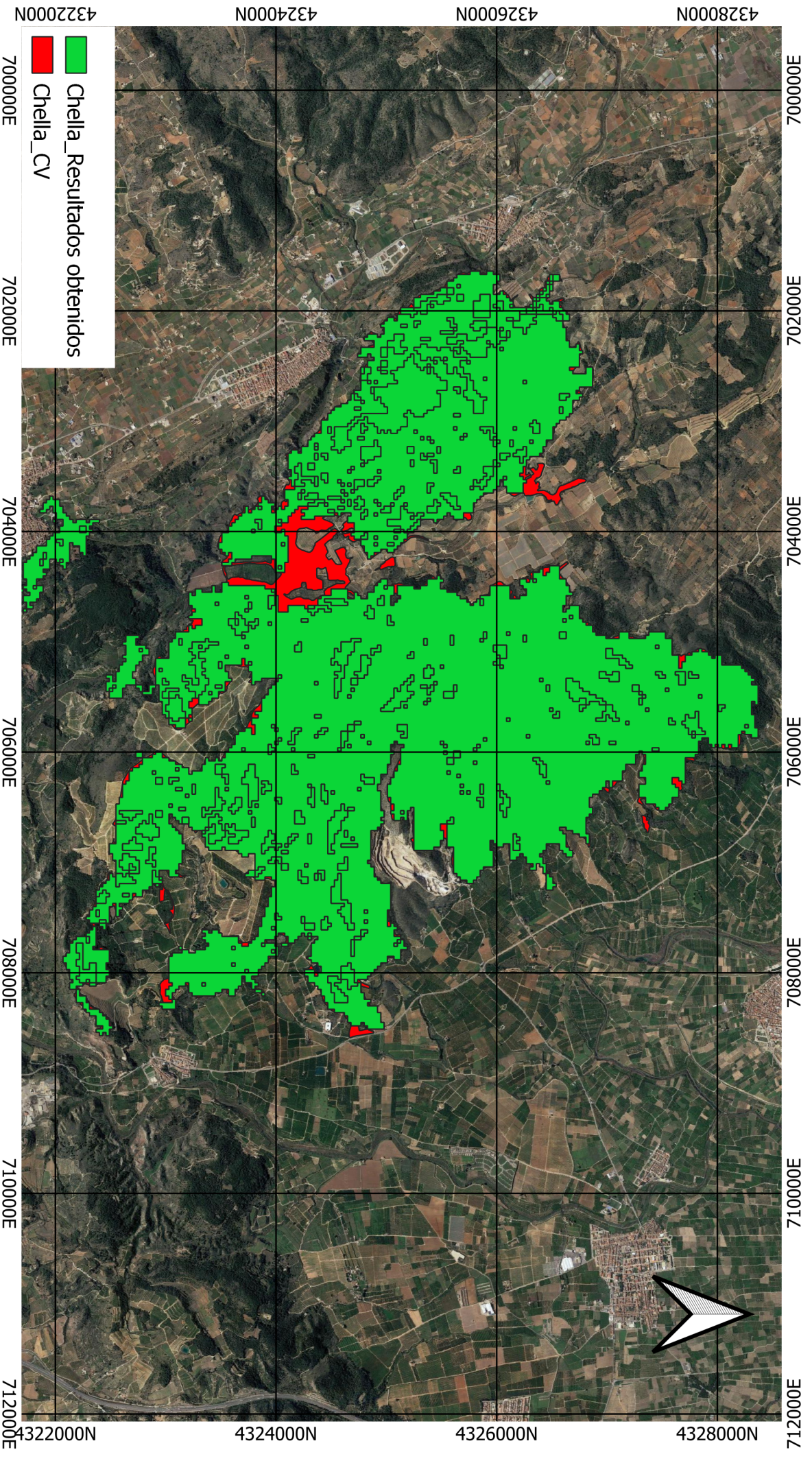


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escala: 1:50000 A4

Plano comparación resultados incendio Llutxent

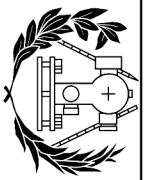
Proyecto: TFG



■ Chella_Resultados obtenidos
■ Chella_CV



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

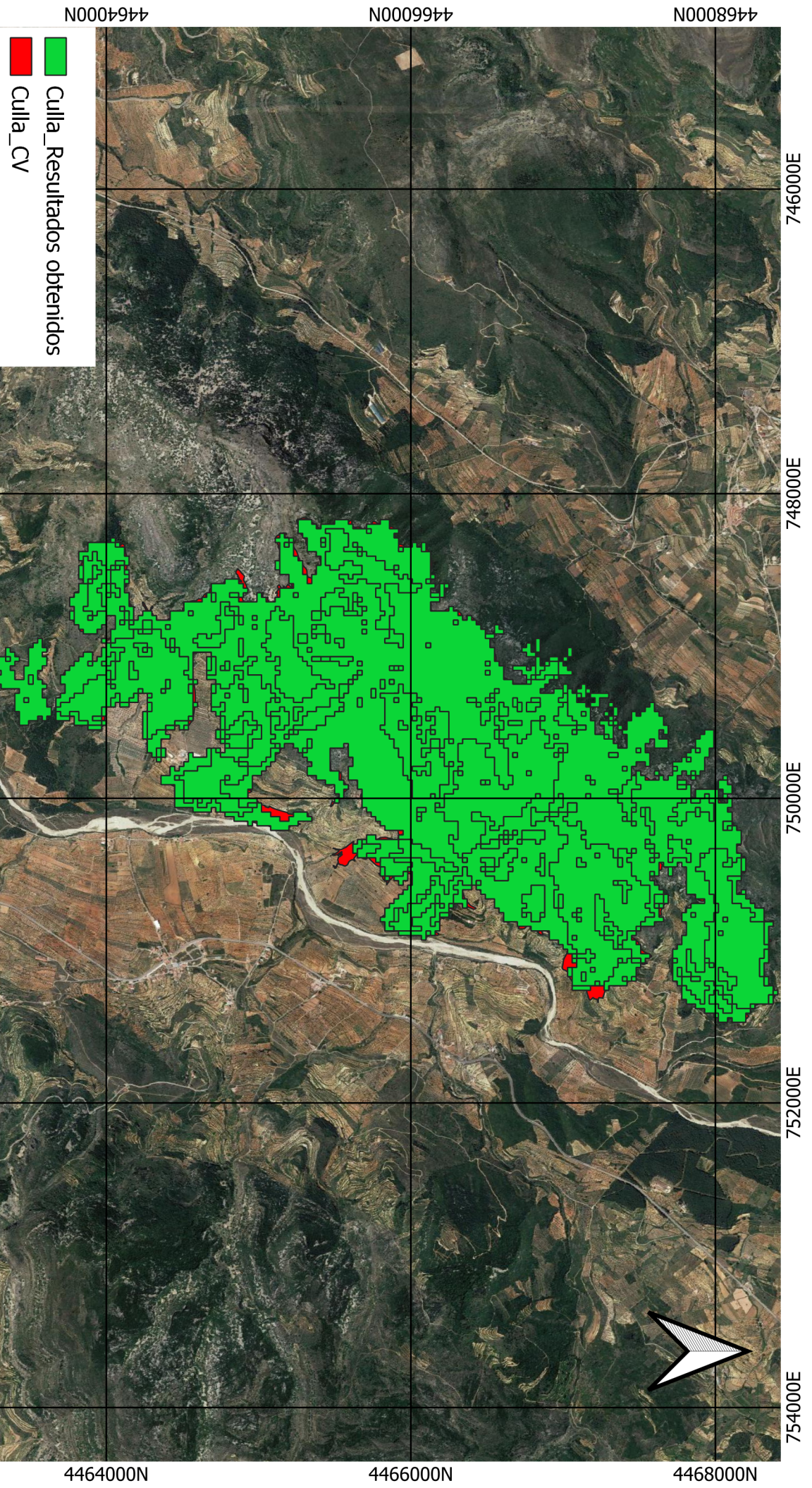


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escala 1:47000 A4

Plano comparación resultados incendio Chella

Proyecto: TFG



■ Cullia_ Resultados obtenidos
■ Cullia_ CV



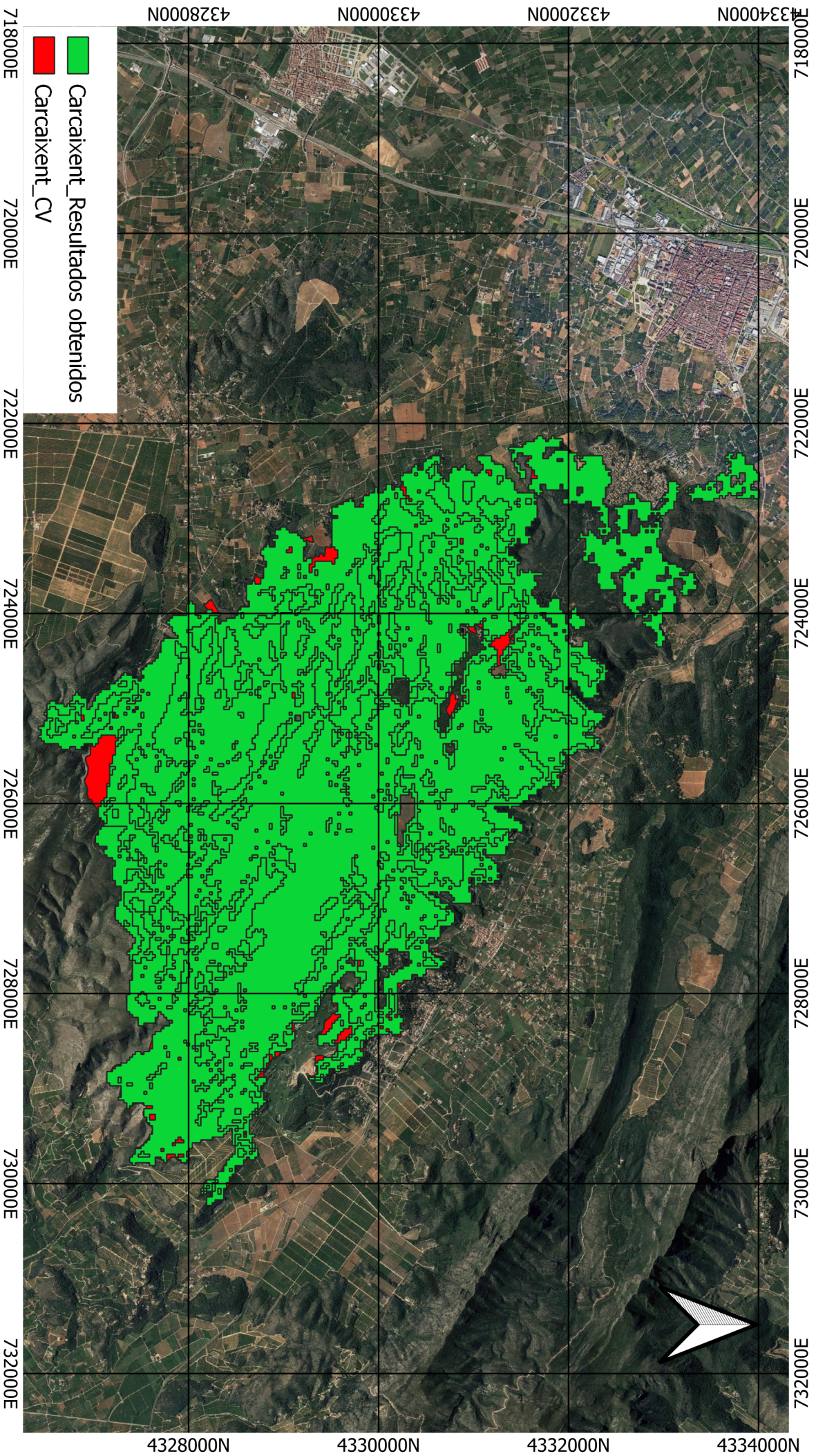
Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escala 1:35000 A4

Plano comparación resultados incendio Chella

Proyecto: TFG



Escala 1:55000 A4

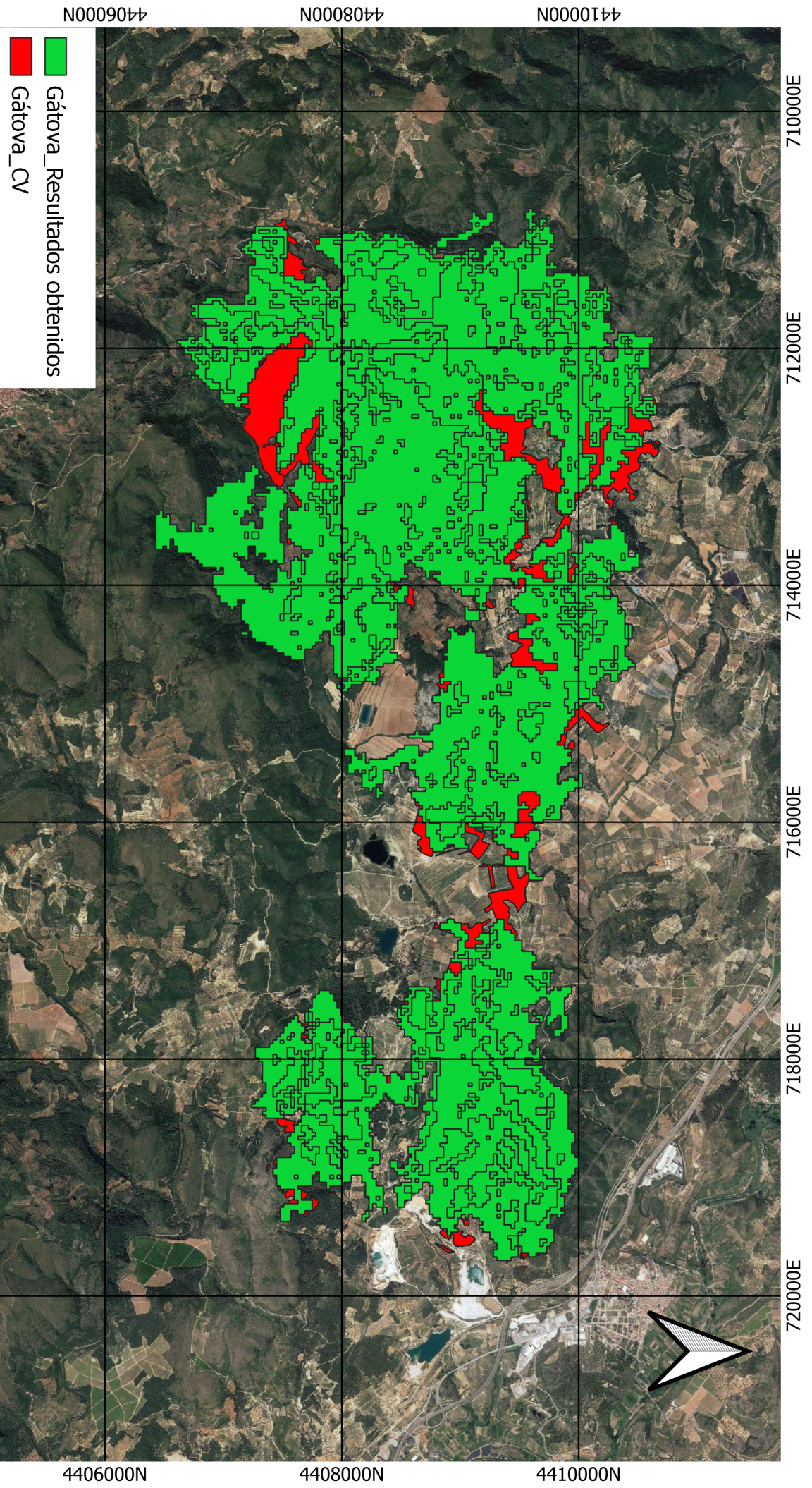
Plano comparación resultados incendio Carcaixent

Proyecto: TFG

Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023



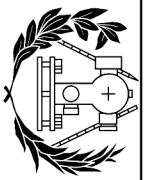
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



- Gátova_ Resultados obtenidos
- Gátova_CV



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

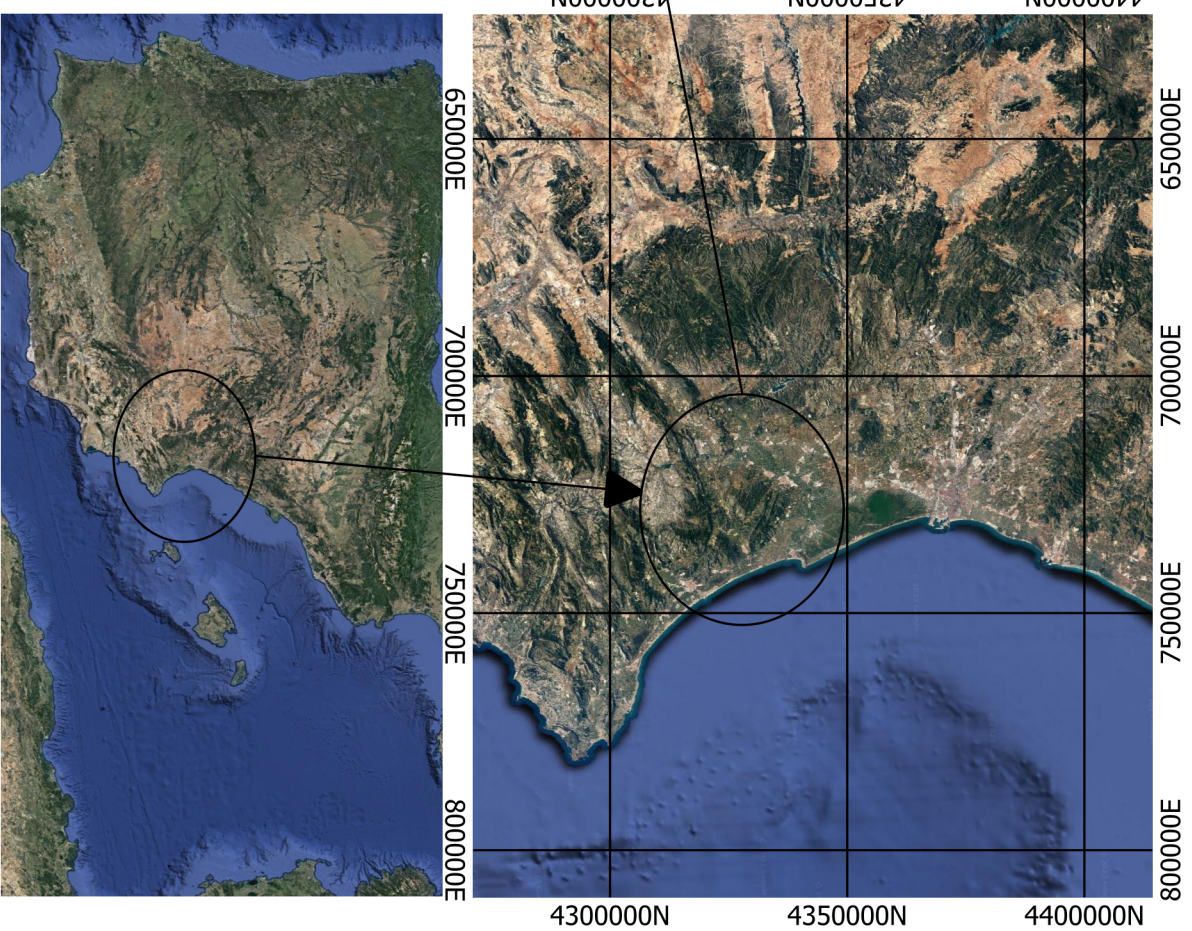
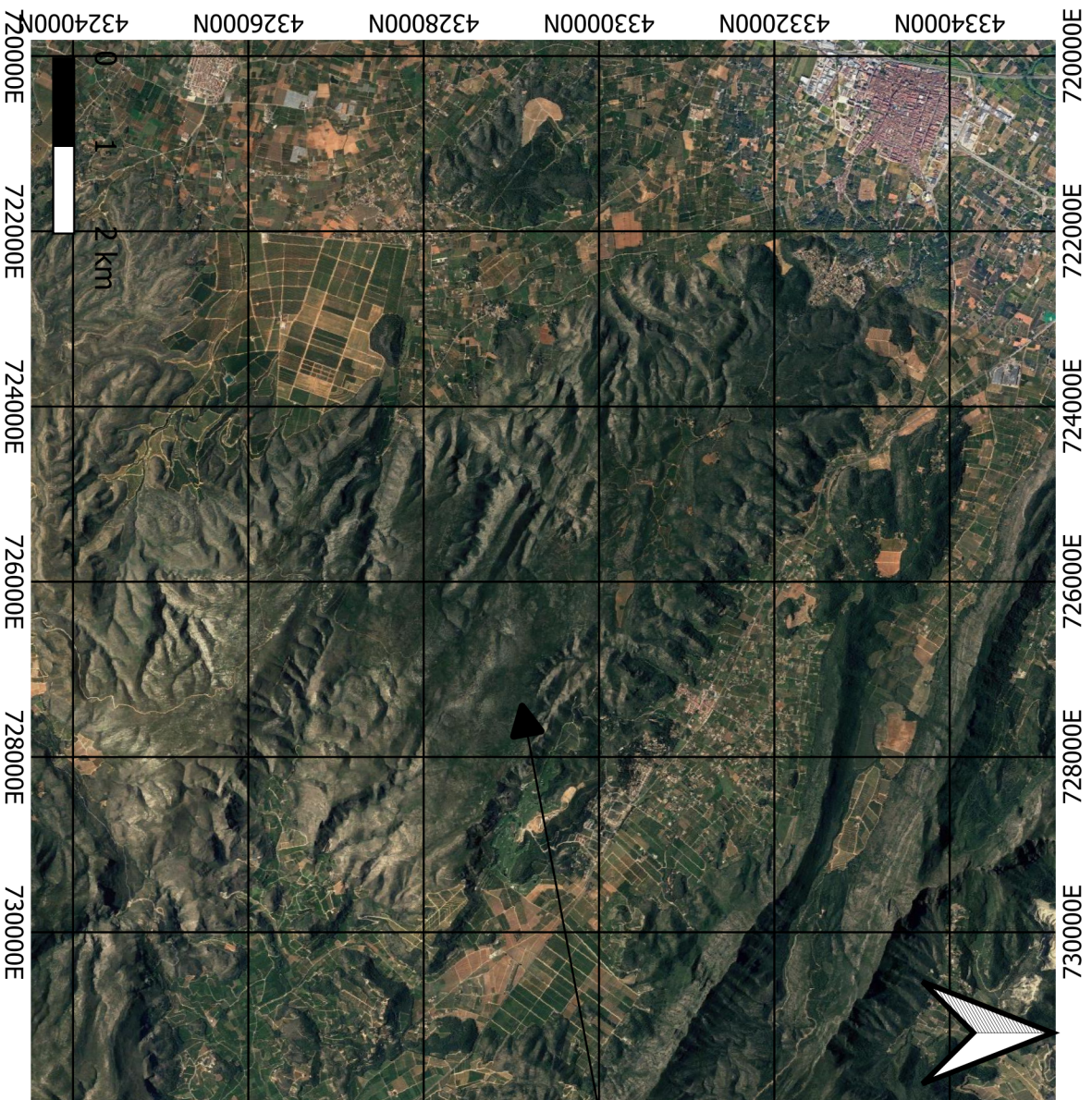


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

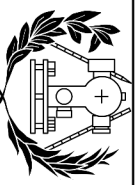
Escala 1:45000 A4

Plano comparación resultados incendio Gátova

Proyecto: TFG



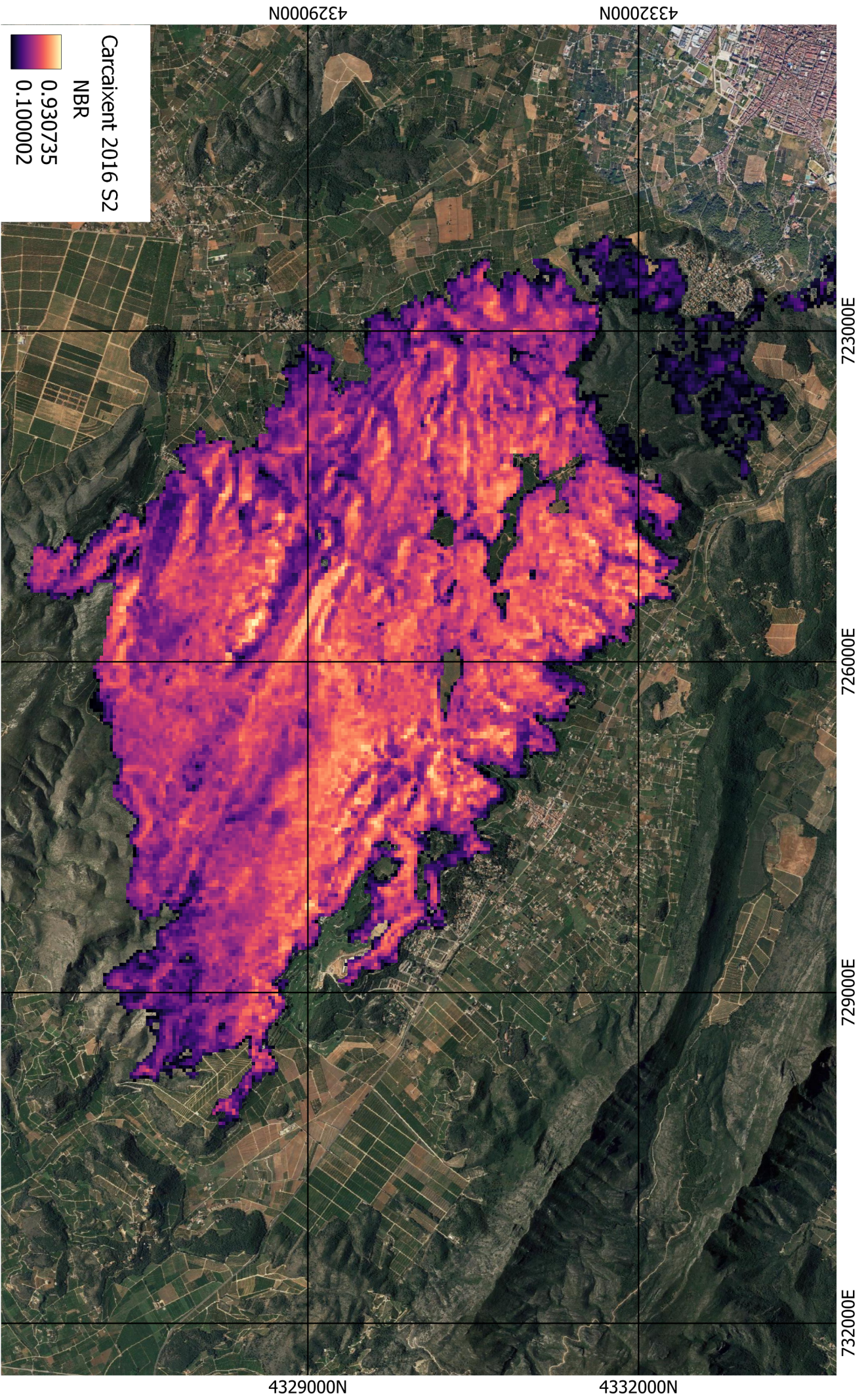
Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Plano situación incendio Carcaixent

Proyecto: TFG



Carcaixent 2016 S2
NBR

723000E

726000E

729000E

732000E

E000024

E000024

E000024

E000024

4332000N

4329000N

4332000N

4329000N

0 1 2 km

Escala: 1:45000 A4

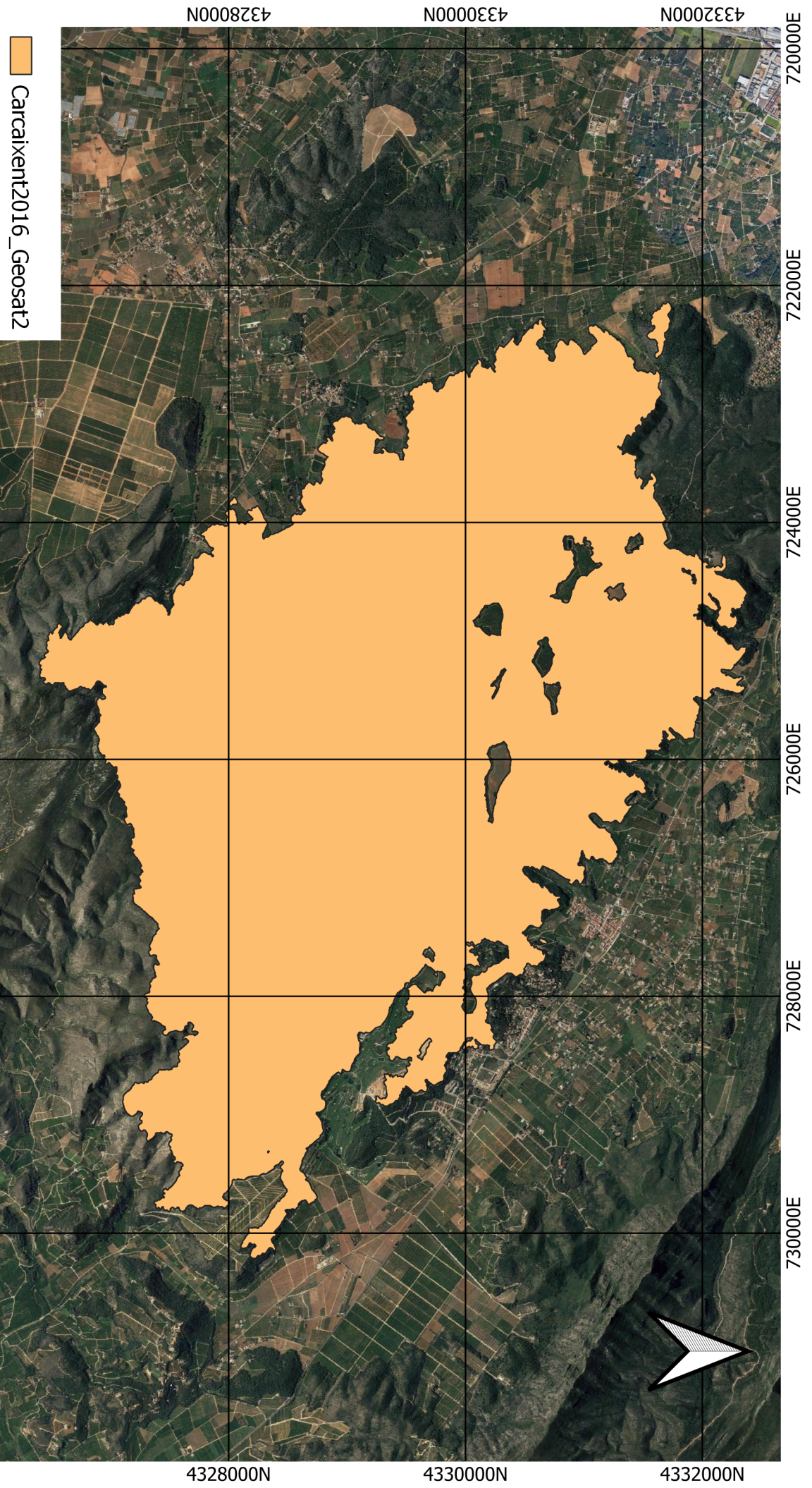
Autor: Jorge Bermell del Fresno Fecha: 19/96/2023

Máscara generada Incendio Carcaixent 2016, valores NBR (severidad)



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
Y CARTOGRAFÍA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

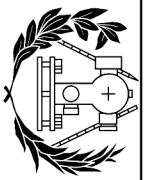
Proyecto: TFG



 Carcaixent2016_Geosat2



Autor: Jorge Bermell del Fresno
 Fecha: 19/06/2023

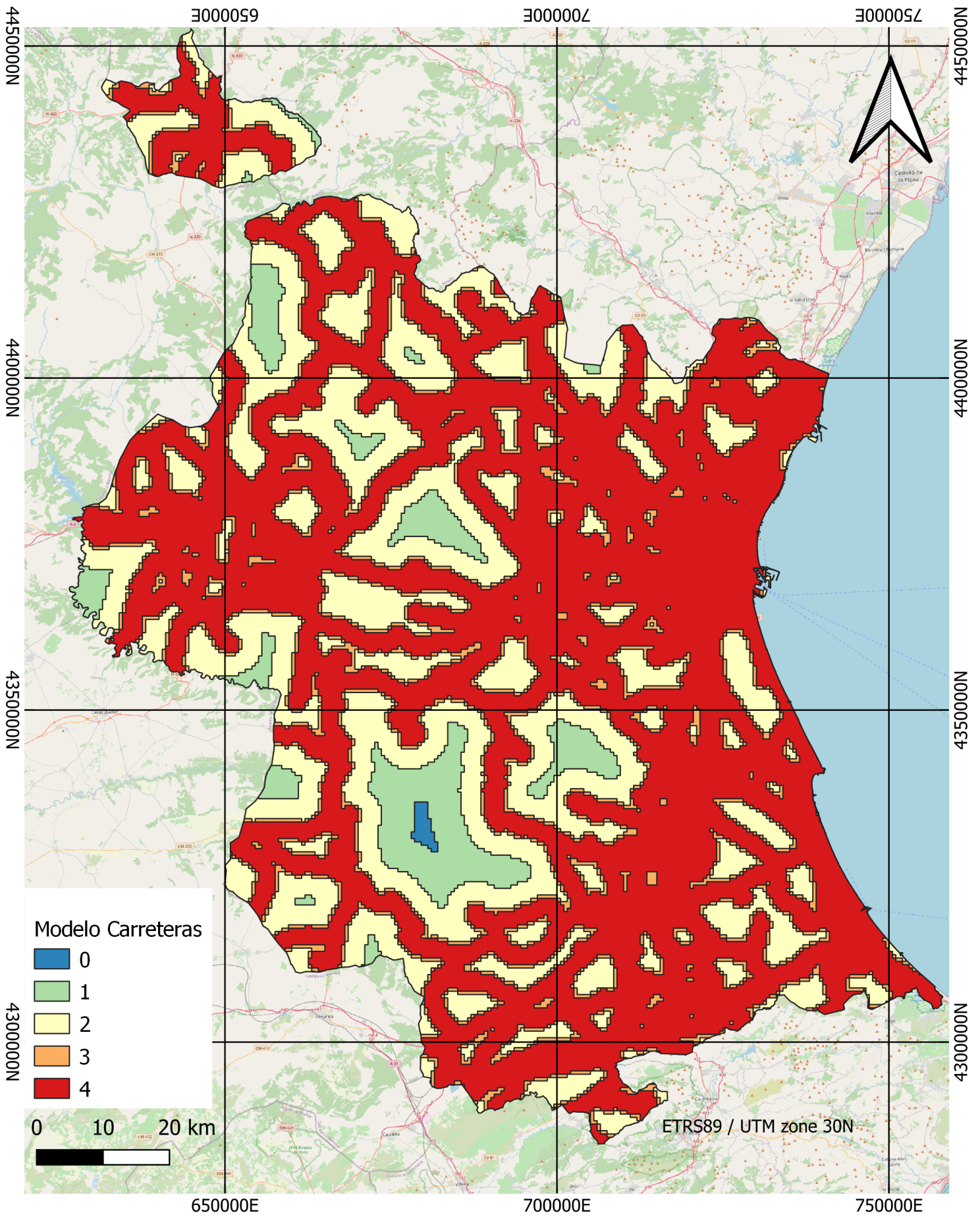


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

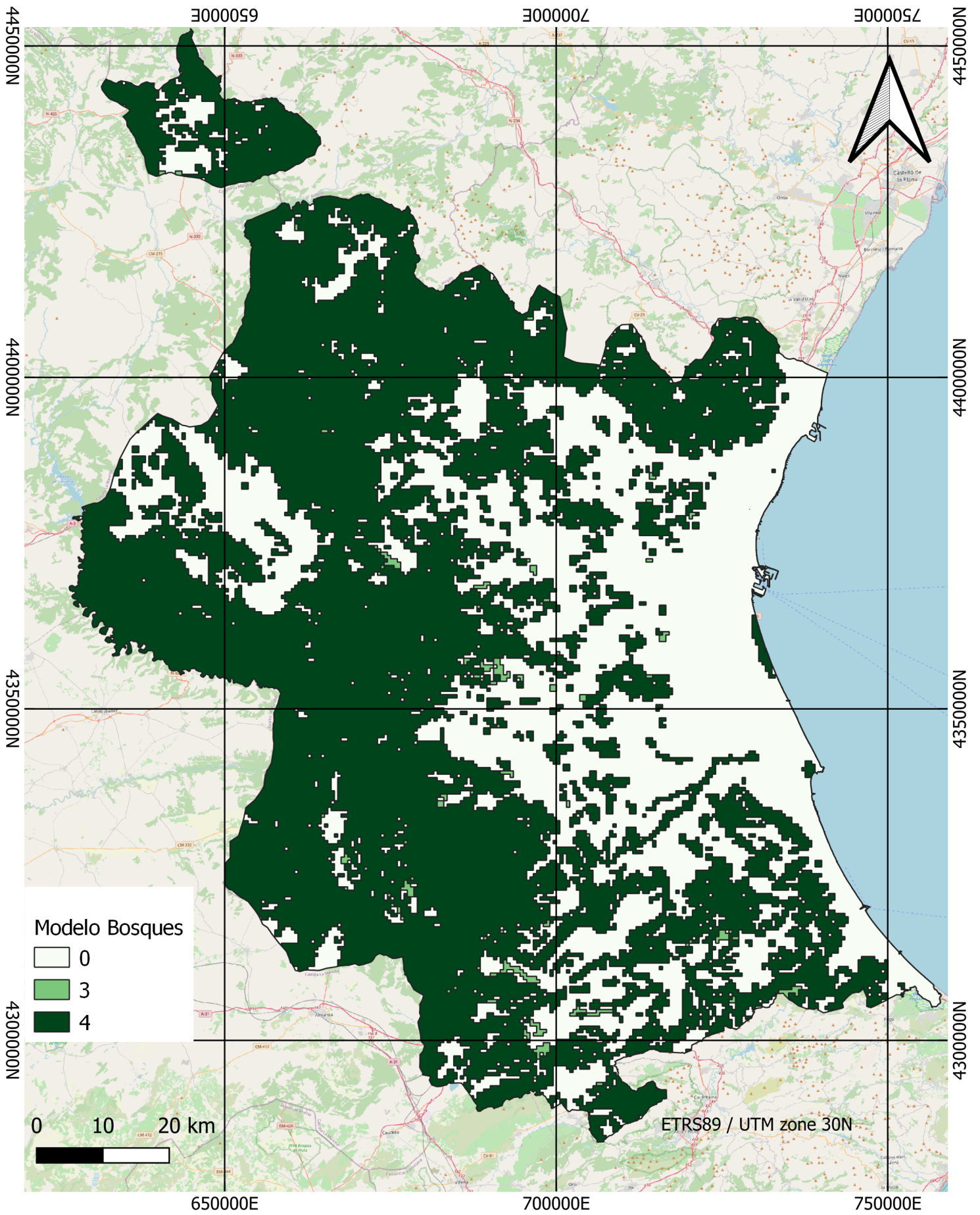
Escala 1:45000 A4

Plano máscara datos GeosSat2

Proyecto: TFG



| | | |
|--|--|--------------------|
| Proyecto: Trabajo de fin de Grado | Plano Cercania a carreteras | Escala:1:750000 A4 |
| Fecha: 19/06/2023 Autor: Jorge Bermell del Fresno |  <p> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA </p> | |



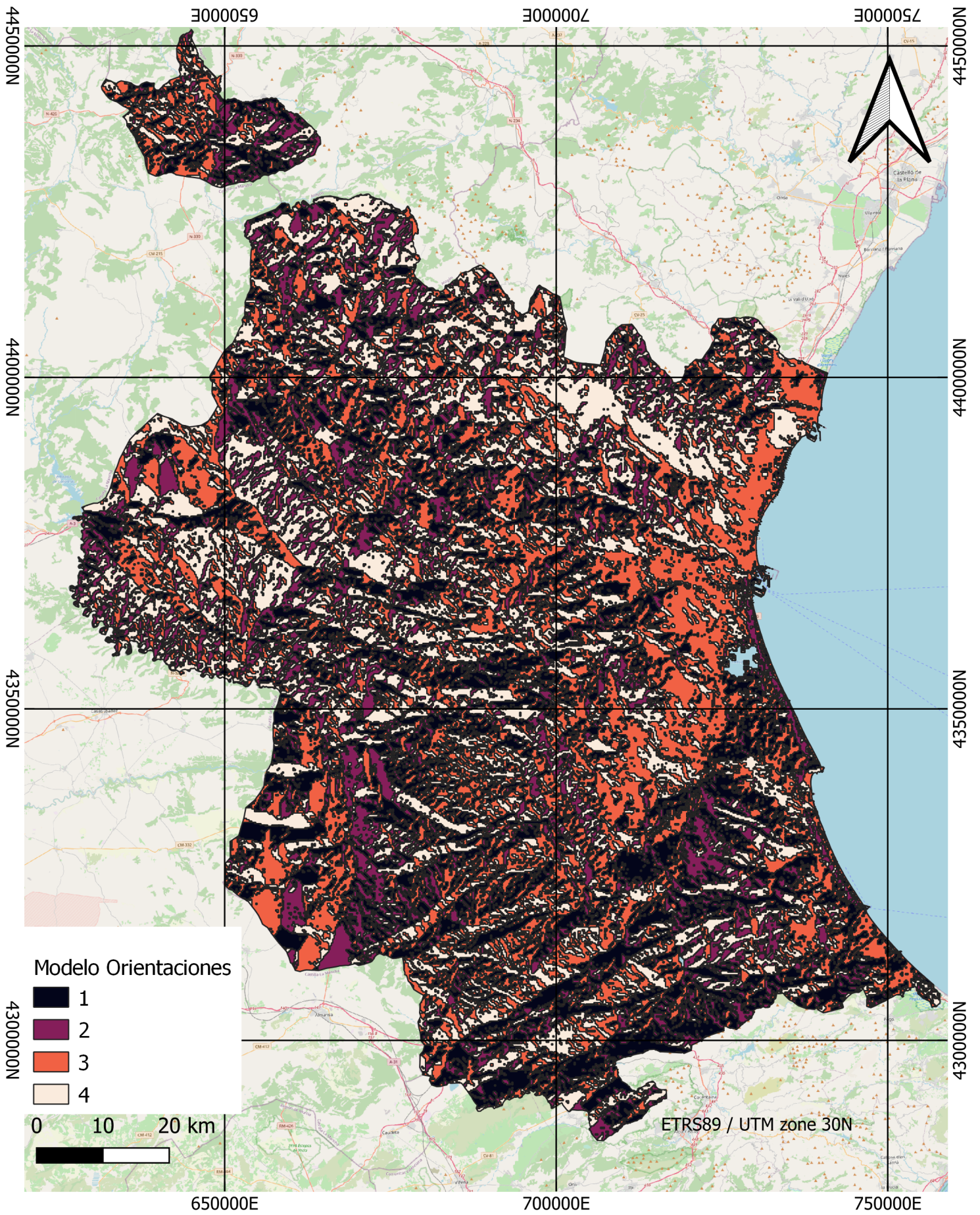
Proyecto: Trabajo de fin de Grado

Plano Bosques

Escala: 1:750000 A4

Fecha: 19/06/2023
 Autor: Jorge Bermell del Fresno

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Proyecto: Trabajo de fin de Grado

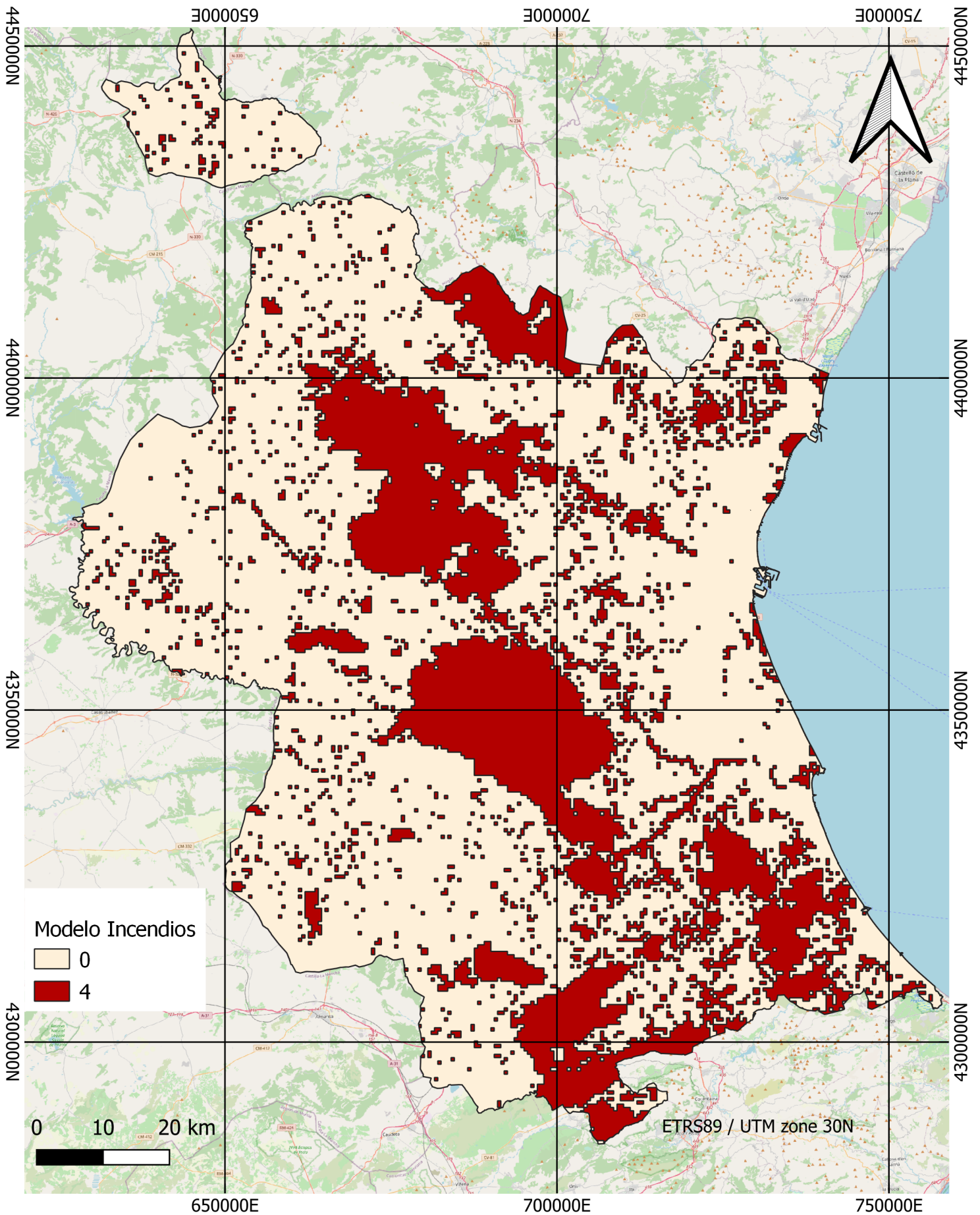
Plano Orientaciones terreno

Escala: 1:750000 A4

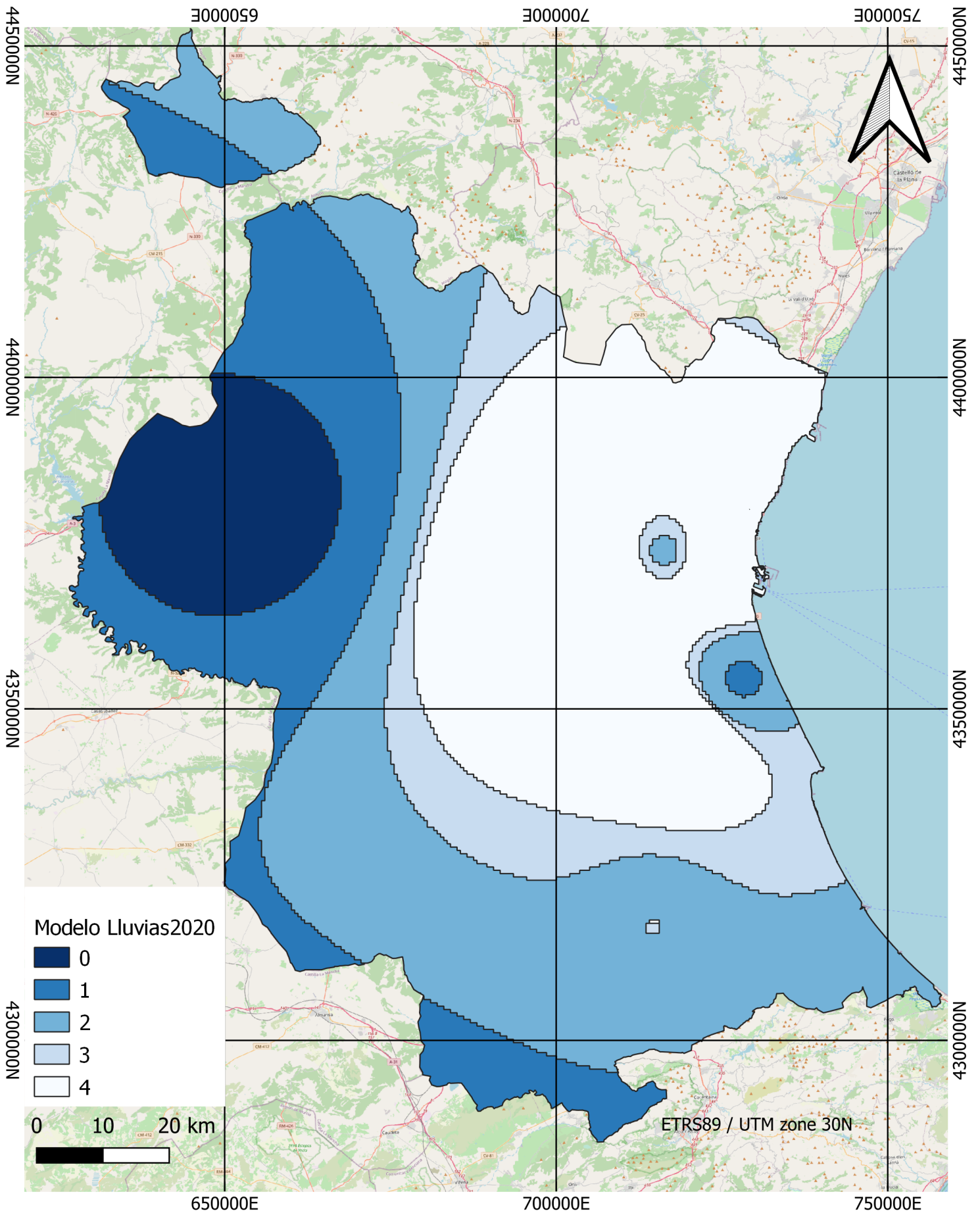
Fecha: 19/06/2023
 Autor: Jorge Bermell del Fresno



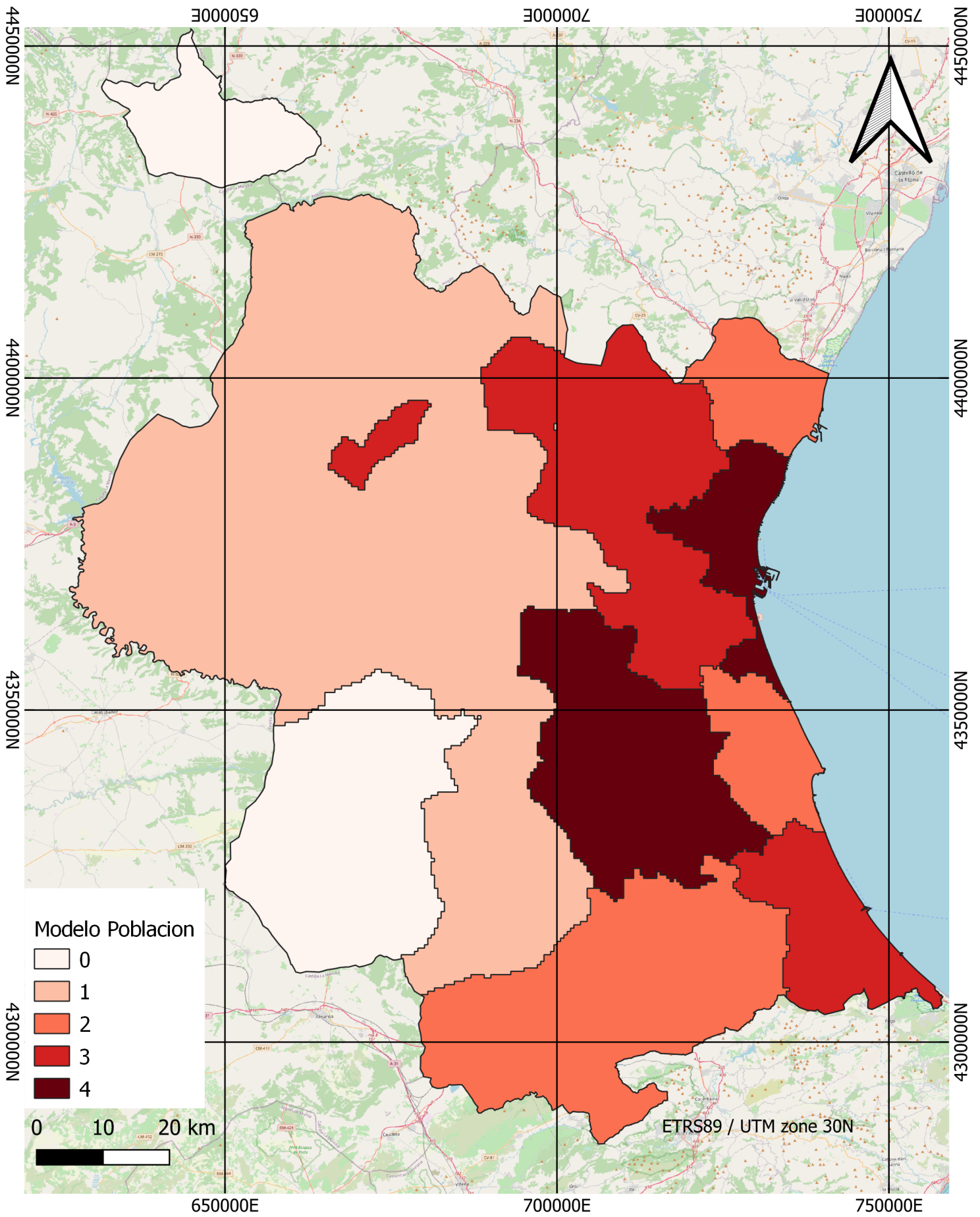
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



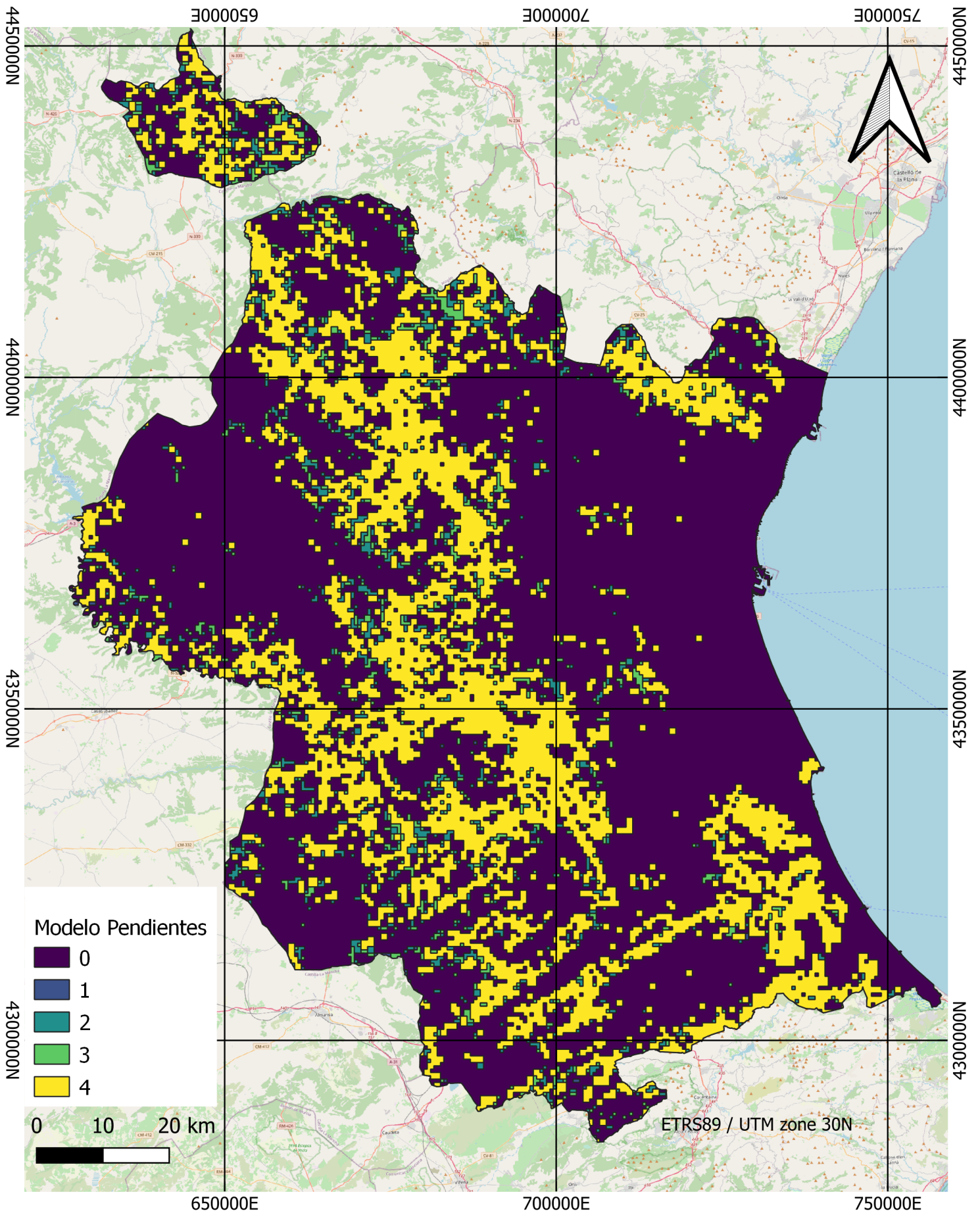
| | | |
|--|--|---------------------|
| Proyecto: Trabajo de fin de Grado | Plano Incendios | Escala: 1:750000 A4 |
| Fecha: 19/06/2023 Autor: Jorge Bermell del Fresno |  <p> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA </p> | |



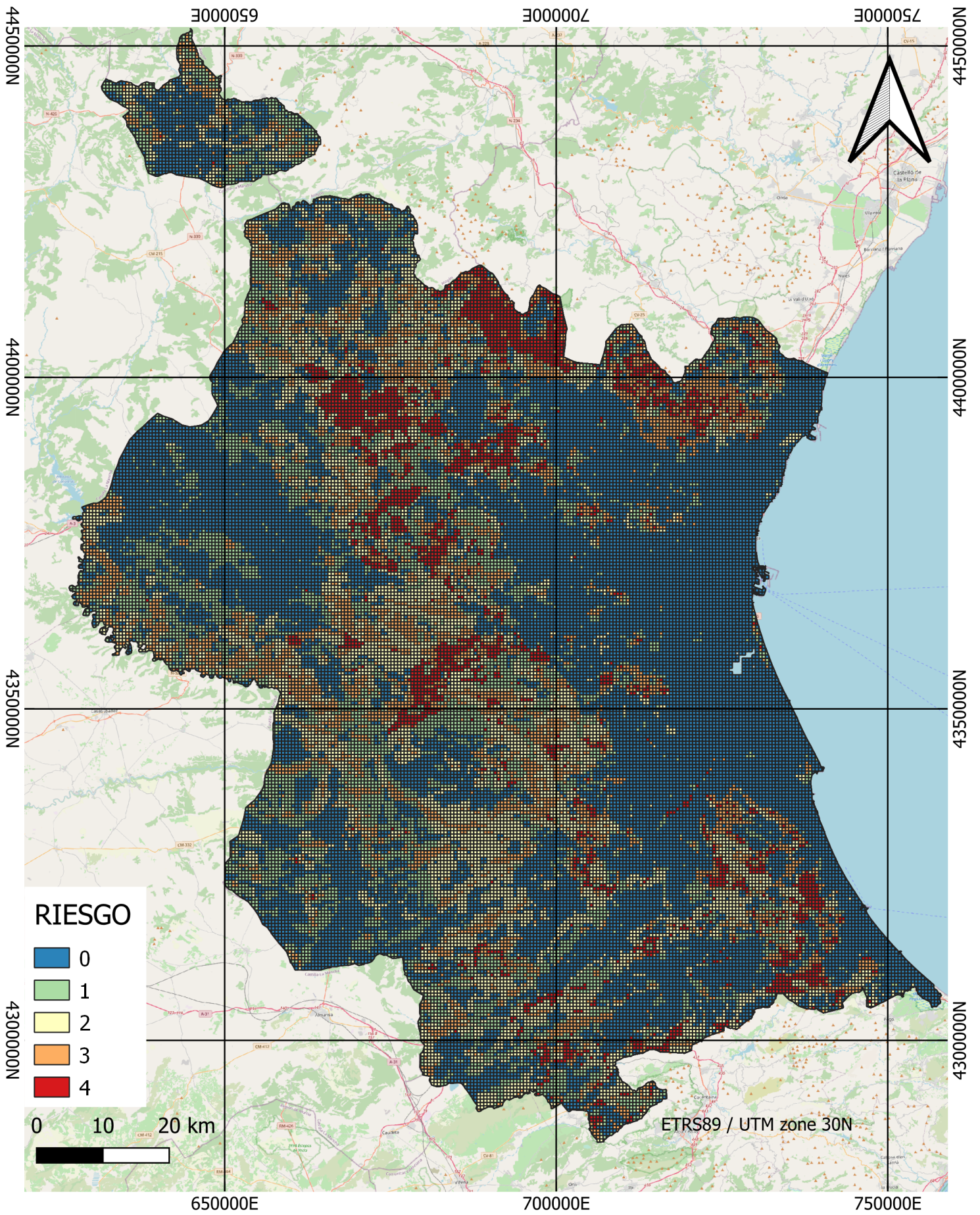
| | | |
|--|--|--------------------|
| Proyecto: Trabajo de fin de Grado | Plano Lluvia media anual | Escala:1:750000 A4 |
| Fecha: 19/06/2023 Autor: Jorge Bermell del Fresno |  <p> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA </p> | |



| | | |
|--|--|--------------------|
| Proyecto: Trabajo de fin de Grado | Plano Población | Escala:1:750000 A4 |
| Fecha: 19/06/2023 Autor: Jorge Bermell del Fresno |  <p> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA </p> | |



| | | |
|--|--|---------------------|
| Proyecto: Trabajo de fin de Grado | Plano Pendientes terreno | Escala: 1:750000 A4 |
| Fecha: 19/06/2023 Autor: Jorge Bermell del Fresno |  <p> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA </p> | |



Proyecto: Trabajo de fin de Grado

Plano modelo de riesgos

Escala: 1:750000 A4

Fecha: 19/06/2023
 Autor: Jorge Bermell del Fresno



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA