



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



Desarrollo y validación de una herramienta de cálculo de severidad potencial (Severidad-VIS4FireApp) en grandes incendios forestales de la Comunitat Valenciana (España).

Trabajo de Fin de Máster

Universidad Politécnica de Madrid

ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural

Máster en Técnicas de Lucha Contra Incendios Forestales

Raúl Botella Bou
Septiembre 2024

Título: Desarrollo y validación de una herramienta de cálculo de severidad potencial (Severidad-VIS4FireApp) en grandes incendios forestales de la Comunitat Valenciana (España).

Autor: Raúl Botella Bou

Titulación: Máster en Técnicas de Lucha Contra Incendios Forestales

Departamento: Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental

Director: Javier González Romero

Codirectora: Esther Peña Molina

Año de presentación: 2024

HOJA DE CALIFICACIÓN

TÍTULO
<i>Desarrollo y validación de una herramienta de cálculo de severidad potencial (Severidad-VIS4FireApp) en grandes incendios forestales de la Comunitat Valenciana (España)</i>
AUTOR
RAÚL BOTELLA BOU
TITULACIÓN
MÁSTER EN TÉCNICAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS FORESTALES

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente	
	Fdo.
Secretario	
	Fdo.
Vocal	
	Fdo.

Reunido el Tribunal de calificación con fecha _____ ,

acuerda otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL de _____ .

Se propone la concesión de Matrícula de Honor.

Informe explicativo de calificación

Desarrollo y validación de una herramienta de cálculo de severidad potencial (Severidad-VIS4FireApp) en grandes incendios forestales de la Comunitat Valenciana (España).

RAÚL BOTELLA BOU

RESUMEN

La severidad de los incendios forestales, se considera como el elemento que mayores grados de afección puede provocar a un sistema forestal. Además, el cambio climático, la falta de gestión de los montes, el cambio de uso en las tierras de cultivo y el aumento de la población, se está traduciendo en un incremento en el régimen natural del número de incendios, así como en la extensión y severidad de estos. En la Comunitat Valenciana se agrava esta situación, ya que domina el clima mediterráneo, el cual se caracteriza por presentar temperaturas altas y largos periodos de sequía. Por lo tanto, poder determinar el grado de severidad que presenta dicho territorio antes de que suceda la perturbación, permitiría ayudar a establecer zonas prioritarias de gestión, encaminadas a reducir el grado de afección, además de aumentar los puntos de oportunidad para los medios de extinción. En este contexto, el principal objetivo del presente estudio es desarrollar una herramienta fiable que permita modelizar el cálculo de la severidad potencial que tiene asociada un territorio (llamada *SeverityApp*), y validarla en el territorio de la Comunitat Valenciana, empleando técnicas de teledetección. Para ello, se ha elaborado toda la cartografía correspondiente a las entradas que necesita el modelo de cálculo, así como el índice de severidad *dNBR* de 10 incendios ocurridos en el territorio, mediante el uso de imágenes Landsat 8. Con el valor de la predicción para cada incendio, y el valor de la severidad *dNBR*, se ha realizado una validación mediante comparación directa, que ha permitido determinar que la herramienta es capaz de predecir de forma correcta el 27,45% la severidad de un incendio en la Comunitat Valenciana, por el momento. Además, tiende a subestimar las predicciones, siendo las clases de severidad más extremas las que peor porcentaje de acierto presentan. Este análisis se apoyó con el estadístico Kappa, el cual ha puesto de manifiesto que las relaciones de concordancia son leves o incluso nulas, por lo que se han planteado correcciones para mejorar el aprendizaje de la herramienta.

Palabras clave: Comunitat Valenciana, severidad potencial, incendios forestales, prevención, planificación territorial, modelos de combustible, toma de decisiones, anomalías climáticas, modelos predictivos.

ABSTRACT

The severity of forest fires is considered the element that can cause the greatest damage to a forest system. Furthermore, climate change, the lack of forest management, the change in the use of cropland and the increase in population, is translating into an increase in the natural regime of the number of fires, as well as in the extent and severity of these. In the Valencian Community this situation is worsened, because the Mediterranean climate dominates, which is characterized by high temperatures and long periods of drought. Therefore, being able to determine the degree of severity that territory has before the disturbance occurs, would help establish priority management areas, aimed at reducing the degree of affectation, in addition to increasing the opportunity points for fire extinction. In this context, the main objective of this study is to develop a reliable tool that allows modelling the calculation of the potential severity associated with a territory (named SeverityApp), and validate it in the territory of the Valencian Community, using remote sensing techniques. To this end, all the cartography corresponding to the inputs needed by the calculation model has been prepared, as well as the dNBR severity index of 10 fires that occurred in the territory, through the use of Landsat 8 images. With the prediction value for each fire, and the dNBR severity value, a validation has been carried out through direct comparison, which has allowed us to determine that the tool is capable of correctly predicting 27.45% of the severity of a fire. fire in the Valencian Community, for the moment. Furthermore, it tends to underestimate the predictions, with the most extreme severity classes being those with the worst percentage of success. This analysis was supported by the Kappa statistic, which has shown that the concordance relationships are slight or even null, so corrections have been proposed to improve the learning of the tool.

Keywords: Comunitat Valenciana, potential severity, wildfires, prevention, territorial planning, fuel models, decision making, climate anomalies, predictive models.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	_____	
ÍNDICE DE TABLAS	_____	
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	_____	
1. INTRODUCCIÓN	_____	1
1.1. Antecedentes y justificación	_____	3
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	_____	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	_____	6
3.1. Área de estudio	_____	6
3.2. Incendios estudiados	_____	8
3.3. Herramienta de cálculo de severidad potencial (<i>SeverityApp</i>)	_____	11
3.3.1. Modelo Digital del Terreno	_____	15
3.3.2. Orientaciones	_____	16
3.3.3. Pendientes	_____	16
3.3.4. Fracción de cabida cubierta	_____	16
3.3.5. Alturas	_____	18
3.3.6. Modelos de combustible	_____	18
3.3.7. Inflamabilidad	_____	19
3.3.8. Erosionabilidad	_____	21
3.3.9. Meteorología	_____	22
3.3.9.1. Anomalía Climática (AC)	_____	23
3.3.9.2. Velocidad del Viento Medio Diario (V_{med})	_____	26
3.3.9.3. Déficit de Presión de Vapor (DPV)	_____	26
3.4. Validación mediante Índice dNBR. Teledetección	_____	27
3.5. Validación mediante Coeficiente Kappa.	_____	30
4. RESULTADOS	_____	33
5. DISCUSIÓN	_____	39
6. CONCLUSIONES	_____	45
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	_____	46
ANEXOS	_____	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización (1A), relieve de la Comunitat Valenciana (1B). Fuente: Elaboración propia (2024).	6
Figura 2. Localización de los incendios utilizados en el estudio. Fuente: Elaboración propia (2024).	10
Figura 3. Estructura del cálculo de la severidad potencial. Fuente: Elaboración propia (2024).	11
Figura 4. Relación de las variables estáticas del modelo. Fuente: Elaboración propia (2024).	12
Figura 5. Producto de la predicción del modelo. Fuente: Elaboración propia (2024).	12
Figura 6. Esquema general de funcionamiento de la herramienta SeverityApp. Fuente: Elaboración propia (2024).	13
Figura 7. Erosionabilidad (K-factor). para la Unión Europea. Fuente: European Soil Data Centre (ESDAC).	21
Figura 8. Metodología de evaluación entre dNBR (azul) y severidad potencial (rojo). Fuente: Elaboración propia (2024).	30
Figura 9. Severidad a partir del dNBR (9A) y severidad potencial con la anomalía mínima (9B), para el incendio de Soneja, 2021. Fuente: Elaboración propia (2024).	33
Figura 10. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).	34
Figura 11. Puntos de evaluación en el incendio de Soneja, 2021. Fuente: Elaboración propia (2024).	36
Figura 12. Intervalos de confianza para el coeficiente Kappa. Fuente: Elaboración propia (2024).	38
Figura 13. MDT para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	55
Figura 14. Orientaciones para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	56
Figura 15. Pendientes para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	57
Figura 16. Fracción de Cobertura para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	59
Figura 17. Altura de la vegetación para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	60
Figura 18. Severidad según los MC para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	61
Figura 19. Severidad según la inflamabilidad para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	82
Figura 20. Severidad según la erosionabilidad para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	83
Figura 21. Estaciones meteorológicas en la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	84
Figura 22. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).	85
Figura 23. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).	86
Figura 24. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	87
Figura 25. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).	88
Figura 26. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).	89

Figura 27. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).	90
Figura 28. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).	91
Figura 29. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).	92
Figura 30. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).	93
Figura 31. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).	94
Figura 32. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).	94
Figura 33. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).	95
Figura 34. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).	95
Figura 35. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	96
Figura 36. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	96
Figura 37. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).	97
Figura 38. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).	97
Figura 39. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).	98
Figura 40. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).	98
Figura 41. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).	99
Figura 42. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	99
Figura 43. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).	100
Figura 44. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).	100
Figura 45. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).	101
Figura 46. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).	101
Figura 47. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).	102
Figura 48. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).	102
Figura 49. Puntos de evaluación en el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).	103
Figura 50. Puntos de evaluación en el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).	104

Figura 51. Puntos de evaluación en el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	105
Figura 52. Puntos de evaluación en el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).	106
Figura 53. Puntos de evaluación en el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).	107
Figura 54. Puntos de evaluación en el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).	108
Figura 55. Puntos de evaluación en el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).	109
Figura 56. Puntos de evaluación en el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).	110
Figura 57. Puntos de evaluación en el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los incendios utilizados en el estudio. Fuente: Elaboración propia (2024).	9
Tabla 2. Hojas MDT25 para los incendios utilizados en el estudio de validación. Fuente: Elaboración propia (2024).	16
Tabla 3. Clasificación de severidad potencial según los modelos de combustible, según Rothermel (1972) y Scott & Burgan (2005). Fuente: Elaboración propia (2024).	18
Tabla 4. Clasificación de la severidad potencial según la inflamabilidad de cada especie, para el MFE50. Fuente: Elaboración propia (2024).	20
Tabla 5. Niveles de erosionabilidad en los suelos. Fuente: Nájera González et al., 2016.	22
Tabla 6. Clasificación de severidad potencial de erosionabilidad del suelo. Fuente: Elaboración propia (2024).	22
Tabla 7. Listado de estaciones meteorológicas empleadas. Fuente: Elaboración propia (2024).	23
Tabla 8. Factor de duración del día L_f . Fuente: Van Wagner and Pickett (1985).	25
Tabla 9. Bandas del satélite Landsat 8. Fuente: B. Markham, 2013 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/).	27
Tabla 10. Niveles de severidad según rangos de dNBR. Fuente: Keeley, 2009.	28
Tabla 11. Fechas de las imágenes y bandas 5 y 7 de hojas Landsat 8, empleadas en cada uno de los incendios. Fuente: Elaboración propia (2024).	29
Tabla 12. Puntos de evaluación de exactitud para cada incendio. Fuente: Elaboración propia (2024).	31
Tabla 13. Valores del coeficiente Kappa. Fuente: Landis & Koch, 1977.	31
Tabla 14. Porcentajes de severidad dNBR para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).	33
Tabla 15. Porcentajes del cálculo de severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).	33
Tabla 16. Porcentajes de evaluación entre el dNBR y el potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).	34
Tabla 17. Porcentajes de evaluación según el valor de anomalía mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	35
Tabla 18. Porcentajes de evaluación según el valor de anomalía máxima. Fuente: Elaboración propia (2024).	35
Tabla 19. Porcentajes de evaluación según el percentil 50 de anomalía. Fuente: Elaboración propia (2024).	36
Tabla 20. Matriz de confusión para el incendio de Soneja, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	37
Tabla 21. Resumen de la concordancia en el incendio de Soneja, a partir de la matriz de confusión. Fuente: Elaboración propia (2024).	37
Tabla 22. Resumen de la evaluación de la concordancia entre las predicciones y el dNBR. Fuente: Elaboración propia (2024).	37
Tabla 23. Comparativa de la precisión del coeficiente Kappa con los porcentajes de evaluación. Fuente: Elaboración propia (2024).	38
Tabla 24. Porcentajes promedio de las evaluaciones. Fuente: Elaboración propia (2024).	39
Tabla 25. Matriz de confusión general. Fuente: Elaboración propia (2024).	40
Tabla 26. Matriz de confusión general en porcentaje sobre el valor de dNBR. Fuente: Elaboración propia (2024).	40
Tabla 27. Hojas MDT25 para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).	54

Tabla 28. Listado de especies y su grado de inflamabilidad asociada. Fuente: Elaboración propia (2024).	62
Tabla 29. Matriz de confusión para el incendio de Chella, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	103
Tabla 30. Resumen de la concordancia en el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).	103
Tabla 31. Matriz de confusión para el incendio de Carcaixent, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	104
Tabla 32. Resumen de la concordancia en el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).	104
Tabla 33. Matriz de confusión para el incendio de Llutxent, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	105
Tabla 34. Resumen de la concordancia en el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).	105
Tabla 35. Matriz de confusión para el incendio de Beneixama, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	106
Tabla 36. Resumen de la concordancia en el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).	106
Tabla 37. Matriz de confusión para el incendio de Venta del Moro, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	107
Tabla 38. Resumen de la concordancia en el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).	107
Tabla 39. Matriz de confusión para el incendio de Vall de Ebo, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	108
Tabla 40. Resumen de la concordancia en el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).	108
Tabla 41. Matriz de confusión para el incendio de Bejís, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	109
Tabla 42. Resumen de la concordancia en el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).	109
Tabla 43. Matriz de confusión para el incendio de Villanueva de Viver, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	110
Tabla 44. Resumen de la concordancia en el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).	110
Tabla 45. Matriz de confusión para el incendio de Montitxelvo, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).	111
Tabla 46. Resumen de la concordancia en el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).	111

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AC: Anomalía Climática	MDT: Modelo Digital del Terreno
AEMET: Agencia Española de Meteorología	MDT25: Modelo Digital del Terreno a 25 metros de píxel
CBI: <i>Composite Burn Index</i>	MFE50: Mapa Forestal Español a escala 1:50.000
CLC: <i>Corine Land Cover</i>	NBR: <i>Normalized Burn Ratio</i>
CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica	NDVI: <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
DC: <i>Drought Code</i>	NDWI: <i>Normalized Difference Water Index</i>
dNBR: <i>Differenced (delta) Normalized Burn Ratio</i>	NIR: <i>Near Infrared</i>
DPV: Déficit de Presión de Vapor	OLI: <i>Operational Land Imager</i>
ESDAC: <i>European Soil Data Centre</i>	PATFOR: Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana
ETRS89: <i>European Terrestrial Reference System 1989</i>	PEG: Puntos Estratégicos de Gestión
EU: Unión Europea	PNOA: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
FWI: <i>Fire Weather Index</i>	PVS: Presión de Vapor Saturado
GIF: Gran Incendio Forestal	RdNBR: <i>Relative Differenced Normalized Burn Ratio</i>
GEE: <i>Google Earth Engine</i>	SE (k): error estándar del coeficiente Kappa
IA: Inteligencia Artificial	SR: <i>Surface Reflectance</i>
ICV: Instituto Cartográfico Valenciano	SWIR: <i>Shortwave Infrared</i>
IGN: Instituto Geográfico Nacional	TIRS: <i>Thermal Infra-Red Sensor</i>
LFCC: Fracción de Cobertura Cubierta	TPI: Índice de Posición Topográfica
LiDAR: <i>Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging.</i>	USGS: <i>United States Geological Survey</i>
LUCAS: <i>Land Use and Coverage Area frame Survey</i>	V_{med}: Velocidad Media del Viento
MC: Modelos de Combustible	

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son alteraciones que producen rasgos adaptativos que evolucionan con el tiempo, dependiendo del régimen y de la intensidad del fuego (Keeley & Pausas, 2022). De hecho, estas perturbaciones han configurado durante muchos años los ecosistemas a nivel global (Budde *et al.*, 2014; Nyland, 2016), ya que son habituales de manera natural en todo el mundo. Ejemplos de estas adaptaciones a los incendios podrían ser el rebrote, la serotinia o el espesor de corteza (Keeley & Pausas, 2022). De hecho, muchos ecosistemas forestales dependen de los incendios para mantener sus hábitats saludables, ya que ayudan a mejorar la diversidad vegetal y a eliminar los combustibles acumulados en el territorio.

A pesar de esto, los incendios generan un impacto negativo sobre las comunidades vegetales, lo que puede provocar una amenaza para la permanencia de las propias comunidades (Brotons *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2018). Es más, la gravedad de los incendios se ha catalogado como el elemento que mayor nivel de afección es capaz de provocar sobre un sistema forestal (González-De Vega *et al.*, 2016). Esto se debe a que el fuego y la época en la que sucede (Liu, 2016), va a determinar en gran medida la composición vegetal posterior, dependiendo de la estrategia adaptativa de la vegetación (Pausas & Keeley, 2014) y de la capacidad de supervivencia que tenga el banco de semillas (Moya *et al.*, 2008). Del mismo modo, la alta recurrencia de incendios, puede provocar que los ecosistemas pierdan su capacidad de recuperarse (Díaz-Delgado *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2018), sobre todo si ocurre con frecuencias cortas de tiempo (Tessler *et al.*, 2016).

También hay que tener en cuenta que, durante las últimas décadas, el número de incendios forestales ha disminuido en España, pero cada vez son más intensos y difíciles de controlar, lo que ha dado lugar a que la superficie calcinada por grandes incendios forestales (GIF > 500 hectáreas) haya aumentado (Spano *et al.*, 2014). Esto es en gran parte debido a las condiciones climáticas de sequía a las que se encuentra sometida la península, la cual irá a peor debido al avance del cambio climático, ya que se prevén escenarios futuros con aumentos de temperaturas y bajadas de las precipitaciones, lo que se traduciría en más incendios y en mayores superficies quemadas (Moreira *et al.*, 2011; Dupuy, 2020).

Esto, sumado al abandono de las tierras de cultivo, la acumulación de combustibles en el monte por falta de gestión y el aumento de la población, conduce a un marco futuro donde se presupone que se incrementará también la severidad de los incendios (Pausas, 2004; Moreira *et al.*, 2011; Doblas-Miranda *et al.*, 2015; Castellnou, 2018; Madrigal *et al.*, 2019; Martínez, 2019), poniendo en jaque la viabilidad de gran parte de los hábitats (García, 2018). Además, todos estos cambios están provocando una descentralización de los incendios en verano, pasando a tener estos eventos de manera generalizada a lo largo de todo el año y no solo en la época estival (Moreno, 2016; Moreno, 2017; Castellnou, 2018), como ha venido sucediendo hasta ahora.

Hay que tener en cuenta el grado de intensidad y severidad que tienen estos incendios, ya que condicionan la respuesta del ecosistema tras el incendio (Lentile *et al.*, 2006; González-De Vega *et al.*, 2016). Por intensidad, se entiende a la energía que se desprende en el proceso de la combustión (Keeley, 2009), y la severidad es el efecto que causa dicha intensidad sobre el suelo y sobre la vegetación, o en cualquiera de sus características mientras está activo (Keely, 2009; Key & Benson, 2006). Por ello, cuando se producen incendios con altas intensidades y severidades, se provocan alteraciones en los hábitats, los cuales tendrán una recuperación muy

lenta, e incluso podrían convertirse en ecosistemas irrecuperables, si se sobrepasaran ciertos umbrales de degradación (Lentile *et al.*, 2006; Robichaud *et al.*, 2016). Esto se debe a que se elimina la mayor parte de la cubierta vegetal, la cual ejerce una función de protección sobre el suelo, así como la materia orgánica que se encuentran en las capas superficiales (Neary *et al.*, 2005; Certini *et al.*, 2011). Lo que sucede es que las partículas finas taponan los huecos de la superficie del suelo, disminuyendo la infiltración de agua en el mismo (Neary *et al.*, 1999; Beatty & Smith, 2013). De este modo, sin cubierta vegetal y con la tasa de infiltración mermada, aumenta la escorrentía superficial, aumentando así la tasa de erosión del suelo (Scott, 1993; Beatty & Smith, 2013). También hay que tener en cuenta que, cuando el tiempo de residencia de las llamas es elevado, los bancos de semillas existentes en el suelo presentan elevadas tasas de mortalidad (*National Wildlife Federation*, 2007), lo que pone en peligro la futura recuperación.

Cuando las severidades han sido moderadas o bajas, la vegetación también queda expuesta a nuevas dificultades (Gibson & Negrón, 2009), como puede ser la aparición de insectos que se alimentan de la madera muerta y en descomposición. Ejemplo de esto son los escolítidos como *Tomicus* sp, *Orthotomicus* sp e *Ips* sp sobre pinares, que no solo atacan a aquellos ejemplares muertos tras el incendio, sino que pueden llegar a matar a ejemplares vivos que se encuentran en zonas cercanas al incendio, y que han sido debilitados tras la perturbación. Y si estas poblaciones de insectos llegan a constituir una plaga, podrían provocar la mortalidad de masas forestales sanas que estuviesen en las proximidades a la zona que ha sido incendiada.

Pero no solo hay que tener en cuenta los efectos ambientales de los incendios, ya que también se generan otras perturbaciones, como pueden ser cambios a nivel socioeconómico. Las materias primas que se han visto afectadas pierden su valor, ya que no se pueden aprovechar de manera total o parcial. El turismo y las actividades de tipo recreativo asociadas al lugar también se pueden resentir, lo que repercutirá en la economía local. Sin olvidar que, las inversiones destinadas a la recuperación de los ecosistemas, implican unos gastos elevados, que irían en detrimento de otras inversiones (Greenpeace España, 2010).

Más en concreto, si nos fijamos en los ecosistemas mediterráneos, los incendios son una de las principales perturbaciones asociadas a su normal funcionamiento, estando adaptados a los regímenes naturales de incendios (Ne'eman & Trabaud, 2000; Turco *et al.*, 2014). En estas zonas, la mayoría de los incendios son de origen antrópico (Ne'eman *et al.*, 2004; Vilar *et al.*, 2016), y pueden afectar tanto de manera superficial a árboles como a arbustos (Pausas, 2015). Además, la presión que ejercen estos episodios en el mediterráneo, otorgan unos rasgos característicos a las plantas (Keeley *et al.*, 2012), determinando también su distribución y composición vegetal (Bond & Keeley, 2005). No hay que olvidar que la cuenca mediterránea no es ajena al escenario de cambio climático y al cambio de los usos del suelo y socioeconómicos (Pausas & Keeley, 2014), por lo que también se está modificando la estructura vegetal, la composición, y sobre todo el régimen de episodios de incendio (Santana *et al.*, 2014; Castellnou, 2018).

1.1. Antecedentes y justificación

Tal y como se ha comentado, la afección de los incendios forestales sobre el territorio es un problema de primer orden, sobre todo en el área mediterránea, donde los suelos son muy vulnerables frente a estas perturbaciones, especialmente en las zonas áridas y semiáridas que no están gestionadas (Hedo *et al.*, 2015).

De hecho, la frecuencia, el tamaño y la intensidad de los incendios tiene una tendencia al alza en el mediterráneo, además de notarse una desestacionalización de los incendios, ya que durante todo el año se pueden observar la existencia de grandes incendios (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2012; Castellnou, 2018).

Por ello, la caracterización de la gravedad y severidad de un incendio se convierte en tarea obligatoria para poder entender los efectos y procesos ambientales que se van a derivar de la perturbación (Úbeda *et al.*, 2009) y, a más largo plazo, los factores de cambio y riesgo post-incendio (Eidenshink *et al.*, 2007). A partir de este conocimiento, se podrían proyectar actuaciones de restauración post-incendio que minimicen los efectos negativos sobre el suelo, fauna, flora, atmósfera, etc. (Bento-Gonçalves *et al.*, 2012), teniendo en cuenta la tendencia que presenta el cambio climático y el aumento del régimen de incendios (Doblas-Miranda *et al.*, 2017).

Para hacer frente a esta problemática, en la fase de planificación territorial en la prevención de incendios forestales, se intenta determinar aquellas áreas del territorio que deben ser prioritarias de cara a una gestión de la estructura y composición del combustible. Para ello, se emplean cada vez más, técnicas de teledetección en la gestión integral de los incendios, ya que es una herramienta que tiene una alta disponibilidad, además de ser un producto gratuito y de cómodo acceso.

En esas áreas potenciales de gestión, que se les conoce como Puntos Estratégicos de Gestión (PEG), se construyen infraestructuras de extinción o se realizan trabajos de silvicultura, con el fin de crear una formación vegetal en mosaico y puntos de oportunidad, que pueda frenar el avance del fuego o que reduzca sensiblemente su severidad en el caso de llegar a ellos (Escrig *et al.*, 2013). Estos trabajos preventivos, se realizan en lugares con unas características determinadas, en base a su pendiente, orientación, modelos de combustible, puntos hidrantes cercanos, accesos, condiciones meteorológicas, entre otros. Con estos trabajos, se pretende que el frente del fuego cambie su comportamiento cuando alcance estas áreas, reduciendo su severidad y mejorando la resiliencia del ecosistema (North *et al.*, 2015), permitiendo trabajar dentro de la capacidad de extinción a los medios (Costa *et al.*, 2011; Tedim *et al.*, 2018), minimizando las consecuencias sociales y económicas (Vallejo & Valdecantos, 2008).

Aun así, existe una corriente que considera que los trabajos preventivos no son eficaces para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, debido al contexto de cambio global en el que nos encontramos (Boer *et al.*, 2015). O incluso que las infraestructuras lineales de prevención, no están bien dimensionadas para el trabajo de lucha mediante métodos directos (Calkin *et al.*, 2011). Por estos motivos, es de gran importancia poder determinar el potencial de afección que puede tener un incendio sobre un lugar en un momento determinado, para tenerlo en consideración en los planes de prevención frente a incendios. Así, si se conoce la severidad potencial que puede afectar un ecosistema, a partir de unas condiciones climatológicas y fisiográficas determinadas, se podrían tomar medidas preventivas más ajustadas a la realidad, con el fin de proteger el hábitat ante un posible incendio forestal.

Hasta el momento, para determinar estas áreas estratégicas no se tiene en cuenta el grado de severidad potencial que tiene el territorio si se diese un incendio forestal en un momento dado, a pesar de que el estudio de la severidad potencial, es una línea de trabajo que está en auge en los últimos años (Fang *et al.*, 2018; Mitsopoulos *et al.*, 2019; Costa-Saura *et al.*, 2022; Fernández-García *et al.*, 2022). Por ello, disponer de una herramienta que permita evaluar la severidad potencial de quemado que puede sufrir un ecosistema en el este peninsular, podría ser de gran utilidad en la fase de planificación de la prevención.

En esta línea, el proyecto “**Vulnerabilidad integral de los sistemas forestales frente a incendios: implicaciones en las herramientas de gestión forestal - VIS4FIRE RTA2017-00042-C05; 2018-2020**”, tiene entre sus objetivos desarrollar herramientas y tecnologías aplicables antes, durante y después de los incendios. Entre estas metodologías, se quiere desarrollar un módulo de cálculo que permita predecir y evaluar la severidad potencial asociada a un territorio (llamado *SeverityApp*) para integrarla en una aplicación informática de mayor magnitud, que permitirá brindar apoyo a la gestión forestal, mediante la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas forestales frente a un incendio (VIS4FIREApp). La Universidad de Castilla – La Mancha (Grupo de Trabajo ECOFOR), ha sido la designada como la responsable de liderar el desarrollo de dicha herramienta.

En la creación de esta herramienta de cálculo de la severidad potencial, se parte de la hipótesis de que se puede modelizar la severidad futura de un incendio sobre un territorio determinado, con suficiente precisión como para que sea útil en el proceso de planificación de zonas estratégicas de gestión.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Por lo tanto, el principal objetivo de este proyecto es desarrollar y validar una propuesta de metodología de cálculo de la severidad potencial frente a un incendio (*SeverityApp*) en los territorios de la Comunitat Valenciana, mediante la cual se pueda generar una cartografía temática que ayude en los procesos de toma de decisión en los trabajos de silvicultura preventiva.

Para la consecución de este objetivo general, se deberán alcanzar distintos hitos parciales:

- Objetivo secundario 1: Determinación y obtención de las principales variables ambientales estáticas y dinámicas que intervienen en la caracterización de la severidad de un incendio, para la Comunitat Valenciana.
- Objetivo secundario 2: Desarrollo de un modelo predictivo basado en la integración de las variables seleccionadas que permita estimar la severidad potencial de incendios forestales y que sea reproducible en zonas geográficas similares.
- Objetivo secundario 3: Validación del modelo de predicción en incendios reales de la Comunitat Valenciana, a partir de índices de teledetección.

Con todo esto, se pretende generar un conocimiento científico y técnico relacionado con la evaluación de la severidad en incendios forestales, en el marco de la gestión forestal sostenible.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La zona de estudio comprende toda la Comunitat Valenciana, la cual está dividida en 3 provincias: Castellón, Valencia y Alicante, de norte a sur. Además, también cuentan con la isla de Tabarca y Las Columbretes, aunque administrativamente pertenecen a Alicante y Castellón, respectivamente.

La Comunitat Valenciana, de forma estrecha y prolongada, se sitúa al este de la península. Limita con las comunidades de Cataluña, Aragón, Castilla – La Mancha, Murcia y el mar Mediterráneo (con unos 470 km de costa, aproximadamente). Su extensión es de 2,3 millones de hectáreas, de las cuales 1,3 millones son forestales, lo que supone casi un 57% sobre el total (Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio de la Generalitat Valenciana, 2024). Además, esta superficie va en aumento, sobre todo debido al abandono de los campos agrícolas y la matorralización de estas superficies.

El 55 % de la superficie forestal es de titularidad privada, el 39% pertenece a entidades de carácter público (principalmente a ayuntamientos y a la propia Generalitat), y del 6% restante, se desconoce la propiedad (Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio de la Generalitat Valenciana, 2024).

Tiene una orografía muy marcada con gran variedad de relieves, donde las zonas interiores son las zonas con mayores elevaciones (pudiendo superar los 1.800 msnm), para ir descendiendo hasta llegar al litoral, al este de la península.

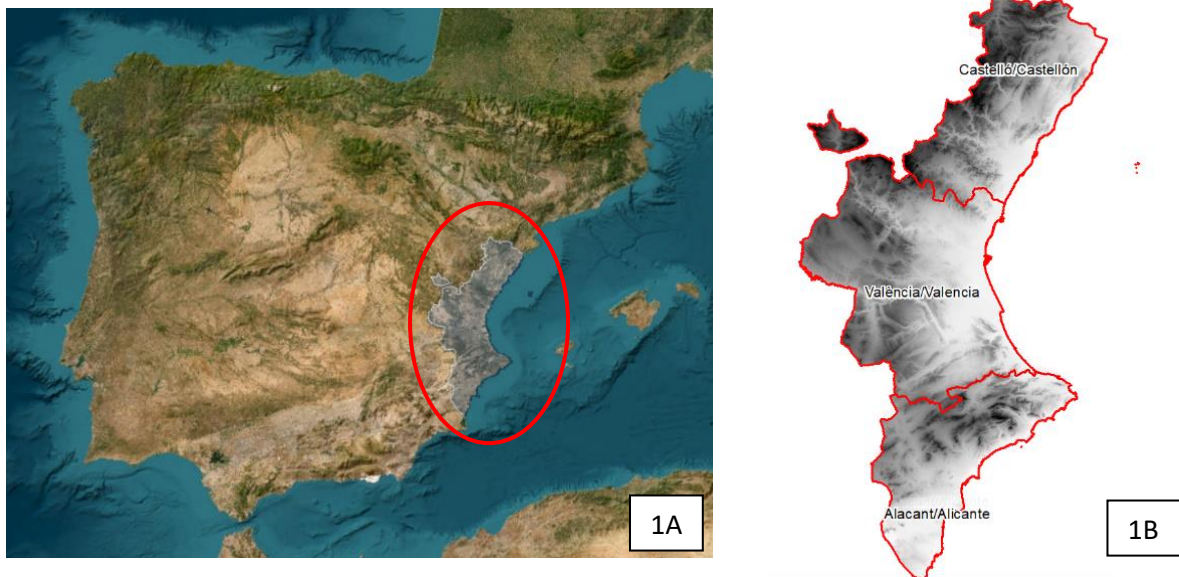


Figura 1. Mapa de localización (1A), relieve de la Comunitat Valenciana (1B). Fuente: Elaboración propia (2024).

Por esta posición geográfica privilegiada y su cercanía al mar, la Comunitat Valenciana presenta un clima típico mediterráneo, con inviernos templados y ligeramente pluviosos, y los veranos secos y calurosos.

Las temperaturas medias suelen oscilar entre los 8 y los 20 °C, estando condicionadas por la altitud del terreno y su proximidad al mar, existiendo contrastes entre las exposiciones norte y sur. Durante las épocas de verano, se alcanzan los 40 °C en casi cualquier parte del territorio, y las mínimas en invierno pueden llegar a los -10 °C en los puntos más elevados del interior, o los 3 °C en puntos más cercanos a la costa.

La precipitación anual y su distribución es variable, oscilando entre los 270 y los 800 mm. La mayor parte de las lluvias suelen tener lugar en invierno y en las estaciones intermedias, y pueden ser de carácter torrencial. Y una característica muy marcada es que, durante gran parte del año, existen periodos extensos donde la precipitación es casi nula.

En cuanto a la humedad relativa, la Comunitat Valenciana cuenta con una media anual que oscila entre el 60 – 70%, lo que unido a las temperaturas generalmente elevadas, suele aumentar la sensación de calor.

Todas estas características, hacen que se puedan encontrar 4 tipos distintos de condiciones o climas:

- *Mediterráneo típico*: norte de Valencia y sur de Castellón, con inviernos que no son excesivamente fríos y veranos secos y calurosos (temperaturas máximas cercanas a los 30 °C), y con precipitaciones sobre todo en las estaciones de primavera y otoño.
- *Continental*: norte de Alicante y sur de Valencia, con inviernos fríos, temperaturas máximas rondando los 40 °C y con lluvias escasas, aunque mejor repartidas durante todo el año.
- *Seco*: en la mitad sur de Alicante, con inviernos muy suaves (12 °C) y veranos muy cálidos, áridos y largos, acompañados de escasas o nulas precipitaciones en primavera y otoño.
- *De montaña*: domina en la parte norte de Castellón y en los puntos más elevados de la comunidad, donde abundan las lluvias (incluso en forma de nieve) y predominan las bajas temperaturas durante todo el año.

La Agencia Española de Meteorología (AEMET, 2024), está registrando un aumento de la temperatura media, en torno a 0,5 °C al año. De hecho, de los doce años más calurosos que se han registrado, diez se han dado en el siglo actual. Por lo que se está cambiando hacia una mayor aridez en el territorio.

En cuanto a las precipitaciones, según AEMET (2024), el promedio está decreciendo en un 2% anual, aunque en el último año hidrológico (octubre 2023 – mayo de 2024) el descenso ha sido del 50% y 75% en las zonas de interior y del litoral, respectivamente.

Las condiciones climatológicas descritas, han dado lugar a unos ecosistemas forestales muy característicos. Según el Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR), las principales formaciones boscosas están dominadas por:

- Coníferas: con especies principales como *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus sylvestris* y *Juniperus thurifera*.

- Fronosas: principalmente de quercíneas como *Quercus ilex*, *Quercus faginea* y *Quercus suber*.
- Matorrales: formaciones de sotobosque con especies xerófilas como *Quercus coccifera*, *Ulex parviflorus*, *Salvia rosmarinus*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Macrochloa tenacissima* o *Anthyllis cytisoides*, entre otras.
- Pastos: solos o acompañando al resto de especies, pero siempre cubriendo grandes extensiones de suelo, y siendo la especie dominante el *Brachypodium retusum*.
- Otros: aproximadamente 30.000 hectáreas contienen ecosistemas inmaduros, los cuales se encuentran en etapas iniciales. Pueden aparecer asociados a suelos ricos en yeso, arenas en playas, suelos pedregosos, de zonas de ribera, etc.

3.2. Incendios estudiados

Para la validación de la herramienta, se han empleado un total de 10 incendios, ocurridos entre los años 2016 – 2023, los cuales tienen una superficie total de 46.643,20 hectáreas.

Para la selección de los incendios, se han escogido los que mayor superficie quemada presentan en los últimos 10 años, así como una distribución lo más equitativa posible por todo el territorio. Además de su extensión y distribución, la variedad en las altitudes y la heterogeneidad de sus ecosistemas, hacen que puedan considerarse suficientemente representativos de los típicos incendios que se dan en la Comunitat Valenciana.

Su distribución por provincias es la siguiente:

- Castellón: 3 incendios
- Valencia: 5 incendios
- Alicante: 2 incendios

A continuación, se presenta una tabla con los incendios junto con una breve descripción de las principales características para cada uno de ellos. También se presenta un plano con la distribución espacial de los mismos en el territorio:

Tabla 1. Descripción de los incendios utilizados en el estudio. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Fecha	Provincia	Superficie forestal afectada	Altitudes (m)	Ecosistemas dominantes
Chella	15/06/2016	Valencia	1.653,58 ha	64 – 418	Matorrales puros y pinares de <i>Pinus halepensis</i> acompañados de matorral. Alta carga de combustible y continuidad total.
Carcaixent	16/06/2016	Valencia	2.303,70 ha	49 – 389	Principalmente matorral, acompañado de pastos y bosquetes de <i>Pinus halepensis</i> .
Llutxent	06/08/2018	Valencia	3.050,17 ha	114 – 751	Matorral puro en su mayoría, acompañado de pastizales y bosquetes de alcornoques (<i>Quercus suber</i>). Alta carga y continuidad del combustible.
Beneixama	15/07/2019	Alicante	849,19 ha	669 – 1012	Dominancia de matorral disperso de arbustos leñosos. Aparición de zonas de matorral denso bajo arbolado.
Soneja	14/08/2021	Castellón	484,89 ha	293 – 627	Principalmente matorral denso, con matorral bajo arbolado (<i>Pinus halepensis</i>).
Venta del Moro	03/07/2022	Valencia	1.462,66 ha	537 – 958	Matorral y matorral bajo arbolado de <i>Pinus halepensis</i> , a partes iguales.
Vall de Ebo	13/08/2022	Alicante	11.604,42 ha	93 – 1165	Matorrales con aparición de pastos y matorrales bajos, acompañados de <i>Pinus halepensis</i> .
Bejís	15/08/2022	Castellón	18.540,92 ha	543 – 1579	Matorral esclerófilo, acompañado de encinares (<i>Quercus ilex</i>), quejigos (<i>Quercus faginea</i>) y pinares (<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus sylvestris</i>).
Villanueva de Viver	23/03/2023	Castellón	4.449,28 ha	502 – 1037	Pinares maduros de regeneración con diferencias de densidad entre solana y umbría, acompañados de matorral denso. Aparición de encinares (<i>Quercus ilex</i>) y quejigares (<i>Quercus faginea</i>).
Montixelvo	02/11/2023	Valencia	2.244,39 ha	57 – 830	Regenerado de matorral y <i>Pinus halepensis</i> de bajo porte, con elevada carga de combustible y continuidad.

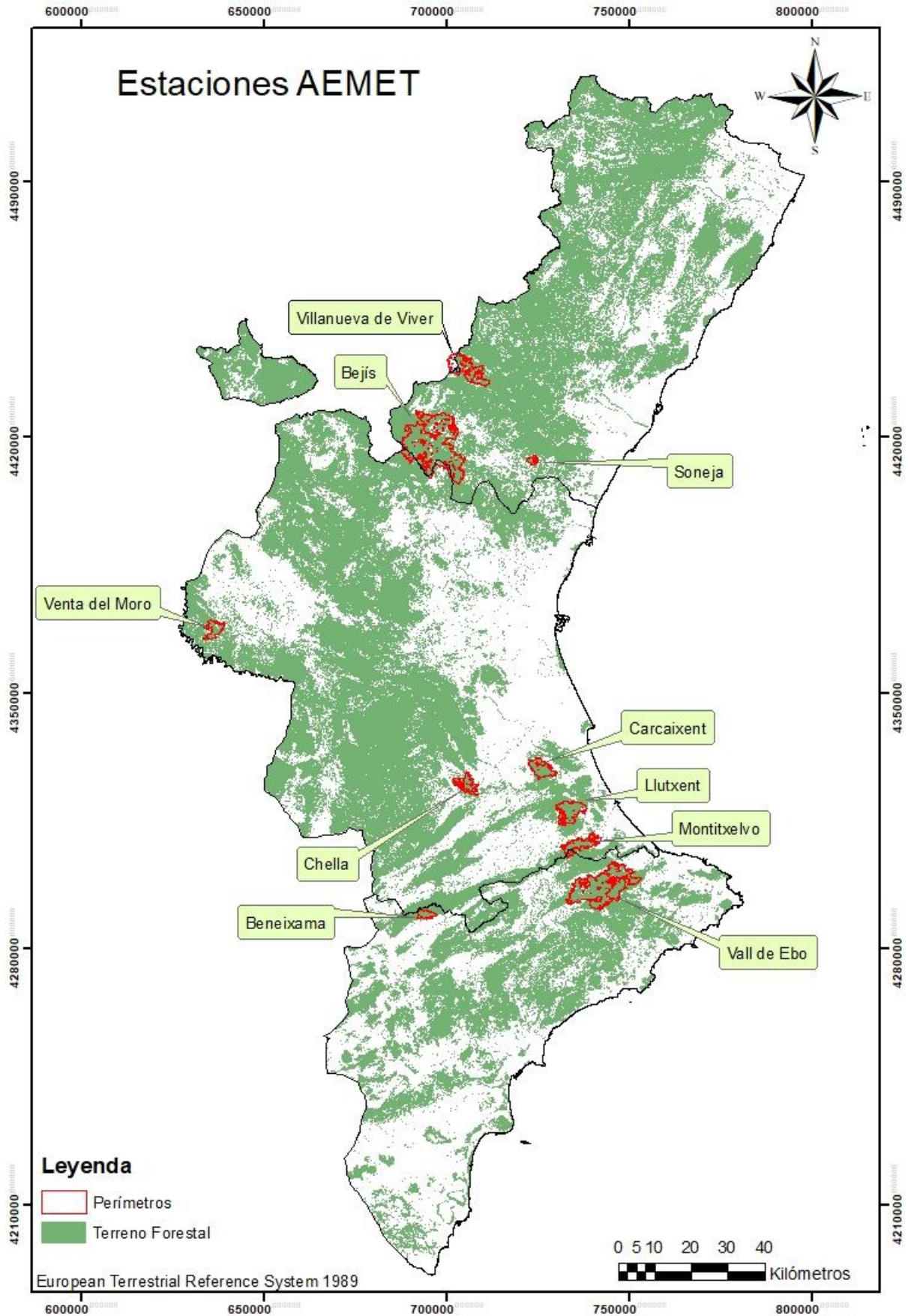


Figura 2. Localización de los incendios utilizados en el estudio. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.3. Herramienta de cálculo de severidad potencial (*SeverityApp*)

Para el desarrollo del presente proyecto, se ha trabajado en el módulo que determina la severidad potencial que tiene asociada el territorio (*SeverityApp*), dentro del proyecto *VIS4FIREApp*. Se trata de una herramienta creada a partir de modelos de aprendizaje automático por Inteligencia Artificial (IA), para los cuales se han empleado incendios de la Comunidad de Castilla-La Mancha.

Esta herramienta se alimenta de varias fuentes de datos. Por un lado, hay entradas de tipo estático, que corresponden a las características físicas del lugar: modelos de combustible, inflamabilidad, pendientes, orientación, altura de la vegetación, modelo digital del terreno, erosionabilidad y fracción de cuba cubierta. Por otro lado, hay entradas de tipo dinámico, que se corresponden con las variables climáticas del área estudiada: anomalía climática, déficit de presión de vapor y velocidad del viento.

A continuación, se muestra la estructura que sigue el módulo de cálculo de severidad potencial *SeverityApp*:

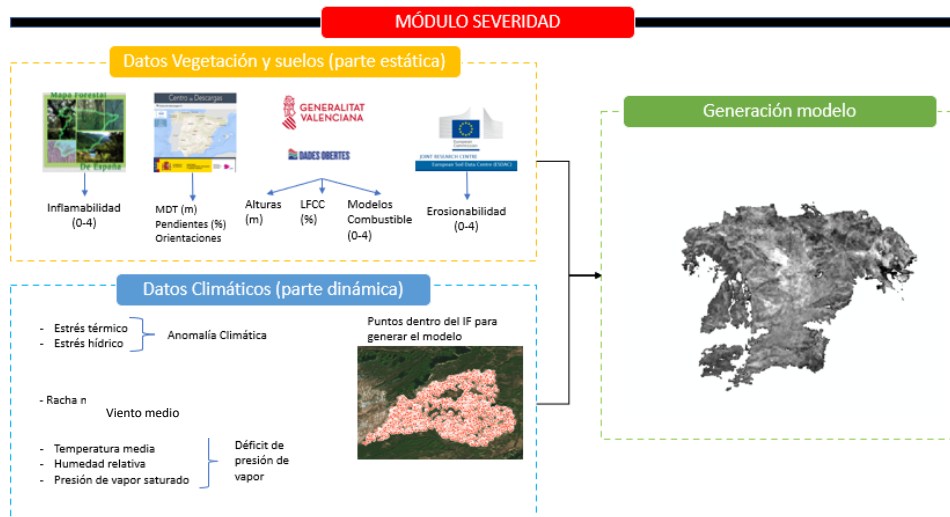


Figura 3. Estructura del cálculo de la severidad potencial. Fuente: Elaboración propia (2024).

Se elaborará cada una de las variables correspondientes al submódulo estático: inflamabilidad, erosionabilidad, Modelos de Combustible (MC), pendientes, orientaciones, altura de la vegetación, Fracción de Cubada Cubierta (LFCC) y Modelo Digital del Terreno (MDT), obteniéndose la cartografía correspondiente para cada una de ellas.

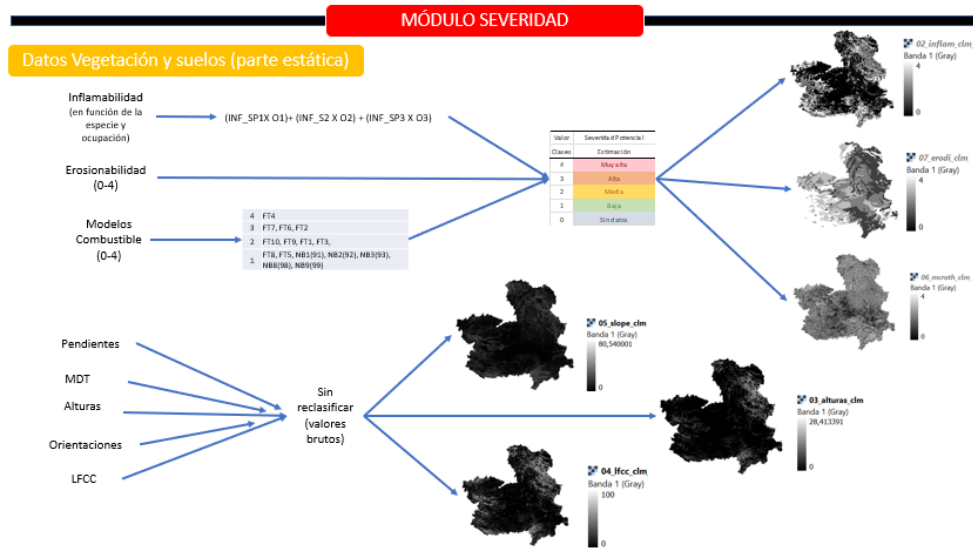


Figura 4. Relación de las variables estáticas del modelo. Fuente: Elaboración propia (2024).

También se determinarán cada una de las variables correspondientes al submódulo dinámico: Anomalía Climática (AC), Déficit de Presión de Vapor (DPV) y Velocidad Media del Viento (V_{med}), para el momento de cada uno de los incendios.

Con todo esto, se consigue elaborar una predicción de severidad potencial previa al incendio para cada uno de los perímetros estudiados.

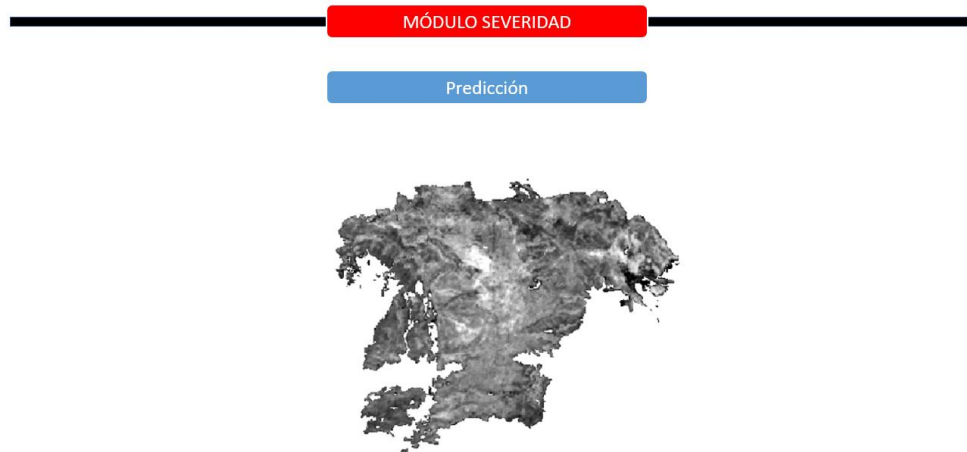


Figura 5. Producto de la predicción del modelo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Estas predicciones, se enfrentarán con las severidades post-incendio calculadas a partir de imágenes de satélite ($dNBR$), así como de someterse al análisis estadístico mediante el coeficiente Kappa, para comprobar la bondad de la predicción del modelo.

Metodología de cálculo de la herramienta

En el proceso de cálculo, hay una primera parte en la que el modelo distingue entre dos clases de severidad (Baja y Alta) para, a continuación, distinguir entre dos bajas y dos altas, creando así una clasificación en 4 grandes grupos.

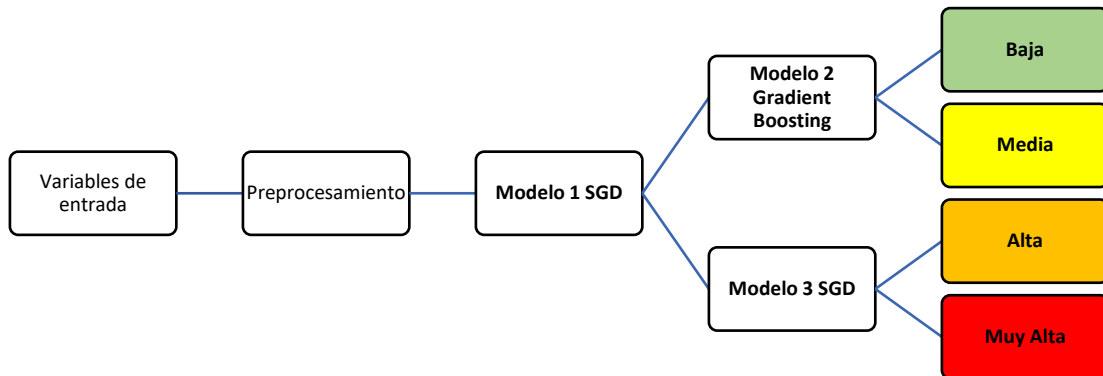


Figura 6. Esquema general de funcionamiento de la herramienta SeverityApp. Fuente: Elaboración propia (2024).

Previo a la ejecución de la herramienta, y tal y como se observa en la Figura 6, se debe realizar un preprocesamiento de todas las variables de entrada:

Para la variable Elevación, Orientación, Altura, DPV y V_{med} , se realiza una estandarización a media 0 y desviación 1. Para la obtención del valor normalizado se realiza la siguiente técnica:

$$\frac{(X - U)}{S}$$

Donde:

X: valor original

U: media

S: desviación

En el caso de la variable Orientaciones, se realiza una razón trigonométrica del ángulo, para evitar errores con los valores 0° y 360° , creándose dos entradas, una con el seno y otra con el coseno del ángulo.

Las variables que se trabajan en porcentajes (Pendientes, LFCC y AC), se dividen entre 100 para escalar sus valores a tantos por 1 [0,1].

Por lo que respecta a las variables discretas, se crea una nueva variable por cada clase, donde se le otorga el valor 1 en caso de que corresponda a esa clase o valor 0 si no se corresponde. En el caso de la variable Erosionabilidad, existen las clases 1, 2, y 4, pero no la clase 3, ya que en los entrenamientos de la herramienta, no aparecen lugares con esta clasificación. Para las variables de Inflamabilidad y Modelos de Combustible, existen las clases 1, 2, 3 y 4.

Tras este preprocesado, existirán 20 variables en total: “*elevacion, orientacion_sen, orientacion_cos, altura, dpv, vel_media_viento, slope, lfcc, anomalia, erodi_1, erodi_2, erodi_4, inflam_1, inflam_2, inflam_3, inflam_4, mcroth_1, mcroth_2, mcroth_3, mcroth_4*”.

Con estas variables normalizadas, ya se puede ejecutar el Modelo 1 SGD de predicción. Este modelo consta de un término independiente (-0.10054312), más los resultados de multiplicar las variables generadas en el preprocesamiento, por un valor de coeficiente asociado a cada una de ellas.

La ecuación de cálculo quedaría de la siguiente manera:

Modelo 1 SGD	=	-	0.10054312	+	0.19276405364740717*	elevacion	-
					0.022952394850434515*	orientacion_sen	+
					0.07916025914363506*	orientacion_cos	+
					0.16524075775947292*	altura	-
					0.14038538708035148*	dpv	-
					0.164678639161896*	vel_media_viento	-
					0.01190711220260829*	slope	+
					0.0586008475749735661*	lfcc	-
					0.006637930952052438*	anomalia	+
					0.018979152455385763*	erodi_1	+
					0.0026678466155921495*	erodi_2	+
					1.163467528545246e-05*	erodi_4	-
					7.099119835374738e-05*	inflam_1	+
					0.029262346424914355*	inflam_2	+
					0.013080886729121947*	inflam_3	-
					0.02061360820943514*	inflam_4	+
					0.03176238860834621*	mcroth_1	+
					0.08723613492027636*	mcroth_2	-
					0.11121305251334575*	mcroth_3	+
					0.013873162731459025*	mcroth_4	

Con el resultado numérico obtenido, se hace una primera clasificación entre clase *Alta* (si el valor es positivo) y clase *Baja* (si el valor es negativo).

En caso de que se prediga la clase *Baja*, se hace la predicción final con el **Modelo 2 Gradient Boosting**, que está compuesto por más de 100 árboles de decisión, donde cada uno puede llegar a tener una profundidad máxima de 5 niveles. Cada uno de estos niveles, predice una clase, que se multiplica por un peso asociado al árbol de decisión y que, al sumarlos, obtiene una clase final a predecir. Esto diferenciaría entre la clase **Baja** o clase **Media**.

Por el contrario, en el caso de que el Modelo 1 SGD haya predicho la clase *Alta*, la predicción final se hace con el Modelo 3 SGD, que funciona del mismo modo, solo que tiene distintos coeficientes en su cálculo. En este caso, el modelo consta del término independiente -0.18198404, más los resultados de multiplicar las variables generadas en el preprocesamiento, por el valor del coeficiente asociado a cada una de ellas.

La ecuación de cálculo de este modelo queda de la siguiente manera:

Modelo 3 SGD	=	-	0.18198404	+	0.22489256950739295*	elevacion	-
0.07820687792069189*	orientacion_sen	-	0.048915820997927635*	orientacion_cos	+		
0.09255217585787642*	altura	-	0.23027436230537487*	dpv	-	0.17062999186249148*	
vel_media_viento	+	0.007984446486922838*	slope	+	0.04462333791084332*	lfcc	-
0.00794354151233439*	anomalía	+	0.06295684387098673*	erodi_1	-		
0.03085639954711346*	erodi_2	-	4.167708593815051e-05*	erodi_4	-	0.000197966158206215*	
inflam_1	+	0.07863730902477292*	inflam_2	+	0.03987136305245006*	inflam_3	-
0.0862519386810338*	inflam_4	+	0.017176950514321436*	mroth_1	+		
0.044684559028905266*	mroth_2	-	0.033886667264774295*	mroth_3	+		
0.004083924959503408*	mroth_4						

Cuando el resultado de este modelo es positivo, la predicción final es **Muy Alta** y, si es negativo, la predicción es **Alta**. De este modo, se obtiene una clasificación final en 4 grandes clases de severidad potencial (Baja, Media, Alta y Muy Alta).

A continuación se detallan las condiciones y características de cada una de las entradas al modelo:

3.3.1. Modelo Digital del Terreno

Para obtener el Modelo Digital del Terreno (MDT), se trabajó con las imágenes disponibles del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). En total se descargaron 92 hojas, correspondientes al tamaño de píxel de 25x25 metros (MDT25) para todo el territorio, desde el Centro Nacional de Descargas (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). (<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>).

Se efectuó la unión de todas las hojas con la herramienta *De mosaico a nuevo ráster* (ArcMap 10.8.1.), para obtener el producto combinado. En el Anexo I, se encuentra el listado de las 92 hojas empleadas en el desarrollo y, en el Anexo II, se representa el MDT elaborado para la Comunitat Valenciana, expresado en metros.

Las características de la capa obtenida son:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

Las hojas donde se encuadran los incendios utilizados en la validación, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2. Hojas MDT25 para los incendios utilizados en el estudio de validación. Fuente: Elaboración propia (2024).

AÑO	INCENDIO	HOJAS MDT
2016	CHELLA	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0769_LID
2016	CARCAIXENT	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0770_LID
2018	LLUTXENT	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0795_LID
2019	BENEIXAMA	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0820_LID
2021	SONEJA	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0640_LID
2022	BEJÍS	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0667_LID PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0639_LID
2022	VALL DE EBO	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0821_LID PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0822_LID PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0796_LID
2022	VENTA DEL MORO	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0719_LID
2023	MONTITXELVO	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0795_LID
2023	VILLANUEVA DE VIVER	PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0614_LID

3.3.2. Orientaciones

A partir del MDT25 elaborado en el apartado anterior, se calcularon las orientaciones en grados para toda la Comunitat, mediante la herramienta *Orientación* (ArcMap 10.8.1.). En el Anexo III, se presentan las orientaciones para la Comunitat Valenciana.

Las características de la capa de orientaciones son:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

3.3.3. Pendientes

A partir del MDT25, también se obtuvo las pendientes en porcentaje para toda la comunidad autónoma, mediante la herramienta *Pendiente* (ArcMap 10.8.1.). En el Anexo IV, se representan las pendientes calculadas para la Comunitat Valenciana, expresadas en porcentaje.

Las características de capa de pendientes son:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

3.3.4. Fracción de cabida cubierta

Para el cálculo de la Fracción de Cabida Cubierta del territorio (LFCC), se emplearon datos del vuelo LiDAR del PNOA, disponibles en el IGN (<https://pnoa.ign.es/web/portal/pnoa-lidar/productos-a-descarga>).

El PNOA es un proyecto de cooperación entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, donde se toman ortofotografías aéreas de manera sistemática cada 3 años, y donde se incluye la tecnología LiDAR a partir del año 2009.

Los datos empleados corresponden a los de la 2ª cobertura, que fueron vuelos realizados entre el 2015 y el 2021. En concreto, la fecha de toma de datos para cada provincia es de: 2016 en Alicante, 2015 en Valencia y 2018 en Castellón.

A partir de las nubes de puntos LiDAR descargadas, las cuales tienen una densidad de 0,5 puntos/m², se realiza una visualización y normalización de los mismos, mediante la herramienta FUSION y LDV (visor de datos LiDAR). Previo a esto, se debe hacer una transformación del formato .LAZ a .LAS, con el software *LAStools* (de *Rapidlasso*).

En primer lugar, se realizó la extracción de un MDT con el comando *GridSurfaceCreate* (class:2), para poder normalizar las alturas de los retornos sobre el nivel del suelo. Este comando crea un modelo de superficie de cuadrículas, a partir de los puntos.

En segundo lugar, se creó el modelo de *CanopyModel* para todo el territorio mediante la herramienta FUSION. Esta función crea un modelo de superficie del dosel arbóreo, utilizando las nubes de puntos de LiDAR. Para ello, se selecciona el valor más alto del retorno, dentro de cada una de las celdas, para proporcionárselo al valor de la cuadrícula. Se tienen en cuenta las clases 3, 4 y 5, que corresponden a la clasificación de vegetación baja, media y alta.

En tercer lugar, se crearon las métricas relativas mediante el comando *GridMetrics*. Esta función calcula una serie de estadísticos correspondientes a un conjunto de datos. El producto final es un ráster con una base de datos para cada cuadrícula.

Y por último, se extrajeron las métricas correspondientes a la LFCC, a partir de los valores de la columna 49 (*Percentage first returns above 2.00*), mediante el comando *CSV2GRID* (que permite una salida en formato *ascii*).

En el Anexo V se muestran las sintaxis empleadas para cada uno de los comandos detallados en el apartado.

Para la Comunitat Valenciana, en el desarrollo de este apartado se necesitaría trabajar con 16560 archivos .LAZ, lo que supondría una carga de trabajo excesiva, además de las limitaciones computacionales. Es por esto que, se ha trabajado con la cartografía de LFCC del que dispone el Servicio de Vigilancia Preventiva de la Generalitat Valenciana, ya que se realizó con los mismos datos LiDAR y siguiendo la misma metodología.

Las características de la capa resultante son:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

En el Anexo VI, se representa la Fracción de Cobertura expresada en porcentaje, para toda la Comunitat Valenciana.

3.3.5. Alturas

En este caso, para la obtención de las alturas de la vegetación, se extraerían las métricas correspondientes a la altura (*Height*) del percentil 95, que corresponden a los valores de la columna 37 de las métricas obtenidas en el apartado anterior (*Elev_P95*), mediante el comando *CSV2GRID* (formato *ascii*). En el Anexo VI se muestra la sintaxis empleada para el cálculo.

Al igual que sucede en el apartado anterior, para la Comunitat Valenciana, se necesitaría trabajar con 16560 archivos *.LAZ*. Es por esto que, para este apartado, se ha trabajado con una cartografía de alturas de la vegetación que dispone el Servicio de Vigilancia Preventiva de la Generalitat Valenciana, elaborada a partir de los mismos datos LiDAR y siguiendo la misma metodología.

Las características de la capa resultante son:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

En el Anexo VII, se presentan las alturas de la vegetación para la Comunitat Valenciana, expresadas en metros.

3.3.6. Modelos de combustible

Para los Modelos de Combustible, se ha empleado la cartografía disponible en el visor del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) que tiene la Comunitat Valenciana (<https://geocataleg.gva.es/#/>), basada en los modelos de combustible de Rothermel (1972). La toma de datos para su elaboración, se realizó entre los años 2009-2012, por lo que es la cartografía de combustibles más adecuada para poder hacer la validación con los incendios seleccionados, ya que estos se inician en el año 2016.

A partir de estos combustibles, se realiza una conversión en base a una severidad potencial asociada para cada uno de ellos, en el caso de un posible incendio. A continuación, se muestra la tabla de reclasificación:

Tabla 3. Clasificación de severidad potencial según los modelos de combustible, según Rothermel (1972) y Scott & Burgan (2005). Fuente: Elaboración propia (2024).

Clases	Clases	Severidad Potencial
FT4, GR5(105), GR8(108),GR9(109), GS4(124), SH6(146), SH8(148), SH9(149), SB4(204)	4	Muy alta
FT7, FT6, FT2, GR4(104), GR7(107), GS3(123), SH5(145), SH7(147), SB3(203)	3	Alta
FT10, FT9, FT1, FT3, GR3(103), GR2(102), GS2(122), SH4(144), TU4(164), TL9(189), SB2(202)	2	Media
FT8, FT5, NB1(91), NB2(92), NB3(93), NB8(98), NB9(99), GR1(101), GS1(121), SH3(143), SH2(142), SH1(141), TU1(161), TU2(162), TU3(163), TU5(165), TL1(181), TL2(182), TL3(183), TL4(184), TL5(185), TL6(186), TL7(187), TL8(188), SB1(201)	1	Baja
Sin datos	0	Sin datos

*Nota: Los modelos de Rothermel (1972) tienen el código FT con el número del modelo de combustible.

La capa resultante tendrá las siguientes características:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

En el Anexo VIII, se representa cartográficamente el grado de severidad potencial según el modelo de combustible existente, para la Comunitat Valenciana.

3.3.7. Inflamabilidad

Se realiza una entrada correspondiente a la inflamabilidad asociada a las especies principales presentes en el territorio. Para ello, se emplea la cartografía correspondiente al Mapa Forestal Español (MFE50) de máxima actualidad (<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.html>), que para el territorio de la Comunitat Valenciana corresponde al del año 2005.

Sobre las especies principales y secundarias presentes en dicho inventario, se les asignará un valor de inflamabilidad, en base a bibliografía de referencia consultada. En el Anexo IX, se presenta el listado de especies y el grado de inflamabilidad asociada, junto con la referencia justificativa.

Posteriormente, ese valor de inflamabilidad que se le asignará a cada especie, se relacionará con un valor de severidad potencial. Para esta asociación, se entenderá que una especie altamente inflamable, no solo tendrá una mayor facilidad de prenderse fuego, sino que una vez que se ha prendido, es más propensa a propagar el fuego por ella, ya que es capaz de generar condiciones más favorables para el desarrollo del mismo y, por lo tanto, presentaría un grado de severidad más alto.

Hay que tener en cuenta que, aunque una especie sea altamente inflamable, si se encuentra en unas condiciones de humedad alta en su entorno, o no presenta una alta cantidad de combustible, no arderá con facilidad. O por el contrario, si se trata de una especie menos inflamable, pero las condiciones son las apropiadas, puede dar lugar a un fuego con intensidades altas que generen unos daños más severos.

A continuación se presenta una tabla resumen para las principales especies del MFE50, asociadas al grado de severidad potencial:

Tabla 4. Clasificación de la severidad potencial según la inflamabilidad de cada especie, para el MFE50. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clases	Códigos	Clases	Severidad Potencial
<i>Acacia dealbata</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> , <i>Cupressus arizonica</i> , <i>Cupressus macrocarpa</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , otros eucaliptos, <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Taxus baccata</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , Mezcla de eucaliptos, <i>Pinus canariensis</i> , <i>Phoenix spp.</i> , <i>Sorbus aria</i> , <i>Sorbus spp.</i> , <i>Sorbus domestica</i>	307, 67, 236, 4 36, 62, 61, 63,24, 45, 378, 14, 355, 60, 27, 69, 278, 78, 478	4	Muy alta
<i>Cedrus atlantica</i> , Cultivo en mosaico, <i>Cupressus sempervirens</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Laurus nobilis</i> , Matorral en mosaico, <i>Myrtus communis</i> , Pastizal-Matorral en mosaico, <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus radiata</i> , <i>Pinus uncinata</i> , Prado en mosaico, <i>Quercus suber</i> , Matorral en mosaico, Herbazal en mosaico, Pastizal-matorral en mosaico, cultivo en mosaico, prado en mosaico, <i>Tetraclinis articulata</i>	17,36,65,94,6, 8,26,23,28,22, 46, 8000, 9000, 3500, 3400, 1500, 219	3	Alta
<i>Acacia spp.</i> , <i>Ailanthus altissima</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Crataegus lacinata</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Crataegus spp.</i> , Herbazal en mosaico, <i>Juniperus communis</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Juniperus thurifera</i> , <i>Morus spp.</i> , otras frondosas, <i>Pinus nigra</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Platanus hispanica</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Quercus faginea</i> , <i>Sambucus nigra</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Ulmus pumila</i>	7,11,68,9,415, 215,15,37,237, 39,38,399,99,2 5,21,79,34,44, 97,56,356	2	Media
<i>Acer campestre</i> , <i>Acer monspessulanum</i> , <i>Acer opalus</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Amelanchier ovalis</i> , <i>Betula spp.</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Celtis australis</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Ficus carica</i> , <i>Fraxinus angustifolia</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Juglans nigra</i> , <i>Juglans regia</i> , <i>Larix spp.</i> , <i>Malus sylvestris</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Populus alba</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Populus x canadensis</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Prunus spp.</i> , <i>Pyrus spp.</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Salix alba</i> , <i>Salix atrocinerea</i> , <i>Salix elaeagnos</i> , <i>Salix fragilis</i> , <i>Salix purpurea</i> , <i>Salix spp.</i> , <i>Tamarix spp.</i> , <i>Tilia platyphyllos</i> , <i>Frangula alnus</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Rhus coriaria</i> , <i>Sophora japónica</i> , <i>Salix babilonica</i>	76,276,476,54, 2,73,72,13,74, 71,299,55,255, 75,275,35,12,6 6,93,51,58,52, 258,295,95,16, 42,43,4,92,257 ,357,757,857,9 57,57,53,377, 3,395,96,292, 457	1	Baja
Sin datos	0	0	Sin datos

Para poder asignar el valor a cada una de las clases, se realizará mediante la herramienta de “Selección por expresiones”, asignando posteriormente el valor de severidad potencial, mediante la “Calculadora de campos” (QGIS 3.32.0). En el Anexo X, se presentan los comandos utilizados.

Una vez creadas las clases de severidad potencial para cada especie, se dará el valor definitivo, donde se seleccionará el más restrictivo de entre los 3, es decir, el valor más alto entre SP1, SP2 o SP3, mediante el comando:

$$\max(\text{Clase_sp1}, \text{Clase_sp2}, \text{Clase_sp3})$$

en la “Calculadora de campos” (QGIS 3.32.0).

De este modo, se obtiene la severidad potencial (Tabla 4) asociada a cada clase de inflamabilidad. El resultado de esta clasificación, se recortará para la zona de estudio, rasterizándose a una extensión de 25 metros, ya que el MFE50 es a nivel nacional.

Finalmente, se obtendrá una capa resultante con las siguientes características:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia: *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

En el Anexo XI, se presenta el grado de severidad potencial según la inflamabilidad para la Comunitat Valenciana.

3.3.8. Erosionabilidad

Para la obtención de la entrada de erosionabilidad, se realizó una descarga directa del *Soil Erodibility (K-factor EU-28)*, de la base de datos de alta resolución publicado en el *European Soil Data Centre (ESDAC)*.

Se trata de un mapa de resolución de 500 metros con proyección ETRS89, que proporciona una imagen ráster de la erosionabilidad de los suelos en todo el territorio de la Unión Europea (27 estados miembros más Reino Unido). Para su cálculo, se empleó la base de datos de suelos europea y el análisis LUCAS (*Land Use and Coverage Area frame Survey*) del año 2009. En este último, se realizó una validación en campo de los usos del suelo en 250.000 ubicaciones distribuidas por toda la Unión Europea (EU).

Este mapa de erosionabilidad del suelo, incorpora mejoras con respecto al que había se calculado en el año 2011, como por ejemplo la resolución espacial, que pasó de ser de 11 kilómetros a 500 metros.

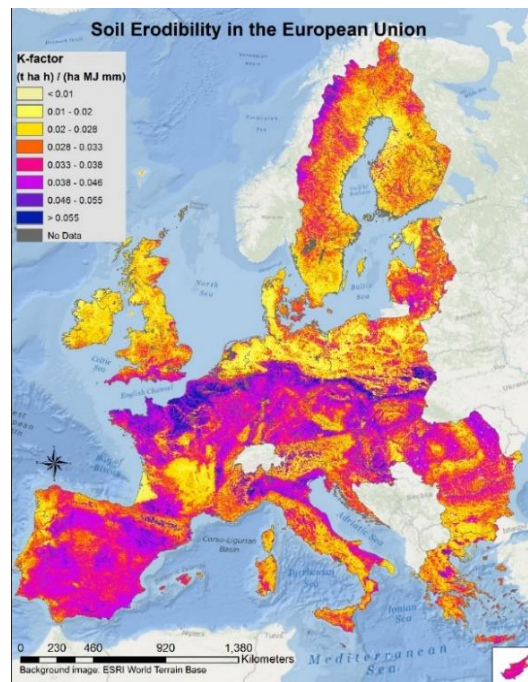


Figura 7. Erosionabilidad (*K-factor*). para la Unión Europea. Fuente: *European Soil Data Centre (ESDAC)*.

En Panagos *et al.* (2014) se realiza una descripción más completa de la metodología empleada para su cálculo y la aplicación en Europa del *Soil Erodibility*.

Sobre la información descargada, se realizará un redimensionado (ya que el producto de origen tiene una resolución espacial de 500 metros) a 25 metros, mediante la herramienta *Export Raster Data* (ArcMap 10.8.1.). Además, se realizará un reclasificado de los valores que presenta el territorio en 5 grandes clases o grupos:

Tabla 5. Niveles de erosionabilidad en los suelos. Fuente: Nájera González et al., 2016.

Clases de erodabilidad	Rangos de erodabilidad	Principales propiedades de los suelos
Muy alta	> 0,04	Suelos de textura arenosa o franco arenosa, poco profundos y con bajo contenido en materia orgánica
Alta	0,03–0,033	Suelos de textura franco arenosa, mediano a poco profundos y bajo contenido en materia orgánica
Media	0,02–0,026	Suelos de textura franco arenosa o franca, medianamente profundos y contenido medio en materia orgánica
Baja	0,001–0,009	Suelos de textura franca o franco arcillosa, medianamente profundos y contenido medio a alto en materia orgánica
Muy baja	0,009-0	Suelos de textura franca o franco arcillosa, profundos y contenido alto en materia orgánica

Tras esta reclasificación en clases de erosionabilidad, se creará una cartografía de severidad potencial asociada, dependiendo del grado de erosionabilidad del suelo. Esta reclasificación equiparará la erosionabilidad a un valor de severidad potencial, tal y como se ve en la siguiente tabla (agrupando las clases de erosionabilidad Baja y Muy Baja):

Tabla 6. Clasificación de severidad potencial de erosionabilidad del suelo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Erosionabilidad del suelo	Clases	Severidad Potencial
Muy alta	4	Muy alta
Alta	3	Alta
Media	2	Media
Muy baja, Baja	1	Baja
Sin datos	0	Sin datos

La capa resultante tendrá las características siguientes:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 25 x 25 m
- Sistema de referencia *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

En el Anexo XII, se presenta el grado de severidad potencial según la erosionabilidad para la Comunitat Valenciana.

3.3.9. Meteorología

Como se ha comentado en apartados anteriores, las variables dinámicas que se emplean en el modelo de cálculo son: Anomalia Climática (AC), Velocidad de Viento Media (V_{med}) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV).

Para su cálculo, se necesitará disponer de datos meteorológicos históricos de varias estaciones. En concreto, para este estudio se ha conseguido obtener datos completos de 25 estaciones meteorológicas repartidas por toda la Comunitat, las cuales se encuentran separadas entre ellas, pero lo más próximas posible a los incendios estudiados, para que los valores en las

simulaciones sean lo más ajustados a la realidad. La descarga de datos se ha hecho a través de la aplicación API REST (desarrollada por AEMET).

Tabla 7. Listado de estaciones meteorológicas empleadas. Fuente: Elaboración propia (2024).

Indicativo	Ubicación	Provincia
8025	Alicante	Alicante
8043G	Calp – Peñón de Ifac	Alicante
8050E	Jávea Ayuntamiento	Alicante
8054	Vall de Laguard - Fontilles	Alicante
8008A	Villena	Alicante
8057	Alcalá de Xivert – Vivero AVASA	Castellón
8472A	Arenos – Pantano	Castellón
8492	Atzeneta del Maestrat	Castellón
9563X	Castellfort	Castellón
8500A	Castellón – Almassora	Castellón
8439X	Segorbe – Masía Hoya	Castellón
8285C	Aras de los Olmos	Valencia
8270U	Bicorp	Valencia
8287	Carrícola	Valencia
8395X	Chelva	Valencia
8443A	Estivella - Polideportivo	Valencia
8204A	Jalance – Agromet	Valencia
8069I	Llutxent	Valencia
8058Y	Miramar	Valencia
8283	Ontinyent	Valencia
8325X	Polinyà	Valencia
8337X	Turís	Valencia
8309X	Utiel – La Cubera	Valencia
8414A	Valencia – Aeropuerto	Valencia
8293X	Xàtiva	Valencia

En el Anexo XIII se puede observar la ubicación y distribución de las estaciones en el territorio.

Los datos que se emplearán en el estudio son: fecha, precipitación diaria, temperatura media diaria (T_{12}), humedad relativa media diaria (HR) y la velocidad del viento media diaria (V_{med}).

Se deberá contar con al menos un histórico de 30 años de datos para las variables de precipitación y temperatura media diaria, ya que se necesita trabajar con percentiles históricos fiables. En cambio, para el caso de la V_{med} y HR, tan solo se utilizarán los valores de los días en los que el incendio estuvo activo.

3.3.9.1. Anomalía Climática (AC)

Este valor intenta representar el grado de disponibilidad que tiene el combustible vivo. Se parte de la premisa de que la aparición y la severidad de los incendios forestales es mayor, cuando se producen niveles de sequía y temperaturas anormalmente elevadas (Chico, 2023).

Este valor se obtiene a partir del promedio entre el estrés hídrico y el estrés térmico al que está sometida la vegetación, a partir de la comparación con los percentiles históricos en cada uno de los puntos, para cada día del año.

○ Estrés Hídrico:

El estrés hídrico se calcula a partir de percentiles de *Drought Code (DC)* para cada uno de los días del año (Chico, 2023). Se considera que para niveles altos de *DC*, el fuego tendrá un comportamiento más agresivo, debido a la mayor disponibilidad del combustible.

Para el cálculo de esta variable (*DC*), se ha empleado la metodología descrita en Van Wagner & Pickett (1985), que es la misma que se emplea en el cálculo del *Fire Weather Index (FWI)* (Van Wagner, 1987) o en el *Índice Canadiense* (Turner & Lawson, 1978). La metodología se detalla a continuación:

Para obtener el valor de *Drought Code* para cada día del año. Se calculará:

- *Drought code* del día previo DC_{t-1}
- Precipitación efectiva P_d
- Humedad equivalente Q_{t-1}
- Humedad equivalente después del episodio de lluvia Q_{rt}
- *Drought code* después de llover DC_{rt}
- Evapotranspiración potencial V
- Factor de duración del día L_f

Se verifica la variable de precipitación:

- Si $P > 2$

La precipitación efectiva se calcularía mediante:

$$P_d = 0.83 * P - 1.27.$$

A continuación, se calcularía la humedad equivalente:

$$Q_{t-1} = 800 * e^{\frac{-DC_{t-1}}{400}}$$

Y, posteriormente, la humedad equivalente que aparece después de llover:

$$Q_{rt} = Q_{t-1} + 3.937 * P_d$$

Por último, queda calcular el *Drought Code* después de llover:

$$DC_{rt} = 400 * \ln\left(\frac{800}{Q_{rt}}\right)$$

Si $DC_{rt} < 0$, se dejará como $DC_{rt} = 0$

- Si $P < 2$, se descartarán todas las operaciones anteriores.

Para calcular la evapotranspiración, se debe verificar la variable de temperatura media T_{12} .

- Si $T_{12} < -2.8$, se dejará $T_{12} = -2.8$.
- Si $T_{12} > -2.8$

Primero se determina el factor de duración del día L_f , teniendo en cuenta de qué mes es la fecha para escoger el valor correcto.

Tabla 8. Factor de duración del día L_f . Fuente: Van Wagner and Pickett (1985).

	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dec
L_f	-1.6	-1.6	-1.6	0.9	3.8	5.8	6.4	5.0	2.4	0.4	-1.6	-1.6

Con este valor, se determinará la evapotranspiración potencial del siguiente modo:

$$V = 0.36 * (T_{12} + 2.8) + L_f$$

La evapotranspiración no puede presentar valores negativos, por lo cual, si esto se produce:

$$V = 0.$$

Y, el DC se calcula dependiendo de la precipitación diaria P .

- Si $P > 2$

$$DC = DC_{r_t} + 05 * V$$

- Si $P \leq 2$

$$DC = DC_{t-1} + 05 * V$$

Con estos valores diarios de *Drought Code*, se podrá obtener el valor correspondiente al **Estrés Hídrico** (EH) diario, a partir del valor calculado en comparación con los percentiles históricos.

- Estrés Térmico:

El estrés térmico se calcula a partir de los percentiles de temperatura media de los últimos 8 días para cada día del año (Chico, 2023). Se entiende que cuando existen temperaturas anormalmente altas, se ve modificada la actividad fisiológica de los individuos vegetales (especialmente la pérdida de humedad), lo que favorecerá la disponibilidad de los combustibles. Estos episodios son especialmente importantes en verano, donde la recuperación nocturna de la humedad es esencial.

Para el cálculo del **Estrés Térmico** (ET) diario, también se obtendrá el valor diario a partir de la media de los últimos 8 días, en comparación con los percentiles históricos.

○ Cálculo de la Anomalía Climática (AC):

La Anomalía Climática, se obtiene del promedio entre el estrés térmico y el estrés hídrico (Chico, 2023):

$$\blacksquare \text{ Anomalía Climática} = \frac{(\text{estrés hídrico} + \text{estrés térmico})}{2}$$

Para cada uno de los incendios, se ha obtenido la media de la AC de los días en los que el incendio ha estado activo.

Nota: Debido a la complejidad computacional de estos cálculos y al periodo de tiempo del que se dispone, para el presente proyecto se han empleado valores estándar fijos de AC. Los datos que se han empleado serán: valores máximos, mínimos y del percentil 50, pertenecientes a las provincias de Cuenca y Albacete (Castilla – La Mancha), ya que las condiciones climáticas son, en gran medida, similares a las de la Comunitat Valenciana. Con esto, se permitirá hacer una primera valoración de la herramienta.

3.3.9.2. Velocidad del Viento Medio Diario (V_{med})

Este valor se obtiene directamente de los valores de las estaciones utilizadas. Como el valor que ofrecen las estaciones es en kilómetros por hora (km/h), se deberá convertir las unidades a metros por segundo (m/s):

$$1 \frac{Km}{h} = 0.2777 \frac{m}{s}$$

Para la entrada en el modelo, se tomará el promedio de los vientos medios diarios de los días en los que el incendio estuvo activo.

3.3.9.3. Déficit de Presión de Vapor (DPV)

Este valor representa la diferencia que existe entre la cantidad de humedad que tiene el ambiente, y la cantidad de humedad máxima que puede retener este, en condiciones de saturación, y para su cálculo se necesita del conocimiento de la temperatura y la humedad relativa de un lugar (Cunill, 2019).

Para su cálculo, se necesitará conocer:

- Humedad relativa (HR): obtenido mediante descarga directa.
- Temperatura media (T): obtenido mediante descarga directa.
- Presión de vapor saturado (PVS):

$$\blacksquare PVS = 6.112 * e^{\frac{(17.67 * \text{Temperatura media})}{(\text{Temperatura media} + 243.5)}}$$

- Cálculo del Déficit de Presión de Vapor (DPV):

$$\square \quad DPV = \left(PVS * \frac{(100 - \text{Humedad relativa})}{100} \right) * 0.1$$

Para la entrada en el modelo, se tomará el promedio de los valores de DPV diarios de los días en los que el incendio estuvo activo.

Finalmente, se crean capas ráster para la AC, DPV y V_{med} , a partir de la interpolación de los datos de cada estación, con extensiones de 25 metros.

3.4. Validación mediante Índice dNBR. Teledetección

Para validar el modelo de cálculo de la severidad potencial, se empleará la diferencia del Índice Normalizado de Área Quemada (dNBR). Este índice permite maximizar los grandes cambios en la reflectancia en las plantas y el suelo, siendo el más utilizado para determinar áreas quemadas en un incendio forestal y para evaluar la gravedad causada por el fuego (severidad).

Su cálculo se realizará a partir de imágenes obtenidas del satélite Landsat 8, el cual se lanzó en febrero de 2013, siendo así el más actualizado con respecto a las fechas de los incendios utilizados. Este satélite consta del sensor *Operational Land Imager* (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS), los cuales tienen una resolución espacial de 30 metros para la banda visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR); 100 metros para la banda térmica; y 15 metros para la banda pancromática.

Tabla 9. Bandas del satélite Landsat 8. Fuente: B. Markham, 2013 (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>).

Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Las imágenes que se han empleado, se han obtenido del visor *EarthExplorer* del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Tienen una resolución espacial de 30 metros, en formato GeoTIFF y proyección geográfica *Universal Transverse*

Mercator (UTM) – Datum WGS84. Dichas imágenes, tienen un nivel de procesado L2SP (*Landsat Collection 2*), lo que significa que son productos orto-rectificados, calibrados radiométricamente, corregidos geométricamente y con corrección de precisión, a nivel de superficie (SR).

En primer lugar, para obtener el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), se combinan la banda del infrarrojo cercano (NIR) y la del infrarrojo de onda corta (SWIR). Las zonas que se han quemado presentan una baja reflectancia en el infrarrojo cercano, debido a la modificación en la estructura de la vegetación. En cambio, las zonas quemadas tienen una alta reflectancia en la porción del espectro del infrarrojo de onda corta, por la pérdida de agua.

Para el cálculo, se emplea la fórmula (Key & Benson, 2006):

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

Los valores obtenidos de NBR están normalizados, por lo que siempre estarán entre -1 y +1, siendo los valores más pequeños los que indican un nivel de severidad más alto, y viceversa.

Para Landsat 8, las bandas correspondientes a al NIR y SWIR, serían la 5 y la 7 respectivamente (Tabla 9), por lo que la fórmula de cálculo quedaría de la siguiente manera:

$$NBR = \frac{B5 - B7}{B5 + B7}$$

Se calcularía dicho índice para las condiciones previas (NBR_{pre}) y posteriores (NBR_{post}) al incendio, para así obtener el valor de $dNBR$ (Key & Benson, 2006):

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

Un valor alto de diferencia entre los NBR , indica un grado de daño más alto o severo, y los valores bajos pueden significar bajas severidades o un crecimiento después del incendio. La clasificación de los niveles de severidad propuesto por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (*USGS*) es el siguiente:

Tabla 10. Niveles de severidad según rangos de $dNBR$. Fuente: Keeley, 2009.

Severity Level	$dNBR$ Range (scaled by 10^3)	$dNBR$ Range (not scaled)
<i>Enhanced regrowth, high (post-fire)</i>	-500 to -251	-0.500 to -0.251
<i>Enhanced regrowth, low (post-fire)</i>	-250 to -101	-0.250 to -0.101
<i>Unburned</i>	-100 to +99	-0.100 to +0.99
<i>Low severity</i>	+100 to +269	+0.100 to +0.269
<i>Moderate-low Severity</i>	+270 to +439	+0.270 to +0.439
<i>Moderate-high Severity</i>	+440 to +659	+0.440 to +0.659
<i>High Severity</i>	+660 to 1300	+0.660 to +1.300

Para los cálculos, se ha empleado la herramienta *Ráster Calculator* (ArcMap 10.8.1.). Previo a este paso, y como las hojas descargadas estaban en el datum WGS84, se reproyectaron a ETRS89 mediante la herramienta *Reproyectar ráster* (ArcMap 10.8.1.).

Las fechas y bandas que se han empleado en la elaboración de cada uno de los índices *NBR* pre y post incendio son las siguientes:

Tabla 11. Fechas de las imágenes y bandas 5 y 7 de hojas Landsat 8, empleadas en cada uno de los incendios.
Fuente: Elaboración propia (2024).

	<i>Fechas</i>	<i>Infrarrojo cercano - NIR</i>	<i>Infrarrojo de onda corta - SWIR</i>
<i>Chella</i>	Pre	09/06/2016 LC08_L2SP_199033_20160609_20200906_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20160609_20200906_02_T1_SR_B7
	Post	25/06/2016 LC08_L2SP_199033_20160625_20200906_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20160625_20200906_02_T1_SR_B7
<i>Carcaixent</i>	Pre	09/06/2016 LC08_L2SP_199033_20160609_20200906_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20160609_20200906_02_T1_SR_B7
	Post	25/06/2016 LC08_L2SP_199033_20160625_20200906_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20160625_20200906_02_T1_SR_B7
<i>Llutxent</i>	Pre	26/07/2018 LC08_L2SP_198033_20180726_20200831_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198033_20180726_20200831_02_T1_SR_B7
	Post	28/09/2018 LC08_L2SP_198033_20180928_20200830_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198033_20180928_20200830_02_T1_SR_B7
<i>Beneixama</i>	Pre	04/07/2019 LC08_L2SP_199033_20190704_20200827_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20190704_20200827_02_T1_SR_B7
	Post	20/07/2019 LC08_L2SP_199033_20190720_20200827_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20190720_20200827_02_T1_SR_B7
<i>Soneja</i>	Pre	18/07/2021 LC08_L2SP_198032_20210718_20210729_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198032_20210718_20210729_02_T1_SR_B7
	Post	20/09/2021 LC08_L2SP_198032_20210920_20210925_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198032_20210920_20210925_02_T1_SR_B7
<i>Venta del Moro</i>	Pre	10/06/2022 LC08_L2SP_199033_20220610_20220616_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20220610_20220616_02_T1_SR_B7
	Post	28/07/2022 LC08_L2SP_199033_20220728_20220802_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20220728_20220802_02_T1_SR_B7
<i>Vall de Ebo</i>	Pre	06/08/2022 LC08_L2SP_198033_20220806_20220818_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198033_20220806_20220818_02_T1_SR_B7
	Post	07/09/2022 LC08_L2SP_198033_20220907_20220914_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_198033_20220907_20220914_02_T1_SR_B7
<i>Bejís</i>	Pre	12/07/2022 LC08_L2SP_199032_20220712_20220722_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199032_20220712_20220722_02_T1_SR_B7
	Post	16/10/2022 LC08_L2SP_199032_20221016_20221021_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199032_20221016_20221021_02_T1_SR_B7
<i>Villanueva de Viver</i>	Pre	05/02/2023 LC08_L2SP_199032_20230205_20230209_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199032_20230205_20230209_02_T1_SR_B7
	Post	26/04/2023 LC08_L2SP_199032_20230426_20230501_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199032_20230426_20230501_02_T1_SR_B7
<i>Montitxelvo</i>	Pre	03/10/2023 LC08_L2SP_199033_20231003_20231011_02_T1_SR_B5	LC08_L2SP_199033_20231003_20231011_02_T1_SR_B7
	Post	14/12/2023 LC09_L2SP_199033_20231214_20231215_02_T1_SR_B5	LC09_L2SP_199033_20231214_20231215_02_T1_SR_B7

Las capas resultantes de cada uno de los incendios, tendrán las características siguientes:

- Tipo: ráster
- Tamaño píxel: 30 x 30 m
- Sistema de referencia *European Terrestrial Reference System 1989* (EPSG:25830)

Evaluación de la severidad potencial

Una vez realizadas las simulaciones para obtener la severidad potencial, y obtenidas las severidades reales mediante el cálculo del *dNBR* de los incendios, se realizará una comparación entre ellas.

Hay que tener en cuenta que ambas capas ráster poseen extensiones distintas, siendo de 25 metros para la predicción y de 30 metros para el índice *dNBR*, por lo que los vértices y píxeles no coincidirán de manera exacta. Por este motivo, la evaluación se realizará a partir de los valores donde coinciden los vértices superiores izquierdos de la capa de severidad *dNBR*, con los valores

de píxel de la capa de predicción donde se ubica dicho vértice. A continuación se muestra una figura explicativa de la metodología:

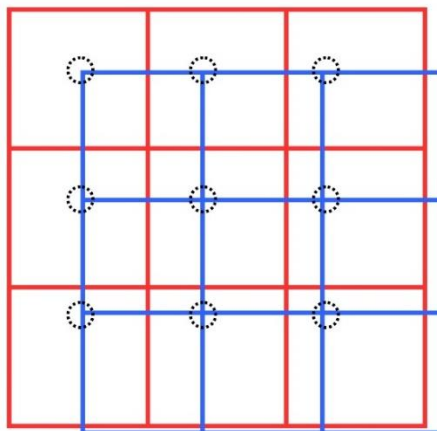


Figura 8. Metodología de evaluación entre *dNBR* (azul) y severidad potencial (rojo). Fuente: Elaboración propia (2024).

Antes de la evaluación, en las simulaciones realizadas se eliminan los caminos, las zonas de interfaz y los 30 metros más próximos al límite del perímetro, para minimizar la distorsión que pudiese generar el efecto borde. También se eliminan todos aquellos píxeles que tuviesen falta de información de alguna de las variables de entrada.

3.5. Validación mediante Coeficiente Kappa.

Para apoyar el análisis anterior, se estudiará el coeficiente Kappa de Cohen (Cohen, 1960; Congalton & Green, 2009) para los diez incendios utilizados, utilizándose como medida estadística que permita medir el grado de relación y concordancia entre la severidad potencial estimada y la real (*dNBR*), teniendo en cuenta el acuerdo que se puede dar por el azar en la proporción (Strijbos *et al.*, 2006).

Para ello, se crearán varios puntos de muestreo de forma aleatoria dentro de cada uno de los incendios, para posteriormente obtener matrices de confusión con los valores obtenidos para la predicción y para el *dNBR*, y así determinar el grado de precisión y error que tiene la herramienta de cálculo.

El número de puntos de muestreo para cada incendio se determinó a partir de su extensión, y se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 12. Puntos de evaluación de exactitud para cada incendio. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Superficie forestal afectada	Puntos de evaluación de exactitud
Chella	1.653,58 ha	413
Carcaixent	2.303,70 ha	576
Llutxent	3.050,17 ha	763
Beneixama	849,19 ha	212
Soneja	484,89 ha	121
Venta del Moro	1.462,66 ha	366
Vall de Ebo	11.604,42 ha	2901
Bejis	18.540,92 ha	4635
Villanueva de Viver	4.449,28 ha	1112
Montitxelvo	2.244,39 ha	561

Con estos puntos de validación se elaboran las matrices de confusión, cuyos valores diagonales son aquellos píxeles que se clasificaron de forma correcta y, por el contrario, todos aquellos valores que quedaron por fuera, son errores en la clasificación.

Aquellos datos que se encuentran en las columnas, y no pertenecen a la diagonal, son valores de omisión; es decir, valores que se deberían haber clasificado en una clase, pero que se clasificaron en otra. En cambio, los valores de las filas, sin aquellos que pertenecen a la diagonal, son valores de comisión; es decir, valores que se incluyeron en una clase de forma errónea (Congalton & Green, 2009).

A partir de estas matrices, se calcula el estadístico Kappa, para medir la bondad de las predicciones obtenidas con la herramienta. Para el cálculo, se empleará la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

Donde: P_0 = precisión global P_e = probabilidad esperada al azar

A continuación, se presenta la escala de valores de Kappa y su interpretación de la concordancia:

Tabla 13. Valores del coeficiente Kappa. Fuente: Landis & Koch, 1977.

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre (<i>Poor</i>)
0,01 - 0,20	Leve (<i>Slight</i>)
0,21 - 0,40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0,41 - 0,60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0,61 - 0,80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0,81 - 1,00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Además, se estudiará el error estándar (SE) del coeficiente Kappa de Cohen, que tiene en cuenta las proporciones totales de cada categoría que se está evaluando (Friendly *et al.*, 2015). Para ello, se empleará la formulación:

$$SE(k) = \sqrt{\frac{p_o(1-p_o)}{n(1-p_e)^2}}$$

Donde: n = número de valores observados totales

Este valor, indica cómo variaría el valor calculado, si el análisis se repitiera varias veces, pero con diferentes muestras de puntos. De este modo, se puede comprobar el grado de incertidumbre que tiene el estadístico Kappa.

Cuanto más bajo sea este valor, indicará que existe poca variabilidad, y por lo tanto, el resultado será más preciso. Por el contrario, cuanto mayor sea el SE (k), indicará que la variabilidad es mucho mayor y, por lo tanto, si se repitiese el estudio, los resultados podrían ser muy distintos (poca precisión).

Los resultados que se obtengan de todos estos análisis, servirán para evaluar la funcionalidad de la herramienta en la actualidad, para el territorio de la Comunitat Valenciana.

4. RESULTADOS

A continuación, se representa gráficamente el valor de severidad obtenido a partir de imágenes de teledetección (*dNBR*) para el incendio de Soneja, ocurrido en el año 2021 y la predicción obtenida con el valor mínimo de la anomalía:

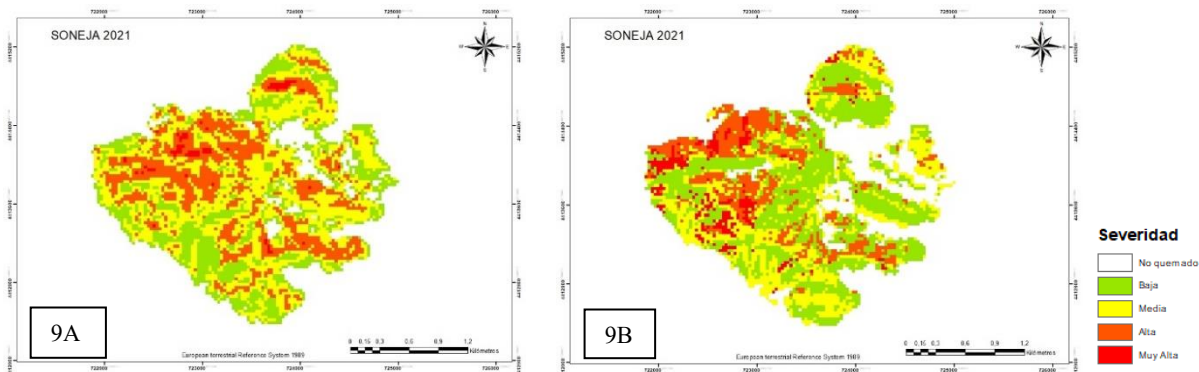


Figura 9. Severidad a partir del *dNBR* (9A) y severidad potencial con la anomalía mínima (9B), para el incendio de Soneja, 2021. Fuente: Elaboración propia (2024).

Si se valora por separado el porcentaje de las distintas severidades ocurridas en el incendio:

Tabla 14. Porcentajes de severidad *dNBR* para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).

Severidad	Código	Número de píxeles	Porcentaje (%)
No quemado	0	189	3,51
Baja	1	1438	26,73
Media	2	2270	42,19
Alta	3	1406	26,13
Muy Alta	4	77	1,43
Total		5380	100

Tabla 15. Porcentajes del cálculo de severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).

Severidad	Código	Número de píxeles	Porcentaje (%)
No quemado	0	0	0,00
Baja	1	2087	44,09
Media	2	1466	30,97
Alta	3	875	18,49
Muy Alta	4	305	6,44
Total		4733	100

Tal y como se puede observar en la Tabla 14, en el cálculo de la severidad con índices espectrales ($dNBR$) la mayor parte de la superficie se quemó con severidad media, y muy poca con severidad muy alta. El resto se quemó con severidad baja y alta de manera equitativa.

Por otro lado, en la Tabla 15 se puede observar que la mayor superficie quemada en el cálculo predictivo ya no está clasificada como severidad media, sino que el mayor valor de superficie se encuentra en severidad baja, pasando la severidad media a ser el segundo valor más alto. De hecho, tal y como se puede apreciar en la Figura 9, la mayor parte de la clase media o alta en el valor de $dNBR$ (Figura 9A), pasa a ser valor de clase baja en el cálculo potencial (Figura 9B).

Con estas dos imágenes ráster, se realiza una comparación entre los píxeles, para saber el grado de concordancia que existe, estableciendo la siguiente escala: de manera exacta (valor 0), subestimados en una, dos o tres clases de severidad (-1, -2, -3) y sobreestimados en una, dos o tres clases (1, 2, 3).

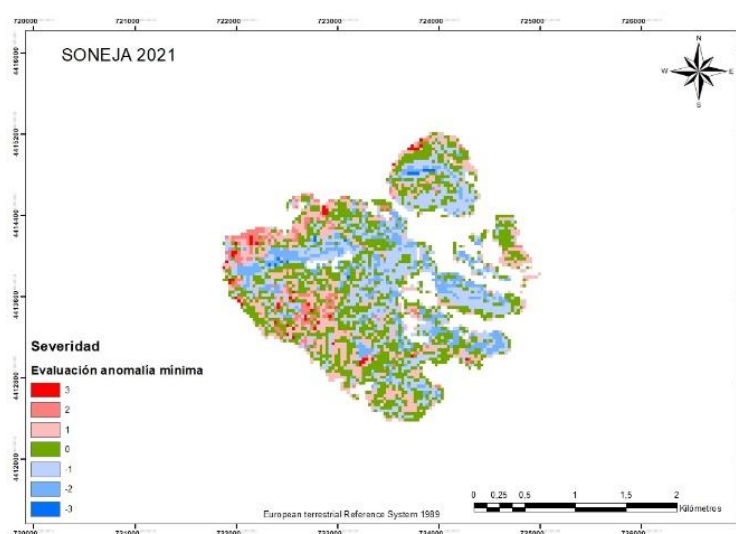


Figura 10. Evaluación entre el valor de severidad $dNBR$ y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).

Valorando el porcentaje de acierto y los porcentajes de los valores subestimados y sobreestimados:

Tabla 16. Porcentajes de evaluación entre el $dNBR$ y el potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Soneja. Fuente: Elaboración propia (2024).

Evaluación	Código	Número de píxeles	Porcentaje (%)
Sobreestima 3 clases	3	55	1,16
Sobreestima 2 clases	2	238	5,03
Sobreestima 1 clase	1	946	19,99
Acierto	0	1662	35,12
Subestima 1 clase	-1	1246	26,33
Subestima 2 clases	-2	569	12,02
Subestima 3 clases	-3	17	0,36
Total		4733	100

El grado de acierto o coincidencia es del 35,12%, siendo la subestimación en 1 clase el segundo valor más elevado (26,33%).

Estas evaluaciones entre la predicción obtenida mediante la herramienta *SeverityApp* y el valor real (*dNBR*), se han realizado para todos los incendios, y para los 3 valores de anomalía climática (valor máximo, mínimo y percentil 50). Como resumen, se presentan en las siguientes tablas los resultados de las evaluaciones:

- Anomalía mínima:

Tabla 17. Porcentajes de evaluación según el valor de anomalía mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Evaluación dNBR - Predicción						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
Chella	0,13	9,19	38,28	42,82	9,32	0,17	0,08
Carcaixent	9,52	32,70	44,38	11,52	1,56	0,31	0,01
Llutxent	0,87	7,13	26,38	28,41	23,58	10,58	3,05
Beneixama	0,00	0,93	12,35	34,76	32,54	15,18	4,24
Soneja	0,36	12,02	26,33	35,12	19,99	5,03	1,16
Venta del Moro	0,00	1,00	11,38	29,17	37,14	16,98	4,32
Vall de Ebo	0,77	5,59	24,26	37,01	19,30	10,09	2,97
Bejís	0,04	1,27	8,92	21,86	30,56	23,42	13,94
Villanueva de Viver	0,66	11,20	27,00	30,93	21,44	7,93	0,83
Montitxelvo	26,79	32,70	25,37	11,95	2,04	0,85	0,29
PROMEDIO	3,91	11,37	24,47	28,36	19,75	9,05	3,09

Para el valor de anomalía mínima, la herramienta es capaz de acertar un 28,36% de los píxeles (en promedio).

- Anomalía máxima:

Tabla 18. Porcentajes de evaluación según el valor de anomalía máxima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Evaluación dNBR - Predicción						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
Chella	0,11	8,35	40,00	46,56	4,74	0,16	0,08
Carcaixent	19,26	40,79	30,58	8,19	0,87	0,30	0,01
Llutxent	0,83	13,31	32,49	22,32	17,72	10,35	2,97
Beneixama	0,00	1,19	15,38	33,63	30,60	15,01	4,19
Soneja	0,53	16,44	33,64	33,40	9,91	4,92	1,16
Venta del Moro	0,00	0,73	11,35	30,47	36,64	16,55	4,25
Vall de Ebo	1,32	13,85	32,38	25,67	13,98	9,90	2,92
Bejís	0,13	3,07	11,73	19,91	28,15	23,18	13,82
Villanueva de Viver	1,44	11,32	27,47	30,80	20,47	7,72	0,80
Montitxelvo	30,75	31,69	23,45	11,02	1,97	0,84	0,28
PROMEDIO	5,44	14,07	25,85	26,20	16,51	8,89	3,05

Para la anomalía máxima, el 26,20% de los píxeles (en promedio) se han predicho de forma correcta.

- Percentil 50:

Tabla 19. Porcentajes de evaluación según el percentil 50 de anomalía. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Evaluación dNBR - Predicción						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
Chella	0,11	8,23	40,58	47,34	3,49	0,17	0,08
Carcaixent	22,09	43,16	26,33	7,44	0,67	0,30	0,01
Llutxent	0,71	12,08	29,97	23,46	20,40	10,41	2,98
Beneixama	0,00	0,98	14,18	34,69	30,89	15,05	4,20
Soneja	0,08	6,57	28,54	41,16	17,47	5,01	1,16
Venta del Moro	0,00	0,37	10,85	30,55	37,30	16,66	4,27
Vall de Ebo	1,06	10,62	31,05	29,29	15,10	9,95	2,93
Bejís	0,05	2,13	10,93	21,01	28,77	23,25	13,86
Villanueva de Viver	0,53	10,59	27,34	31,48	21,44	7,82	0,81
Montitxelvo	25,01	35,64	23,78	11,47	2,97	0,85	0,28
PROMEDIO	4,96	13,04	24,36	27,79	17,85	8,95	3,06

En el último caso, para el valor de percentil 50 de la anomalía climática, un 27,79% de los píxeles (en promedio) se han predicho de forma correcta.

En los Anexos XIV al XXII, se muestran el resto de los índices *dNBR* calculados para cada uno de los incendios, en orden cronológico. Y, dado que el valor más alto de concordancia se ha obtenido con el valor mínimo de la Anomalía Climática, en los Anexos XXIII al XXXI se representan gráficamente los valores de la predicción y evaluación, para cada uno de los incendios con dicha anomalía.

A continuación, se realiza el cálculo del coeficiente Kappa para determinar la fuerza de la concordancia obtenida para cada uno de los incendios. Siguiendo con el incendio ocurrido en Soneja (2021), en primer lugar se crean los puntos de evaluación de exactitud para, posteriormente, crear la matriz de confusión con los valores de severidad obtenidos con la predicción (con la anomalía mínima) y el *dNBR*.

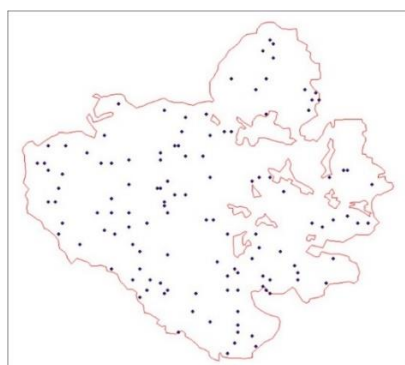


Figura 11. Puntos de evaluación en el incendio de Soneja, 2021. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 20. Matriz de confusión para el incendio de Soneja, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Soneja 2021						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	10	20	10	0	40	30
2	7	11	5	0	23	12
3	1	4	13	2	20	7
4	1	4	1	0	6	6
Total	19	39	29	2	89	
Error de omisión	9	28	16	2		

A partir de esta matriz, se calcula el valor del estadístico Kappa (K) y su error estándar (SE):

Tabla 21. Resumen de la concordancia en el incendio de Soneja, a partir de la matriz de confusión. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	47,37	75,00					
2	71,79	52,17					
3	55,17	35,00	0,3820	0,2839	0,1370	13,70	0,0719
4	100,00	100,00					

Estos cálculos se han replicado para todos los incendios, presentándose un resumen en la tabla siguiente:

Tabla 22. Resumen de la evaluación de la concordancia entre las predicciones y el dNBR. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Promedio del error de omisión (%)	Promedio del error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
Chella	76,44	75,39	0,3964	0,4216	-0,0436	-4,36	0,0463
Carcaixent	68,68	80,27	0,1432	0,1506	-0,0087	-0,87	0,0191
Lutxent	67,81	72,53	0,2570	0,2289	0,0365	3,65	0,0230
Beneixama	57,33	78,95	0,4141	0,3060	0,1557	15,57	0,0627
Soneja	68,58	65,54	0,3820	0,2839	0,1370	13,70	0,0719
Venta del Moro	62,08	68,34	0,3036	0,2480	0,0738	7,38	0,0365
Vall de Ebo	64,86	66,93	0,3747	0,3111	0,0923	9,23	0,0147
Bejís	69,17	69,69	0,2203	0,1822	0,0465	4,65	0,0084
Villanueva de Viver	66,82	68,20	0,3341	0,2956	0,0547	5,47	0,0227
Montitxelvo	74,07	77,04	0,0995	0,1030	-0,0038	-0,38	0,0161

Los valores de Precisión (P_0) de la Tabla 22, se encuentran normalizados entre 0 y 1. Si estos valores se expresan en porcentaje, y se comparan con los porcentajes de acierto obtenidos en la evaluación mediante la anomalía mínima (Tabla 17), se comprueba que el número de puntos de evaluación y su aleatoriedad, se ajustan de manera correcta.

Tabla 23. Comparativa de la precisión del coeficiente Kappa con los porcentajes de evaluación. Fuente: Elaboración propia (2024).

Incendio	Precisión (P_0)	Precisión (%)	Evaluación según anomalía mínima (%)
Chella	0,3964	39,64	42,82
Carcaixent	0,1432	14,32	11,52
Lutxent	0,2570	25,70	28,41
Beneixama	0,4141	41,41	34,76
Soneja	0,3820	38,20	35,12
Venta del Moro	0,3036	30,36	29,17
Vall de Ebo	0,3747	37,47	37,01
Bejís	0,2203	22,03	21,86
Villanueva de Viver	0,3341	33,41	30,93
Montitxelvo	0,0995	9,95	11,95

Por último, y partir de los errores estándar (SE) calculados, se ha obtenido el intervalo de confianza del 95% (que es igual a 2 veces el SE) y el intervalo de confianza del 99% (que es igual a 3 veces el SE). Con esto, se puede ver cómo variaría el valor calculado de Kappa, si se repitiera el análisis varias veces, con distintos puntos aleatorios:

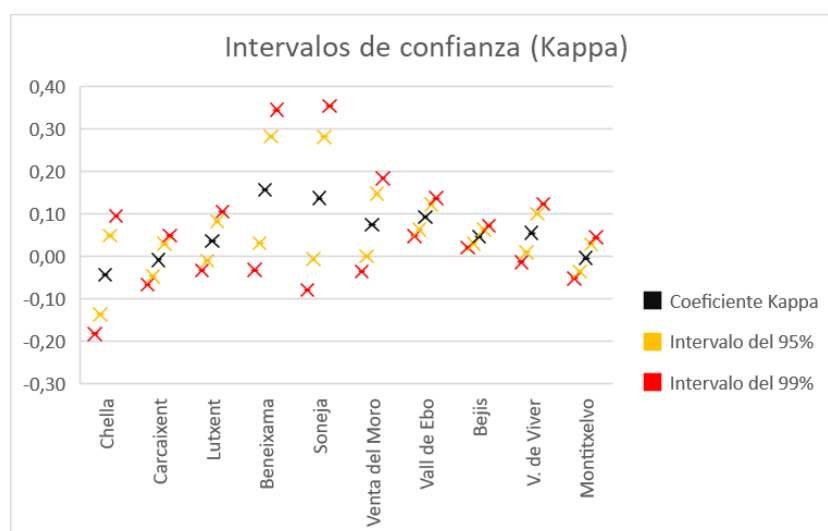


Figura 12. Intervalos de confianza para el coeficiente Kappa. Fuente: Elaboración propia (2024).

En los Anexos XXXII al XL, se presentan los puntos de evaluación, las matrices de confusión y los cálculos asociados al coeficiente Kappa de cada uno de los incendios restantes.

5. DISCUSIÓN

En cada una de las anomalías estudiadas, existen diferencias en los porcentajes de acierto para cada uno de los incendios. A pesar de esto, estas diferencias se mantienen más o menos estables en las tres anomalías, por lo que no parece tener una influencia muy significativa este parámetro sobre los resultados. De hecho, el peso de esta variable no es elevado en los modelos de cálculo expresados en el apartado 3.3..

Para la anomalía correspondiente al percentil 50, los incendios cuyo valor de porcentaje de acierto es igual o mayor al 30% son: Chella, Beneixama, Soneja, Venta del Moro y Villanueva de Viver. Para la anomalía máxima, serían los incendios de: Chella, Beneixama, Soneja, Venta del Moro y Villanueva de Viver. En cambio, para la anomalía mínima, serían los incendios de: Chella, Beneixama, Soneja, Vall de Ebo y Villanueva de Viver. Por lo que se denota una gran diferencia en la predicción entre estos incendios, y los de: Carcaixent, Llutxent, Bejís y Montitxelvo.

No se aprecia un patrón espacial o temporal que condicione los resultados, ni tampoco parece que las dimensiones del incendio sean un factor determinante, ya que no hay diferencias asociadas a la superficie. Los promedios de evaluación obtenidos para el conjunto de las 3 anomalías, en porcentaje serían:

Tabla 24. Porcentajes promedio de las evaluaciones. Fuente: Elaboración propia (2024).

	<i>dNBR - Predicción</i>						
PROMEDIOS	-3	-2	-1	0	1	2	3
	4,77	12,78	24,89	27,45	18,04	8,97	3,07

Observando la tabla anterior, se puede comprobar que la herramienta de cálculo de severidad potencial, ha podido determinar correctamente el 27,45% (en promedio) de los valores de severidad para los incendios de la Comunitat Valenciana. En concreto, los mayores resultados de acierto se obtienen con el valor de anomalía mínima (28,36%), y los peores resultados de acierto se obtienen con el valor de anomalía máxima (26,20%), lo que daría a entender que, para la Comunitat Valenciana, los valores de anomalía mínima son lo que mejor se ajustan a la realidad del territorio.

También se puede observar que la herramienta tiende a subestimar la severidad, ya que el sumatorio de los porcentajes de las subestimaciones (42,44%), es superior al porcentaje de la suma de las sobrestimaciones (30,1%). Y más en concreto, el algoritmo tiende a subestimar sobre todo en una clase de diferencia, ya que el 59% de las subestimaciones son de este tipo. De hecho, esto se puede observar gráficamente en la Figura 9, donde gran parte de la clase “Media” en el valor de *dNBR*, pasa a ser clase “Baja” en el valor de la predicción.

Por lo que respecta a las sobreestimaciones, la que mayor relevancia presenta también es la que se corresponde con una clase ya que, el 59,93% del total de las sobreestimaciones ha sido de este tipo.

La sobreestimación y la subestimación en tres clases es lo menos habitual, siendo tan solo un 7,84% del total de las predicciones que se han realizado.

En la siguiente tabla, se analiza la matriz de confusión general, obtenida a partir de la suma de las matrices de todos los incendios:

Tabla 25. Matriz de confusión general. Fuente: Elaboración propia (2024).

MATRIZ DE CONFUSIÓN GENERAL						
	1	2	3	4	Total Predicho	Error de comisión
1	322	552	430	219	1523	1201
2	607	1584	1093	228	3512	1928
3	56	207	270	144	677	407
4	577	1216	1252	331	3376	3045
Total Real	1562	3559	3045	922	9088	
Error de omisión	1240	1975	2775	591		

En esta tabla, se puede comprobar que el valor de los píxeles subestimados, correspondientes a aquellas celdas inferiores a la diagonal ($n = 3915$), es superior al valor de los píxeles sobreestimados ($n = 2666$), por lo que se corrobora que el modelo subestima en los cálculos de severidad potencial, tal y como se mostraba en la Tabla 24.

Si estos valores totales, se analizan en porcentaje sobre el total del *dNBR*:

Tabla 26. Matriz de confusión general en porcentaje sobre el valor de *dNBR*. Fuente: Elaboración propia (2024).

MATRIZ DE CONFUSIÓN GENERAL (%)					
	Predicho				Total
Real	1	2	3	4	
1	21,14	36,24	28,23	14,38	100,00
2	17,28	45,10	31,12	6,49	100,00
3	8,27	30,58	39,88	21,27	100,00
4	17,09	36,02	37,09	9,80	100,00

Se puede ver que, para la clase 1 (Baja), la herramienta sobreestima especialmente en una y dos clases, con un 36,24% y un 28,23%. Y para la clase 2 (Media) y 3 (Alta), el cálculo también sobreestima en una clase, con un 31,12% y con un 21,27%, respectivamente.

En cambio, por lo que respecta a las subestimaciones, en la clase 3 se subestima sobre todo en una clase, con un 30,58% y, en la clase 4, se subestima tanto en una, como en dos clases con un 37,09% y un 36,02%, respectivamente.

Observando la Tabla 26, se confirma que el modelo predice con mayor precisión las clases de severidad 2 (**Media**) y 3 (**Alta**), donde los porcentajes de acierto son del 45,01% y 39,88%, para cada una de ellas.

Por el contrario, determina con dificultad la clase 1 (**Baja**) de severidad, donde tan solo es capaz de acertar una quinta parte de los casos (21,14%). Pero sin ninguna duda, la clase de severidad que peor determina es la 4 (**Muy Alta**), lo cual es coherente con el hecho de que la herramienta tiende a subestimar en los cálculos y, por lo tanto, presentaría problemas para predecir la clase más alta de severidad.

En cuanto a los resultados obtenidos del estadístico Kappa para cada uno de los incendios (presentado en la Tabla 22), se determina que la estimación de la severidad potencial es “pobre”

para los incendios de Chella, Carcaixent y Montitxelvo, ya que los resultados obtenidos son negativos. Este valor significa que, para estos incendios, la concordancia que se ha obtenido es inferior a la que cabría esperar, si el resultado de la estimación de la severidad potencial se hubiese obtenido al azar. En el caso de repetirse los análisis en estos incendios, se podría alcanzar como máximo, concordancias de nivel “leve”, ya que en los intervalos de confianza del 99%, llegan a alcanzar valores entre 0,01 – 0,20 (Figura 12).

Para el resto de incendios, el nivel de concordancia es “leve”, ya que se encuentran en rangos entre 0,01 – 0,20 del valor del coeficiente. Dentro de este grupo, tan solo en los incendios de Soneja y Beneixama, si se repitiera el análisis, podrían alcanzar fuerzas de concordancia “aceptables”, ya que sus intervalos de confianza del 99% llegan al rango de entre 0,21 – 0,40 (Figura 12).

En este proyecto, los valores de predicción obtenidos han sido bajos en promedio. Esto se puede deber a varios factores, como puede ser el hecho de que se han empleado valores medios de velocidad de viento o de DPV. Quizá debería hacerse un cálculo diario, a partir de perímetros intermedios de los incendios, especificándose las condiciones individuales para cada día.

También podría afectar el hecho de que se han empleado valores de viento de estaciones cercanas, pero la aparición de vientos locales y los vientos derivados de la isla de calor que genera el incendio, podrían modificar el resultado. Del mismo modo, no se ha tenido en cuenta la dirección de los mismos, lo que modificaría el comportamiento del fuego y, por lo tanto, el grado de severidad sobre la vegetación, tal y como se describe en Dillon *et al.*, (2011). Es importante resaltar que la mayoría de los grandes incendios que ocurren en la Comunitat Valenciana, y especialmente los utilizados en este estudio, son incendios de viento debido a las características fisiográficas y por su cercanía al mar, lo que es una variable que podría condicionar los resultados. Aun así, podría no ser una variable influyente, ya que no se han encontrado estudios de evaluación de la severidad en el mediterráneo, donde se incluya la variable de la dirección del viento, excepto en Mitsopoulos *et al.*, (2019) o Costa-Saura *et al.*, (2022), donde se emplearon direcciones de viento de manera indirecta, en el cálculo de simulaciones del comportamiento del fuego (velocidad de propagación, intensidad de línea de fuego y longitud de llama), las cuales no tuvieron un alto peso explicativo en relación al cálculo de la severidad.

Tampoco se han tenido en cuenta los trabajos de extinción, en donde se han hecho descargas de agua, ataques directos o trabajos de perimetración mediante herramienta manual, lo cual podría condicionar la intensidad y, por ende, la severidad de los incendios cuando alcanzasen determinados lugares. Menos aún, se ha empleado en su cálculo una cartografía correspondiente a los trabajos silvícolas realizados en el lugar.

También se habrían podido utilizar distintos índices espectrales, como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) previa al incendio, porque permitiría conocer la cantidad de combustible muerto, ya que la herramienta solo entiende que existen los modelos de combustible (estresados o no), pero no contempla la calidad y desarrollo de la vegetación, lo cual condicionaría la intensidad y, por tanto, la severidad del fuego. Estudios como el de Costa-Saura *et al.*, (2022) o Fernández-García *et al.*, (2022), han demostrado que el uso de este índice presentan buenas correlaciones en la determinación del grado de severidad tras un incendio.

Es más, estos estudios han encontrado que todas aquellas variables que están relacionadas con la humedad del combustible, de manera directa o indirecta, modifican el comportamiento del fuego y, por ende, el grado de afección de este (Fang *et al.*, 2018; Fernández-Guisuraga *et al.*,

2021). En concreto, determinaron que el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), es de los mejores descriptores de la severidad, incluso por delante de las variables topografías. Más en concreto, en el caso de estudio de Fernández-García *et al.*, (2022) se determinó que, variables asociadas a la humedad de los combustibles, tales como el Contenido de la Humedad Foliar (CWC) o el Índice de Estrés Hídrico (EH), tienen una gran importancia para poder predecir la afección de quemado tras un incendio. En nuestro estudio, también se empleó el EH, pero no se han empleado valores asociados directamente a la humedad del combustible, por lo que se podría complementar el estudio con datos de campo. En este sentido, es importante destacar que el Servicio de Prevención de Incendios Forestales de la Generalitat Valenciana, posee un proyecto activo de seguimiento de la humedad de los combustibles vivos, con más de 40.000 datos tomados en campo sobre las principales especies vegetales, el cual se podría emplear de algún modo en futuras mejoras de la herramienta.

Además, en el desarrollo de la herramienta *SeverityApp*, se han utilizado imágenes de Landsat 8, pudiendo haberse empleado imágenes de otros satélites como Sentinel 2, que es el más utilizado por los principales organismos públicos (y es el empleado en el estudio de Fernández-García *et al.*, 2021) para determinar el grado de severidad de un incendio. De hecho, se ha demostrado que el uso de distintas fuentes de datos de imágenes espectrales, da lugar a variaciones en los resultados de severidad *dNBR* (Viedma *et al.*, 2020).

Tampoco hay que olvidar las propias limitaciones que presenta el propio índice *dNBR*, donde la toma de las imágenes está supeditada a su disponibilidad y a la no presencia de nubes o sombras en la zona de estudio. Debido a esta casuística, en el presente trabajo se han tenido que emplear imágenes pre y post incendio, de hasta incluso dos meses antes o después de la perturbación, como sucede en el caso de Llutxent, Soneja, Bejís o Villanueva de Viver. Esto aumenta las posibilidades de errores en la clasificación, ya que cambios leves en la vegetación, que no sean asociados al fuego, se podrían clasificar como daños por el incendio forestal, que sobre todo afectarían al error en las clases bajas de severidad. O incluso una ligera recuperación de la cubierta vegetal en ese periodo, induciría a error en los cálculos de *dNBR*, provocando que las subestimaciones fuesen mayores. Es por esto que, la clase clasificada como “Baja” y “Muy Alta”, se deben de tratar con un cuidado especial y, quizá esto, explicaría por qué estas clases de severidad son las que mayores faltas de correlación o acierto han tenido.

Otras limitaciones a tener en cuenta con el *dNBR* son, la resolución espacial y la poca fiabilidad para representar aquellos estratos que se encuentran por debajo del dosel arbóreo (Hudak *et al.*, 2007, Meng & Meentemeyer, 2011). O el hecho de que el *dNBR* está creado a partir de cálculos con modelos americanos, cuya vegetación dista de la que presenta la zona de estudio. O incluso que la clasificación empleada no es la más adecuada, ya que se trata de una propuesta publicada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), lo que podría distorsionar los resultados particulares en los que se centra el presente trabajo.

Otro aspecto relevante para la zona de estudio en base al cálculo de la severidad, tal y como se describe en Botella & Fernández-Manso (2017), el índice que mejor caracteriza el grado de severidad para la Comunitat Valenciana es el de la Diferencia Relativa del Índice Normalizado de Área Quemada (*RdNBR*). De hecho, autores como Costa-Saura *et al.*, (2022), han conseguido elaborar un modelo de predicción de la severidad potencial, basado en el aprendizaje automático a partir de incendios ocurridos en el mediterráneo (oeste de Italia y sur de Francia), con el cual han conseguido obtener predicciones de hasta un 77% de la severidad potencial de un incendio, en base al índice *RdNBR*, mediante el uso de imágenes de Landsat 7 procesadas con *Google Earth Engine* (GEE).

También, en Rego *et al.* (2017) se pone de manifiesto que el *dNBR* estima una mayor superficie como severidad “Media” y “Baja”, en comparación con el *RdNBR* que obtiene mejores estimaciones de severidad, sobre todo en la clase “Alta” o “Muy Alta”. Por lo que, quizá para nuestro estudio, el uso de *RdNBR* podría mejorar los resultados, sobre todo, la mala clasificación en la categoría “Muy Alta”, que ha sido la que peor predicción ha tenido.

Para apoyar los valores de *dNBR*, habría sido conveniente realizar trabajos de campo, mediante análisis visual y de fotografías, u obtener índices como del Índice Compuesto de Quemado (*CBI*) desarrollado por Key & Benson (2006), que presenta una buena correlación con el *dNBR* (Mitsopoulos *et al.*, 2019).

Otro aspecto a valorar, es la cantidad de entradas que presenta el modelo. Autores como Fernández-García *et al.*, (2022), determinaron que habían encontrado relaciones significativas, en mayor o menor orden, en hasta 20 variables distintas previas al incendio (principalmente climáticas, topográficas y relacionadas con los modelos de combustible), aunque muchas de estas variables eran dependientes. Así que concluyeron que son tan solo 7 de los 20 predictores, se podían obtener resultados predictivos satisfactorios. Es por esto que, un número elevado de variables puede influir en la calidad de la predicción, ya que se incorpora ruido al cálculo. Aunque hay que tener en cuenta que, este autor centró su estudio en localidades del oeste de la península, donde las condiciones meteorológicas y de vegetación difieren a las de la Comunitat Valenciana, por lo que podría no ser extrapolable a nuestro ámbito. Ejemplo de variable que se podría valorar incluirla o no, es la de erosionabilidad, puesto que es un atributo inherente al suelo y no tiene una influencia directa sobre el fuego. De hecho, en la revisión bibliográfica realizada para el entorno mediterráneo, no se han encontrado en ningún caso el uso de esta variable predictiva, o de alguna similar que pudiese estar relacionada de manera indirecta.

Pero no solo la cantidad puede ser relevante, sino que la calidad de las variables empleadas también puede determinar la eficacia de la predicción. Ejemplo serían las entradas correspondientes a la inflamabilidad o los modelos de combustible, ya que se hace una reclasificación de los valores, a valores de severidad potencial en base a una bibliografía de referencia. Por lo que el reorganizar estas variables, podría estar introduciendo un error en el aprendizaje y cálculo de la herramienta. Así que, debería plantearse un modelo con variables más sencillas, tal y como se describe en Costa-Saura *et al.*, (2022) o Fernández-García *et al.*, (2022), donde en ambos casos concluyen que las variables que mejor explican la severidad de un incendio son los combustibles y la topografía, en especial esta última, ya que condiciona indirectamente la estructura y distribución espacial de la primera (D’este *et al.*, 2021). Además, tanto en Costa-Saura *et al.*, (2022) como en Fernández-García *et al.*, (2022), no se emplearon los modelos de combustible de Rothermel (1972) o Scott & Burgan (2005), sino que se estudió la correlación que presentaba el *Corine Land Cover* (CLC), determinándose como un buen predictor.

Viendo los resultados que se han obtenido, se debería reformular la metodología de cálculo de la herramienta *SeverityApp*. Estos cambios, se podrían apoyar en los análisis realizados por Mitsopoulos *et al.*, (2019), donde se analizaron cuáles eran las variables que mejor explicaban la variabilidad de la severidad de un incendio, mediante el uso de imágenes espectrales obtenidas de Landsat 8, para un incendio de la zona mediterránea (Grecia). En este estudio encontraron que la mayor correlación la presentaban aquellas variables que estaban relacionadas con la topografía, especialmente el MDT, la pendiente, la orientación y el Índice de Posición Topográfica (TPI). Asimismo, también vieron que variables relacionadas con la carga y el grado de cobertura del combustible, tanto la del arbolado como del matorral, eran buenos descriptores de la severidad. Quizá esto se deba a que en el mediterráneo, las características físicas del terreno, tienen una

influencia en la producción y acumulación de combustibles forestales (Chapin *et al.*, 2002), así como en el comportamiento del fuego.

En definitiva, y después de analizar trabajos similares en la región mediterránea (Fang *et al.*, 2018; Costa-Saura *et al.*, 2022; Fernández-García *et al.*, 2022), se puede percibir que las mejores variables que explican el grado de afección de un incendio para nuestra zona de estudio, serían aquellas que tienen que ver con la topografía (MDT, pendientes, orientaciones), la cantidad y desarrollo del combustible (NDVI), la densidad de la vegetación (LFCC) y las relacionadas con el contenido de humedad de la vegetación (NDWI, EH). Y esto se puede deber a que, estas variables condicionan el comportamiento y la intensidad que tiene el fuego, y por ende, el grado de severidad que es capaz de producir este sobre la vegetación (Possell & Bell, 2012; Miquelajauregui *et al.*, 2016; Fares *et al.*, 2017; He *et al.*, 2019).

SeverityApp incluye algunas de estas variables, pero se considera oportuno incluir otras como el NDVI y el NDWI, para comprobar si el cálculo mejora, ya que parecen ser variables importantes, incluso más que las derivadas de la meteorología.

6. CONCLUSIONES

En el presente proyecto, se ha estudiado y determinado el grado de acierto y concordancia que presenta la herramienta de cálculo de severidad potencial *SeverityApp*. Este análisis, se ha apoyado en técnicas de teledetección, empleando suficientes incendios de la Comunitat Valenciana como para considerarse una muestra lo suficientemente representativa del territorio.

De los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En general, la herramienta de cálculo es capaz de predecir de forma correcta el 27,45% de las clases de severidad, siendo la mejor predicción la que corresponde con la anomalía mínima, con un 28,36%.
- El modelo tiende a subestimar el grado de severidad, sobre todo en una clase de diferencia. En el caso de las sobreestimaciones, también tiende a sobreestimar en una clase.
- El modelo predice con mayor acierto la clase 2 (Media) y 3 (Alta), y presenta problemas para estimar la clase 1 (Baja) y 4 (Muy Alta) de severidad.
- El nivel de concordancia obtenido con el estadístico Kappa para los incendios de Chella, Carcaixent y Montitxelvo se clasifica como “pobre” y, para el resto de incendios, el nivel de correlación es “bajo”. Por lo que el nivel de acierto de la herramienta es leve, por el momento.
- Debido al bajo porcentaje de acierto, se propone recalibrar el modelo de cálculo, haciendo especial hincapié en el Modelo 2 *Gradient Boosting* y el Modelo 3 SGD, para intentar mejorar los problemas en la clasificación de la clase Baja y Muy Alta.
- Los resultados obtenidos, plantean la necesidad de realizar trabajos de campo que acompañen a los análisis de severidad, así como valorar la opción de utilizar el índice *RdNBR* para particularizar la herramienta al territorio de la Comunitat Valenciana.
- También se plantea la opción de modificar el desarrollo y aprendizaje de la herramienta, hacia un modelo de cálculo con variables más asépticas, incluyendo índices como el NDVI o el NDWI.

Hay que tener en cuenta que, a pesar de que los valores de predicción no son todo lo buenos que se esperaba en un primer momento, la herramienta se encuentra en una fase incipiente de desarrollo, por lo que el potencial de mejora es elevado.

Por lo tanto, y a la vista de los resultados, se considera necesario seguir trabajando en mejorar el aprendizaje de la herramienta *SeverityApp*, hasta alcanzar valores de predicción más elevados. Esto abre nuevas líneas de investigación, como las que se han comentado en este apartado.

En definitiva, se considera que se han alcanzado todos los objetivos que se han propuesto al inicio de este Trabajo Final de Máster, ya que se ha profundizado en el desarrollo y la validación de la herramienta de cálculo de severidad potencial *SeverityApp*, detectándose las debilidades y fortalezas que presenta, proponiéndose alternativas para su mejora.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloza, J.A., García, S., Gimeno, T., Baeza, J., Vallejo, V.R., Rojo, L. & Martínez, A. (2014). Guía técnica para la gestión de montes quemados. Protocolos de actuación para la restauración de zonas quemadas con riesgo de desertificación. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 188 pp.
- Beatty, M. & Smith, J. E. (2013). *Dynamic soil water repellency and infiltration in post-wildfire soils*. *Geoderma*.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). *Fire and soils: key concepts and recent advances*. *Geoderma* 191: 3–13.
- Boer, B., Dolan, A. M., Bernales, J., Gasson, E., Goelzer, H., Golledge, N. R., Sutter, J., Huybrechts, P., Lohmann, G., Rogozhina, I., Abe-Ouchi, A., Saito, F., & Van de Wal, R. S. W. (2015). *Simulating the Antarctic ice sheet in the late-Pliocene warm period: PLISMIP-ANT, an ice-sheet model intercomparison project*. *The Cryosphere*, 9, 881–903,
- Bond, W.J. & Keeley, J.E. (2005). *Fire as a Global “Herbivore”*: *The Ecology and Evolution of Flammable Ecosystems*. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 387-394.
- Botella, M. A. & Fernández-Manso, A. (2017). *Study of post-fire severity in the Valencia region comparing the NBR, RdNBR and RBR indexes derived from Landsat 8 images*. *Revista de Teledetección*, 49, 33-47.
- Brotons, L., Aquilué, N., de Cáceres, M., Fortin, M.J. & Fall, A. (2013). *How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes*. *PLoS ONE* 8(5): e62392.
- Budde, K.B., Heuertz, M., Hernández-Serrano, A., Pausas, J.G., Vendramin, G.G., Verdú, M. & González-Martínez, S.C. (2014). *In situ genetic association for serotiny, a fire-related trait, in Mediterranean maritime pine (Pinus pinaster)*. *New Phytologist*. 201: 230–241.
- Calkin, D., Finney, M.A., Ager, A.A., Thompson, M.P. & Gebert, K.G. (2011). *Progress towards and barriers to implementation of a risk framework for Federal wildland fire policy and decision making in the United States*. *For Policy Econ* 13(5):378-389.
- Castellnou, M. (2018). Los incendios de sexta generación son más difíciles de controlar y afectan a medio planeta. En: *La Vanguardia, la actualidad del medio ambiente*.
- Certini, G., Nocentini, C., Knicker, H., Arfaioli, P. & Rumpel, C. (2011). *Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests*. *Geoderma*.
- Chapin, F. S., Matson, P. A. & Mooney, H.A. (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer, New York, pp. 529.
- Chico, F. (2023). El Índice de Propagación Potencial (IPP) de Castilla-La Mancha. Herramienta para la predicción del peligro de incendios forestales. 8 Congreso Forestal Español. <https://8cfe.congresoforestal>.
- Cohen, Jacob. 1960. Un coeficiente de acuerdo para escalas nominales. *Medición Educativa y Psicológica*. Vol. 20, No. 1, 37-46.

- Congalton, R.G., & Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data. Principles and practices (2 edition)*. Boca Ratón: CRC Press. Taylor & Francis.
- Costa, P., Castellnou, M., Larrañaga, A., Miralles, M. & Kraus, P. D. (2011). *Prevention of large wildfires using the fire types concept*. Departament d'Interior de la Generalitat de Catalunya: Barcelona, Spain.
- Costa-Saura, J.M., Bacciu, V., Ribotta, C., Spano, D., Massaiu, A. & Sirca, C. (2022). *Predicting and Mapping Potential Fire Severity for Risk Analysis at Regional Level Using Google Earth Engine*. *Remote Sens*, 14, 4812.
- Cunill, A. (2019). *Obtaining fuel moisture maps from meteorological variables for the prediction of fire risk on a regional scale: a new approach to the current fire danger indexes*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 45(2): 205-214 (2019).
- D'este, M., Elia, M., Giannico, V., Spano, G., Laforteza, R. & Sanesi, G. (2021). *Machine learning techniques for fine dead fuel load estimation using multi-source remote sensing data*. *Remote Sens.*, 13, 1658.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. & Pons, X. (2003). *Influence of fire severity on plant regeneration through remote sensing imagery*. *International Journal of Remote Sensing* 24(8): 1751-1763.
- Dillon, G. K., Holden, Z. A., Morgan, P., Crimmins, M. A., Heyerdahl, E. K. & Luce, C. H. (2011). *Both topography and climate affected forest and woodland burn severity in two regions of the western US, 1984 to 2006*. *Ecosphere* 2, 1-33.
- Doblas-Miranda, E., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Álvarez, A., Ávila, A., Bonet, F.J., Brotons, L., Castro, J., Curiel Yuste, J., Díaz, M., Ferrandis, P., García-Hurtado, E., Iriondo, J.M., Keenan, T.F., Latron, J., Llusà, J., Loepfe, L., Mayol, M., Moré, G., Moya, D., Peñuelas, J., Pons, X., Poyatos, R., Sardans, J., Sus, O., Vallejo, V.R., Vayreda, J., & Retana, J. (2015). *Reassessing global change research priorities in Mediterranean terrestrial ecosystems: how far have we come and where do we go from here?*. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 25–43.
- Doblas-Miranda, E., Alonso, R., Arnan, X., Bermejo, V., Brotons, L., De las Heras, J., Estiarte, M., Hódar, J.A., Llorens, P., Lloret, F., López-Serrano, F.R., Martínez-Vilalta, J., Moya, D., Peñuelas, J., Pino, J., Rodrigo, A., Roura-Pascual, N., Valladares, F., Vilà, M., Zamora R. & Retana, J. (2017). *A Review of the Combination among Global Change Factors in Forests, Shrublands and Pastures of the Mediterranean Region: Beyond Drought Effects*. *Global and Planetary Change*, 148, 42-54.
- Dupuy, J. L., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J. & Fernandes, P. (2020). *Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review*. *Annals of Forest Science*, 77 (2), pp.35.
- Eidenshink, J., B. Schwind, K. Brewer, Z. Zhu, B. Quayle, & Howard, S. (2007). *A project for monitoring trends in burn severity*. *Fire Ecology* 3(1): 3-21.
- Escrig, A., López, C., Catalá, F. & Ruiz, M. (2013). *Plan de prevención de Incendios forestales de la Reserva Valenciana de Caza de la Muela de Cortes*. Grupo VAERSA.

- Fang, L., Yang, J., White, M., Liu, Z., (2018). *Predicting potential fire severity using vegetation, topography and surface moisture availability in a Eurasian boreal forest landscape*. *Forests* 9, 130.
- Fares, S., Bajocco, S., Salvati, L., Camarretta, N., Dupuy, J. L., Xanthopoulos, G., Guijarro, M., Madrigal, J., Hernando, C., & Corona, P. (2017). *Characterizing potential wildland fire fuel in live vegetation in the Mediterranean region*. *Ann. For. Sci.*, 74, 1.
- Fernández-García, V., Fulé, P. Z., Marcos, E. & Calvo, L. (2019a). *The role of fire frequency and severity on the regeneration of Mediterranean serotinous pines under different environmental conditions*. *For. Ecol. Manag.* 444, 59–68.
- Fernández-García, V., Marcos, E., Fernández-Guisuraga, J. M., Taboada, A., Suárez-Seoane, S. & Calvo, L. (2019b). *Impact of burn severity on soil properties in a Pinus pinaster ecosystem immediately after fire*. *Int. J. Wildland Fire* 28, 354–364.
- Fernández-García, V., Beltrán-Marcos, D., Fernández-Guisuraga, J. M., Marcos, E. & Calvo, L. (2022). *Predicting potential wildfire severity across Southern Europe with global data sources*. *Science of the Total Environment* 829, 154729.
- Friendly, M., Meyer, D., & Zeileis, A. (2015). *Fitting and Graphing Discrete Distributions*.
- García, M. (2018). Impacto de los incendios forestales en la biodiversidad de España.
- García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., Taboada, A., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Fernández-García, V., Fernández-Guisuraga, J. M., Marcos, E. & Calvo, L. (2019). *Environmental drivers of fire severity in extreme fire events that affect Mediterranean pine forest ecosystems*. *For. Ecol. Manag.*, 433, 24–32.
- Generalitat Valenciana. (2024). Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR).
- Gibson, K., & Negrón, J. F. (2009). Fire and bark beetle interactions. *The Western Bark Beetle Research Group: A Unique Collaboration With Forest Health Protection: Proceedings of a Symposium at the 2007 Society of American Foresters Conference*, 51–70.
- González-De Vega, S., De las Heras, J. & Moya, D. (2016). *Resilience of Mediterranean terrestrial ecosystems and fire severity in semiarid areas: Responses of Aleppo pine forests in the short, mid and long term*. *Science of The Total Environment*, 573: 1171-1177.
- Greenpeace España. (2010). Incendios Forestales ¿Qué perdemos? Archivo: <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf>
- He, T., Lamont, B. B. & Pausas, J. G. (2019). *Fire as a key driver of Earth's biodiversity*. *Biol. Rev.*, 94, 1983–2010.
- Hedo, J., Lucas-Borja, M., Wic, C., Andrés-Abellán, M. & De Las Heras, J. (2015). *Soil microbiological properties and enzymatic activities of long-term post-fire recovery in dry and semiarid Aleppo pine (Pinus halepensis M.) forest stands*. *Solid Earth* 6: 243–252.
- Hudak, A. T., Morgan, P., Bobbitt, M. J., Smith, A. M. S., Lewis, S. A. & Lentile, L. B., (2007). *The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects*. *Fire Ecology*, 3 (1), 64-90.

- Keeley, J. E. (2009). *Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage*. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116- 126.
- Key, C.H. & Benson, N.C. (2006). *Landscape Assessment (LA)*. In: Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S., & Gangi, L.J. (eds.). *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 1-55
- Keeley, J., Bond, W., Bradstock, R.A., Pausas, J. G. & Rundel, P.W. (2012). *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keeley, J.E. & Pausas, J.G. (2022). *Evolutionary ecology of fire*. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 53: 203–225.
- Landis, J.R. & Koch, G.G. (1977). *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lentile, L.B., Holden, Z.A, Smith, A.M.S., Falkowki, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P.E. & Benson, N.C. (2006). *Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects*. *Int. J. Wildland Fire*, 15, 319-345.
- Liu, J.C., Mickley, L.J., Sulprizio, M.P., Dominici, F., Yue, X., Ebisu, K., Anderson, G.B., Khan, R.F.A., Bravo, M.A. & Bell, M.L. (2016). *Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change*. *Clim. Change* 138 (3–4), 655–666.
- Madrigal, J., Souto-García, J., Calama, R., Guijarro, M., Picos, J., & Hernando, C. (2019). *Resistance of Pinus pinea L. bark to fire*. *International Journal of Wildland Fire*, 28(5), 342-353.
- Martínez, J. (2019). Análisis de la evolución de los incendios forestales en España.
- McGaughey, R. J. (2016). *Fusion/LDV: Software for Lidar Data Analysis and Visualization, Forest Service*. Pacific Northwest Research Station, United States Department of Agriculture.
- Meng, Q. & Meentemeyer, R. K., (2011). *Modeling of multi-strataforest fire severity using Landsat TM Data*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13 (1), 120-126.
- Mitsopoulos, I., Trapatsas, P., Xanthopoulos, G., (2016^a). *SYPYDA: a software tool for fire management in Mediterranean pine forests of Greece*. *Comput. Electron. Agric.* 121, 195–199 2016.
- Mitsopoulos, I., Chrysafi, I., Bountis, D. & Mallinis, G. (2019). *Assessment of factors driving high fire severity potential and classification in a Mediterranean pine ecosystem*. *J. Environ. Manag.*, 235, 266–275.
- Miquelajauregui, Y., Cumming, S.G. & Gauthier, S. (2016). *Modelling variable fire severity in boreal forests: Effects of fire intensity and stand structure*. *PLoS ONE*, 11, e0150073.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., & Bilgili, E. (2011). *Landscape–wildfire*

interactions in southern Europe: implications for landscape management. Journal of environmental management, 92(10), 2389-2402.

- Moreno, J. M. (2016). Los incendios forestales en España en un contexto de cambio climático: información y herramientas para la adaptación (INFOADAPT). Universidad de Castilla-La Mancha. Toledo.
- Moreno, J.M. (2017). Cambio climático y riesgo de incendios forestales en España.
- Moya, D., González-De Vega, S., García-Orenes, F., Morugán-Coronado, A., Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, M.E. & de las Heras, J. (2018). *Temporal characterisation of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned Pinus halepensis mill.* Forests. Sci Total Environ.
- Nájera González, O., Bojórquez Serrano, J. I., Flores Vilchez, F., Murray Núñez, R. M., & González García-Sancho, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45-55.
- National Wildlife Federation. (2007). *Increased Risk of Catastrophic Wildfires: Global Warming's Wake-Up Call for the NAME AREA BURNED FIREFIGHTING.*
- Ne'eman, G., Goubitz, S. & Nathan, R. (2004). *Reproductive traits of Pinus halepensis in the light of fire. A critical review.* Plant Ecology 171: 69-79.
- Ne'eman, G. & Trabaud, L. (2000). *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin.* Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, pp. 407.
- Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F. (1999). *Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis.* Forest Ecology and Management, 122(1-2), 51-71.
- Neary, D. G. Ryan, K. C. & DeBano, L. F. (2005). *Wildland Fire in Ecosystems.* Rocky Mountain Research Station General Technical Report, 4(RMRS-GTR-42).
- North, M. P., Stephens, S. L., Collins, B. M., Agee, J. K., Aplet, G., Franklin, J. F. & Fulé, P. Z. (2015). *Reform forest fire management.* Science, 349 pp. 1280-1281.
- Nyland, R. D. (2016). *Silviculture: concepts and applications.* Waveland Press.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. & Alewell, C. (2014). *Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS,* Science of Total Environment, 479-480 pp. 189-200.
- Parks, S.A., Holsinger, L.M., Voss, M.A., Loehman, R. A. & Robinson, N.P. (2018). *Mean composite fire severity metrics computed with google earth engine offer improved accuracy and expanded mapping potential.* Remote Sens., 10, 879.
- Pausas, J. G. (2004). La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo. *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*, 47-64.
- Pausas, J. G. (2015). *Alternative fire-driven vegetation states.* Journal of Vegetation Science 26:4-6.

- Pausas, J. G. & Keeley, J. E. (2014). *Abrupt climate-independent fire regime changes*. Ecosystems. doi:10.1007/s10021-014-9773-5.
- Pereira, P., Francos, M., Brevik, E. C., Úbeda, X. & Bogunovic, I. (2018). *Post-fire soil management*. Current Opinion in Environmental Science & Health. Volume 5, 26-32 pp.
- Possell, M. & Bell, T. (2012). *The influence of fuel moisture content on the combustion of Eucalyptus foliage*. Int. J. Wildl. Fire, 22, 343–352.
- Rego, A., Ruiz González, A. D. & Arellano, S. (2017). *Evaluation and mapping of the severity of the maior fires that occurred in forest district XIV CVerin-Viana) between 2006-2016*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 44(2): 169-182 (2018). Doi:
- Robichaud, P. R., Wagenbrenner, J. W., Pierson, F. B., Spaeth, K. E., Ashmun, L. E. & Moffet, C. A. (2016). *Infiltration and interrill erosion rates after a wildfire in western Montana, USA*. CATENA.
- Rothermel, R.C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA Forest Serv. Res. Pap. INT-115.
- San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Giovando, C., Boca, R., Sedano, F., Kempeneers, P., McNerney, D., Withmore, C., de Oliveira, S.S., Rodrigues, M., Durrant, T., Corti, P., Oehler, F., Vilar, L. & Amatulli, G. (2012). *Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS)*. In: Approaches to managing disaster—assessing hazards, emergencies and disaster impacts. In Tech.
- Santana, V.M., Alday, J.G. & Baeza, M.J. (2014). *Effects of fire regime shift in Mediterranean Basis ecosystems: Changes in soil seed bank composition among functional types*. Plant Ecol 215:555-566.
- Scott, D. F. (1993). *The hydrological effects of fire in South African mountain catchments*. Journal of Hydrology, 150(2-4), 409–432.
- Scott, J. & Burgan, R. (2005). *Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model*. United States Department of Agricultura, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Report RMRS-GTR-153.
- Spano, D., Camia, A., Bacciu, V., Masala, F., Duguy, B., Trigo, R., Sousa, P., Venäläinen, A., Mouillot, F., Curt, T., Moreno, J. M., Zavala, G., Urbietta, I. R., Koutsias, N., Xystrakis, F. (2014). *Recent trends in forest fires in Mediterranean areas and associated changes in fire regimes*. In: Moreno, J. M., Arianoutsou, M., González-Cabán, A., Mouillot, F., Oechel, W. C., Spano, D., Thonicke, K., Vallejo, V. R., Vélez, R. (Eds.), *Forest Fires Under Climate, Social and Economic Changes in Europe, the Mediterranean and other Fire-affected Areas of the World*. FUME. Lesson Learned and Outlook. 6–7.
- Strijbos, J., Martens, R., Prins, F. & Jochems, W. (2006). *Content analysis: What are they talking about?.* Computers & Education 46: 29-48.
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G., Fernandes, P. M., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T. K., Parente, J., Paton, D., Pereira, M., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X. & Xanthopoulos, G. (2018). *Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts*. Fire.

- Tessler, N., Wittenberg, L. & Greenbaum, N. (2016). *Vegetation cover and species richness after recurrent forest fire in the Eastern Mediterranean ecosystem of Mount Carmel, Israel* Sci. Total Environ.
- Turco, M., Llasat, M. C., von Hardenberg, J. & Provenzale, A. (2016). *Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment*. *Climatic Change*.
- Turner, J. A. & Lawson, B. D. (1978). *Weather in the Canadian Forest Fire Danger rating System; a user guide to national standards and practices*. Environment Canada. Canadian Forest Service. Pacific Forest Research Center. Victoria, BC. Info. Rep. BC-X-177.
- Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L. & Martín, D.A. (2009). *Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of Cork Oak (Quercus suber)*. *Land degradation and Development*, 20, 589-608.
- Vallejo, V. & Valdecantos, A., (2008). *Fire. Land care in desertificated affected areas (LUCINDA): From science towards applications*; Booklet Series B; Number 2.
- Van Wagner, C.E. (1987). *Development and structure of the canadian forest fire weather index system*. Canadian Forest Service.
- Van Wagner, C.E. & Pickett, T.L. (1985). *Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Ottawa: Canadian Forest Service.
- Vega, J.A., Fonturbel, T., Fernández C., Arellano, A., Díaz-Raviña M., Carballas, M.T., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A. & Benito, E. (2013). *Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Guía para su planificación en Galicia*. Santiago de Compostela, 139 pp.
- Viedma, O., Chico, F., Fernández, J. J., Madrigal, C., Safford, H. D. & Moreno, J. M. (2020). *Disentangling the role of prefire vegetation vs. burning conditions on fire severity in a large forest fire in SE Spain*. *Remote Sens. Environ.*, 247, 111891.
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). *Understanding interobserver agreement: The kappa statistic*. *Family Medicine*, 37(5), 360–363.
- Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J. & Martín, M. P. (2016). *Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces*. *Forest Ecology and Management*.

ANEXOS

Tabla 27. Hojas MDT25 para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0519-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0769-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0520-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0770-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0521-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0771-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0544-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0792-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0545-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0793-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0546-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0794-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0547-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0795-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0569-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0796-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0570-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0819-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0571B-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0820-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0571-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0821-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0589-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0822-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0591-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0823-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0592-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0845-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0593-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0846-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0594-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0847-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0612-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0848-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0613-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0870-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0614-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0871-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0615-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0872-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0616-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0892-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0617-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0893-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0637-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0894-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0638-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0913-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0639-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0914-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0640-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0934-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0641-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0935-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0665-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0520-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0666-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0521-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0667-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0545-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0668-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0546-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0669-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0547-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0693-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0570-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0694-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0571B-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0695-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0571-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0696-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0593-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0719-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0594-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0720-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0616-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0721-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0617-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0722-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0641-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0744-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0669-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0745-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0771-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0746-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0796-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0747-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0822-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0767-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0823-LID.TIF
PNOA-MDT25-ETRS89-HU30-0768-LID.TIF	PNOA-MDT25-ETRS89-HU31-0848-LID.TIF

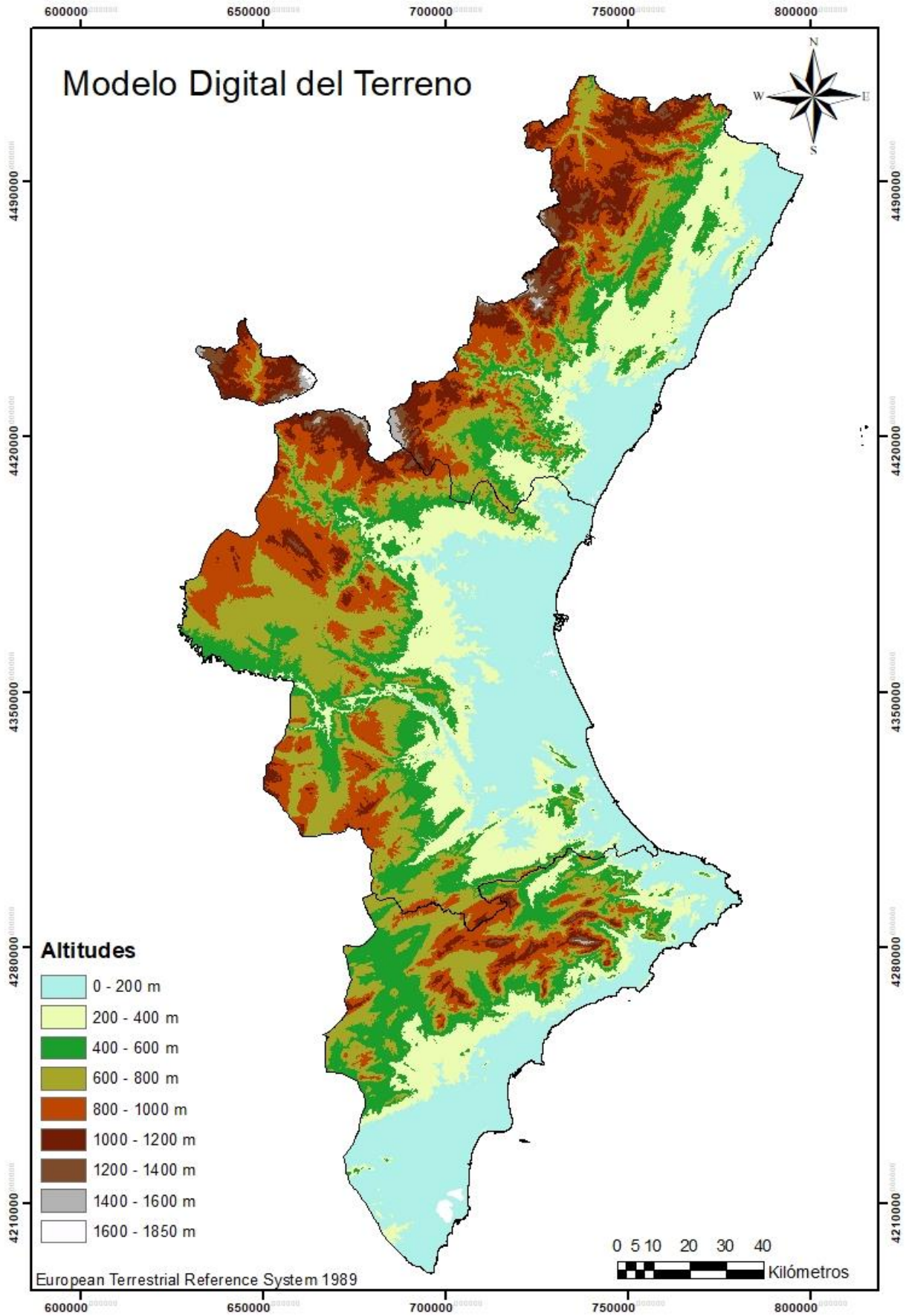


Figura 13. MDT para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

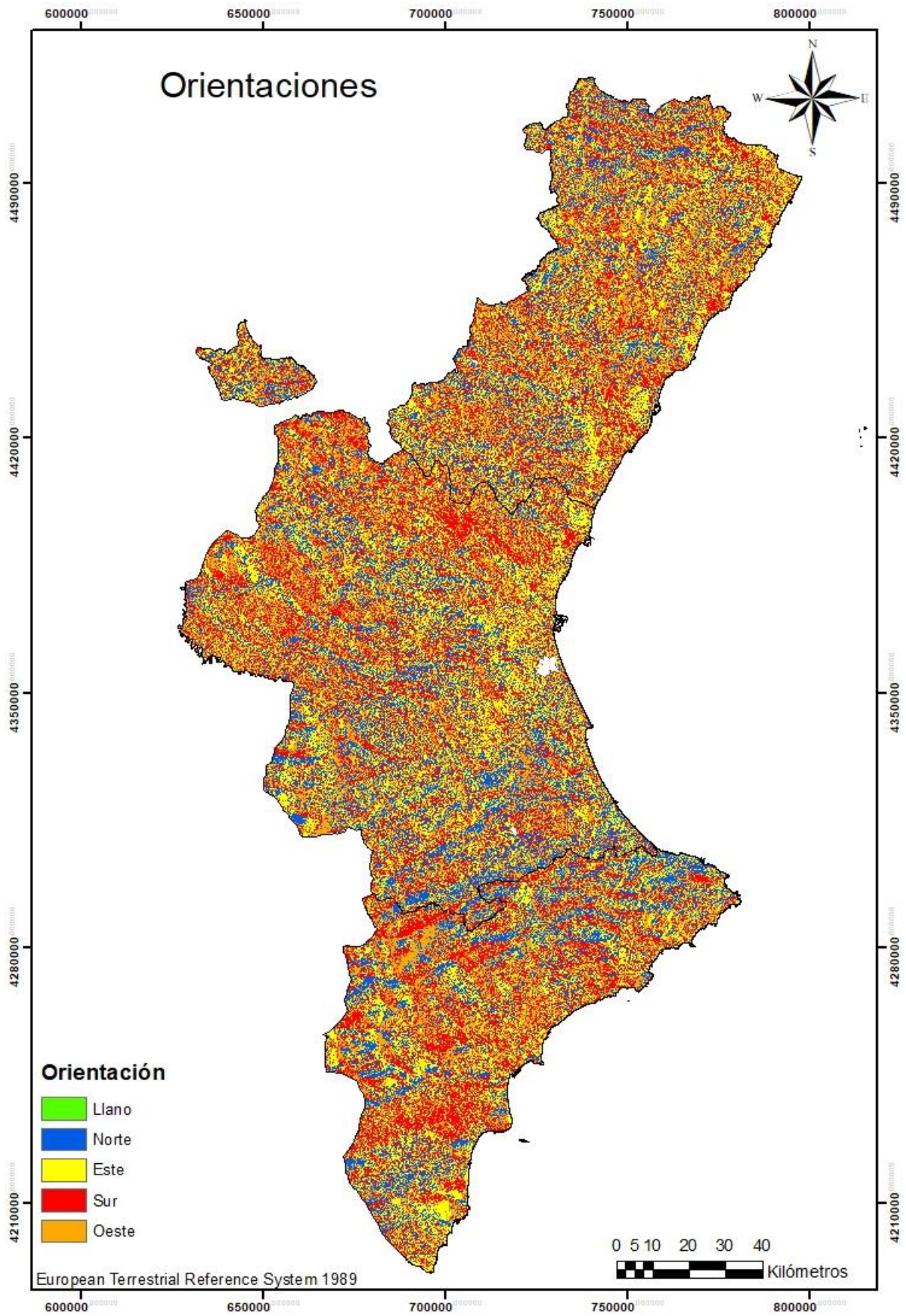


Figura 14. Orientaciones para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

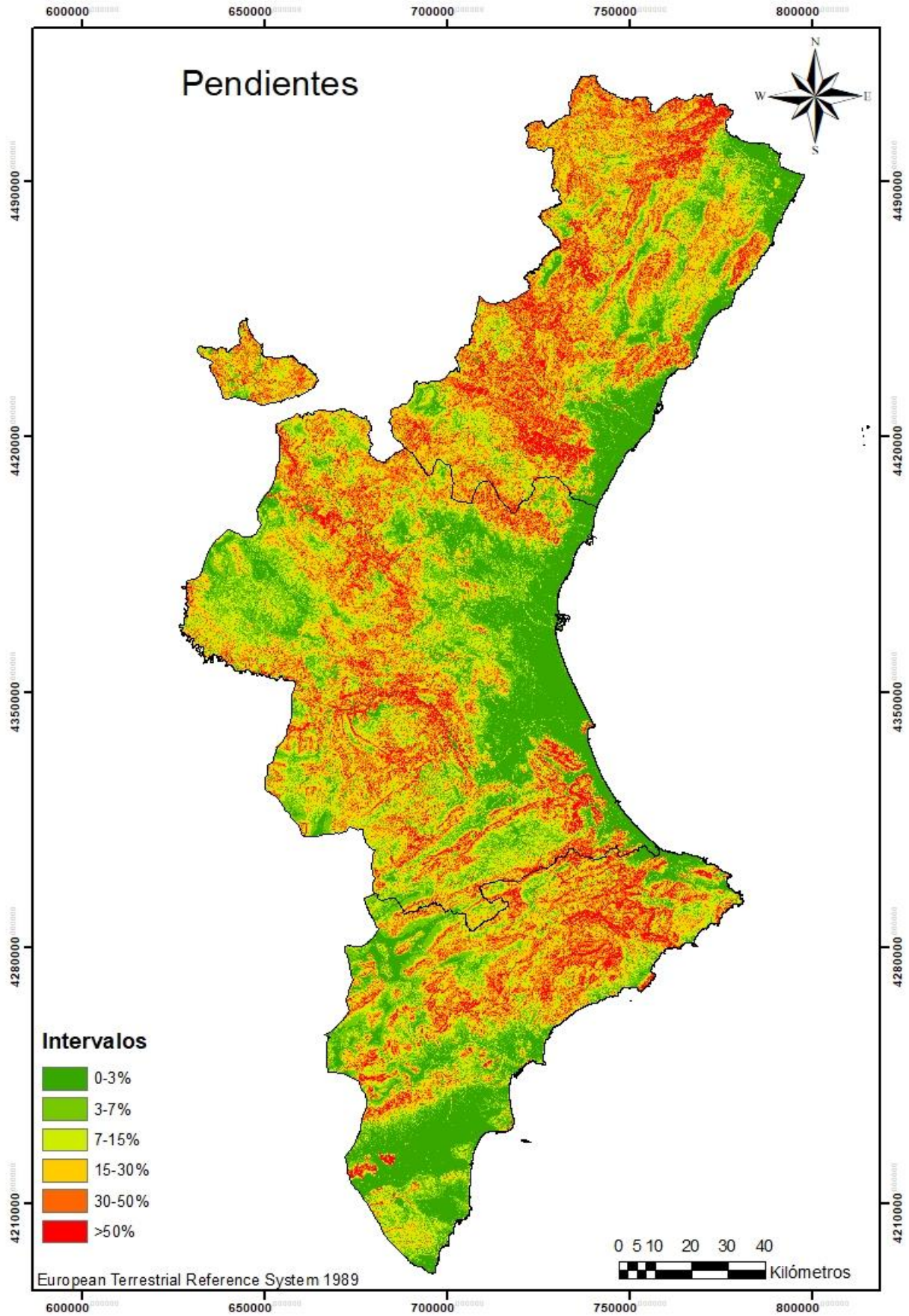


Figura 15. Pendientes para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

Sintaxis <i>GridSurfaceCreate</i>

GridSurfaceCreate [switches] **surfacefile** **cellsize** **xyunits** **zunits** **coordsys** **zone**
horizdatum **vertdatum** **datafile1** **datafile2...datafileN**

GridSurfaceCreate /class:2 C:\SevAPP\surface_DTM.dtm 25 M M 1 30 0 0 C:\SevAPP\merged.las

Sintaxis formato *ascii*: **DTM2ASCII** [switches] **inputfile** **outputfile**

DTM2ASCII C:\SevAPP\surface_DTM.dtm C:\SevAPP\DTM_25m.asc

Sintaxis <i>CanopyModel</i>

Canopymodel [switches] **surfacefile** **cellsize** **xyunits** **zunits** **coordsys** **zone** **horizdatum**
vertdatum **datafile1** **datafile2...datafileN**

Canopymodel /outlier:-1.5,25 /class:3,4,5 /ground:C:\SevAPP\surface_DTM.dtm C:\SevAPP\surface_CHM.dtm 25 M M 1 30 0 0 C:\SevAPP\merged.las

Sintaxis formato *ascii*: **DTM2ASCII** [switches] **inputfile** **outputfile**

DTM2ASCII C:\SevAPP\surface_CHM.dtm C:\SevAPP\CHM_25m.asc

Sintaxis <i>GridMetrics</i>

Gridmetrics [switches] **groundfile** **heightbreak** **cellsize** **outputfile** **datafile1**
datafile2...datafileN

GridMetrics /outlier:-1.5,25 /class:3,4,5 /minht:2 C:\SevAPP\surface_DTM.dtm 2 25 C:\SevAPP\metricas.csv C:\SevAPP\merged.las

Sintaxis <i>CSV2GRID - LFCC</i>

CSV2GRID [switches] **inputfile** **column** **outputfile**

csv2grid C:\SevAPP\metricas_all_returns_elevation_stats.csv 49 C:\SevAPP\LFCC.asc

Sintaxis <i>CSV2GRID - Alturas</i>

CSV2GRID [switches] **inputfile** **column** **outputfile**

csv2grid C:\SevAPP\metricas_all_returns_elevation_stats.csv 37 C:\SevAPP\Ho.asc

En McGaughey, R. J. (2016) se pueden consultar las sintaxis y ampliar información relativa al uso de FUSION.

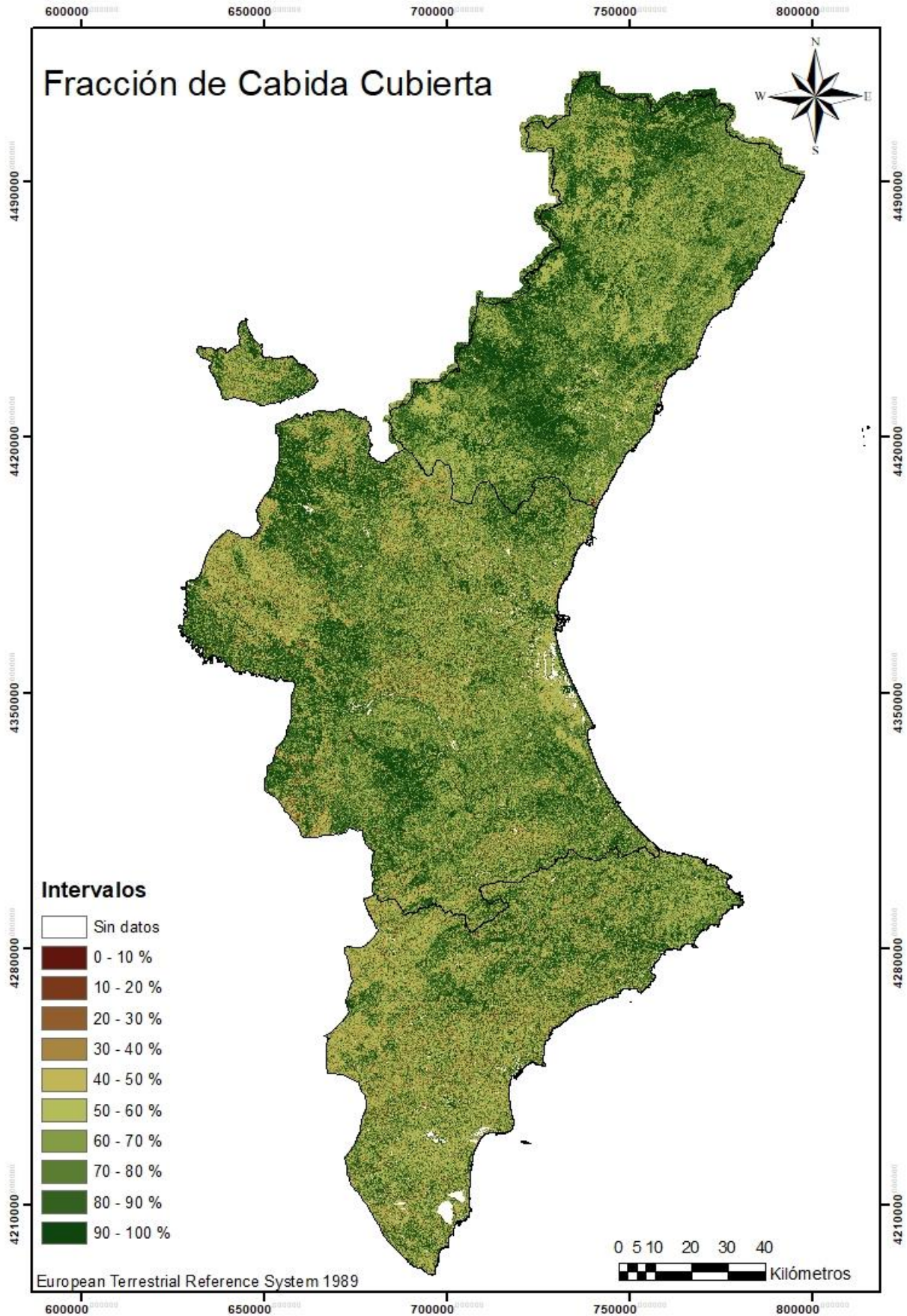


Figura 16. Fracción de Cabida Cubierta para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

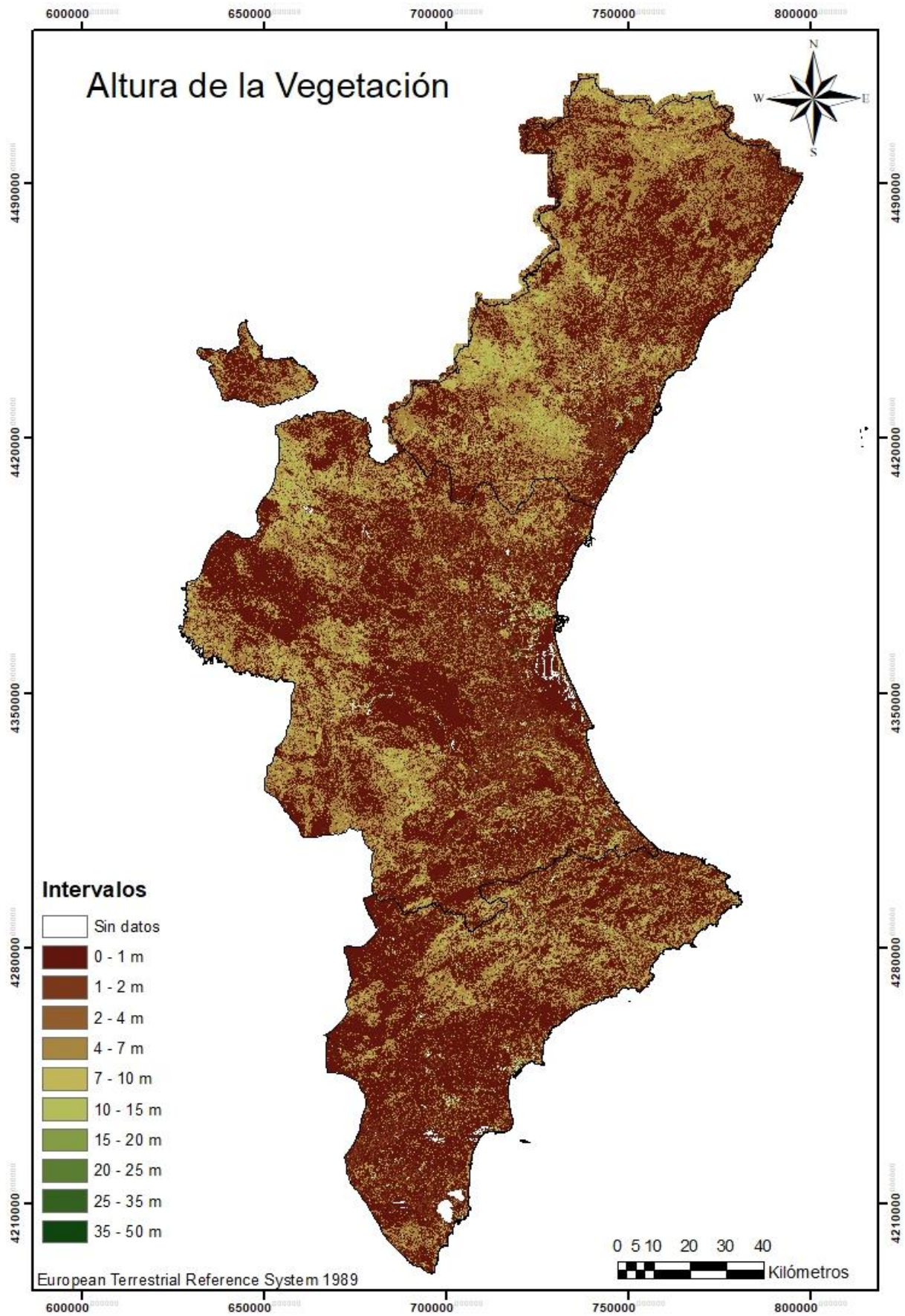


Figura 17. Altura de la vegetación para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

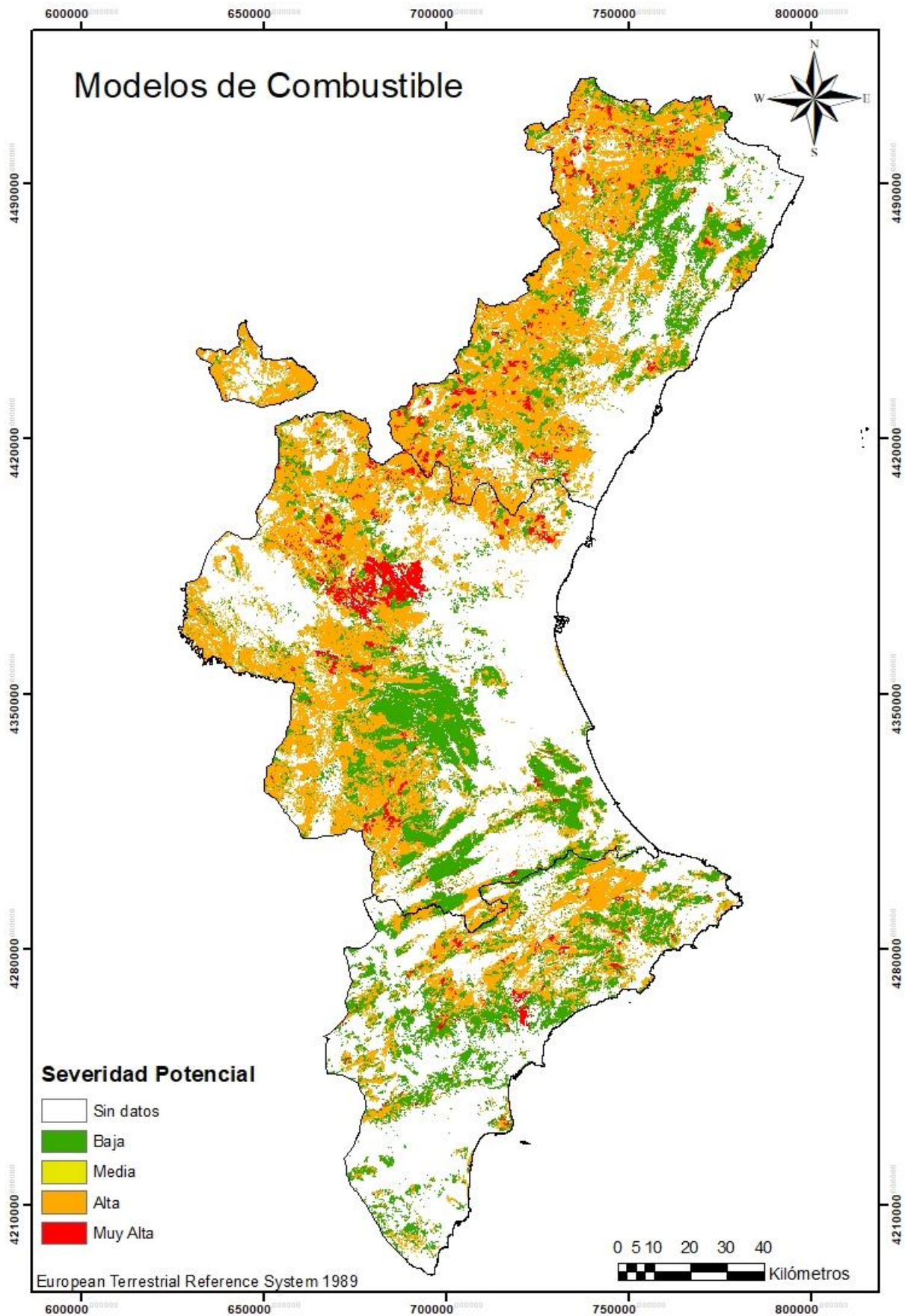


Figura 18. Severidad según los MC para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 28. Listado de especies y su grado de inflamabilidad asociada. Fuente: Elaboración propia (2024).

MFE_SP1_SP2_SP3	Código de inflamabilidad	Inflamabilidad	Referencias/Fuente
<i>Acacia dealbata</i>	4	Muy alta	BBDD_PIUF (ASEMFO). DUCHE, Yvon y SAVAZZI Rémi. Direction Territoriale Méditerranée, pôle DFCI. Guide d'fc. Sensibilité des haies faceaux incendies de forêts sous climat méditerranéen. Défense des forêts contre l'incendie. Sudoe Interreg IV B, Francia, 2012
<i>Acacia spp.</i>	2	Medianamente inflamable	*Sin referencias. Aunque <i>Acacia dealbata</i> tiene una inflamabilidad muy alta, el resto de acacias no son tan inflamables.
<i>Acer campestre</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Acer monspessulanum</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Acer opalus</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Ailanthus altissima</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_IUF (ASEMFO) MOLINA, Juan Ramón, MARTÍN, Teodoro, RODRÍGUEZ Y SILVA, Francisco y HERRERA, Miguel Ángel. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. ELSEVIER, Córdoba, España, 2016.
<i>Alnus glutinosa</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf

<i>Amelanchie rovalis</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO). UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire
<i>Arbutus unedo</i>	2	Medianamente inflamable	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Betula spp.</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Castanea sativa</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Cedrus atlantica</i>	3	Muy alta en verano	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Celtis australis</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Ceratonia siliqua</i>	4	Extremadamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO). MOLINA, Juan Ramón, MARTÍN, Teodoro, RODRÍGUEZ Y SILVA, Francisco y HERRERA, Miguel Ángel. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. ELSEVIER, Córdoba, España, 2016.
<i>Cornus sanguinea</i>	2	Medianamente inflamable	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Corylus avellana</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Crataegus lacinata</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO). DUCHE, Yvon y SAVAZZI Rémi. Direction Territoriale Méditerranée, pôle DFCI. Guide d'fc. Sensibilite des haies faceaux incendies de forêts sous climat méditerranéen. Defense des forêts contre l'incendie. Sudoe Interreg IV B, Francia, 2012.

<i>Crataegus monogyna</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO). DUCHE, Yvon y SAVAZZI Rémi. Direction Territoriale Méditerranée, pôle DFCI. Guide d'fc. Sensibilité des haies faceaux incendies de forêts sous climat méditerranéen. Défense des forêts contre l'incendie. Sudoe Interreg IV B, Francia, 2012.
<i>Crataegus spp.</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO). DUCHE, Yvon y SAVAZZI Rémi. Direction Territoriale Méditerranée, pôle DFCI. Guide d'fc. Sensibilité des haies faceaux incendies de forêts sous climat méditerranéen. Défense des forêts contre l'incendie. Sudoe Interreg IV B, Francia, 2012.
Cultivo en mosaico	3		
<i>Cupressus arizonica</i>	4	Muy alta	BBDD_PIUF (ASEMFO). MOLINA, Juan Ramón, MARTÍN, Teodoro, RODRÍGUEZ Y SILVA, Francisco y HERRERA, Miguel Ángel. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. ELSEVIER, Córdoba, España, 2016.
<i>Cupressus macrocarpa</i>	4	Muy alta	DUCHE, Yvon y SAVAZZI Rémi. Direction Territoriale Méditerranée, pôle DFCI. Guide d'fc. Sensibilité des haies faceaux incendies de forêts sous climat méditerranéen. Défense des forêts contre l'incendie. Sudoe Interreg IV B, Francia, 2012.
<i>Cupressus sempervirens</i>	3	Muy alta en verano	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L. Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Eucalyptus globulus</i>	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L. Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Fagus sylvatica</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf

<i>Ficus carica</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO). JIM'S MOWING. Fire retardant trees and plants. Australia.
<i>Frangula alnus</i>	1	Baja	*Sin referencias
<i>Fraxinus angustifolia</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Fraxinus excelsior</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Fraxinus ornus</i>	4	Muy alta	MOLINA, Juan Ramón, MARTÍN, Teodoro, RODRÍGUEZ Y SILVA, Francisco y HERRERA, Miguel Ángel. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. ELSEVIER, Córdoba, España, 2016.
Herbazal en mosaico	3	Alta	
<i>Ilex aquifolium</i>	3	Alta	BBDD_PIUF (ASEMFO) ELVIRA MARTÍN, Miguel ; HERNANDO LARA, Carmen. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Monografía INIA n° 68. MAPA, 1989
<i>Juglans nigra</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire.
<i>Juglans regia</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire.
<i>Juniperus communis</i>	2	Medianamente inflamable	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Juniperus oxycedrus</i>	2	Medianamente inflamable	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)

<i>Juniperus phoenicea</i>	2	Medianamente inflamable	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Juniperus thurifera</i>	2	Medianamente inflamable	*Sin referencias. Asemejo a otros juniperus.
<i>Larix spp.</i>	1	Baja	*Únicareferencia Larix occidentalis. UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire.
<i>Laurus nobilis</i>	3	Alta	BBDD_PUIF (ASEMFO) MANCA, Tiziana, LÓPEZ, Marcos, EPRIF VALENCIA, GRUPO TRAGSA y Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA DE GOVERNACIÓ I JUSTÍCIA. Guía metodológica de actuaciones de prevención, defensa y autoprotección de la interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa, España, 2014.
<i>Malus sylvestris</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) BARKLEY, Yvone C., SCHNEPF, Chris y COHEN, Jack. UNIVERSITY OF IDAHO. IDAHO FOREST, WILDLIFE AND RANGE EXPERIMENT STATION. Protecting and landscaping homes in the wildland/urban interface. U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management, 2006.
Matorral en mosaico	3	Alta	
Mezcla de eucaliptus	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Myrtus communis</i>	3	Alta	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Morus spp.</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO) ELVIRA MARTÍN, Miguel ; HERNANDO LARA, Carmen. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Monografía INIA nº 68. MAPA, 1989
<i>Olea europaea</i>	1	Baja	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)

Otras frondosas	2	Alta	https://lab-incendios-forestales.chil.me/post/las-masas-mixtas-podrian-aumentar-la-resistencia-al-fuego-en-ecosistemas-mediter-223701
Otros eucaliptos	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
Pastizal-Matorral en mosaico	3	Alta	
<i>Phillyrea latifolia</i>	3	Alta	BBDD_PIUF (ASEMFO) VALETTE 1990. Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Revue Forestière Française
<i>Phoenix spp.</i>	4	Muy inflamable en verano	Guía de pirojardinería_Diputación de Girona (INTERREG) DALMAU ROVIRA, Ferrán, GORGONIO BONET Emma, BARCELÓ PUIG Adriá, AYUNTAMIENTO EL PASO. Guía de jardinería preventiva en incendios forestales. El Paso- La Palma. Año 2012.
<i>Pinus canariensis</i>	4	Muy inflamable en verano	DALMAU ROVIRA, Ferrán, GORGONIO BONET Emma, BARCELÓ PUIG Adriá, AYUNTAMIENTO EL PASO. Guía de jardinería preventiva en incendios forestales. El Paso- La Palma. Año 2012.
<i>Pinus halepensis</i>	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Pinus nigra</i>	2	Medianamente inflamable	*Sin referencia. Asemejo a <i>Pinus sylvestris</i>
<i>Pinus pinaster</i>	3	Muy inflamable en verano	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA). *Se le podrá dar código 2 o 3 porque está incluido en los dos grupos, pero se le da código 3, mismo criterio que en los estudios del CREAM.
<i>Pinus pinea</i>	3	Muy inflamable en verano	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Pinus radiata</i>	3	Muy inflamable en verano	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)

<i>Pinus sylvestris</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO). AYUNTAMIENTO DE BENALMÁDENA (MÁLAGA), Áreas de Gobierno de Seguridad y Emergencias. Prevención de incendios en la interfaz urbano-forestal.
<i>Pinus uncinata</i>	3	Alta	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Pistacia terebinthus</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO). GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.
<i>Platanus hispanica</i>	2	Medianamente inflamable	Guía de pirojardineria_Diputació de Girona (INTERREG)
<i>Populus alba</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Populus nigra</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Populus tremula</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Populus x canadensis</i>	1	Baja	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
Prado en mosaico	3	Alta	
<i>Prunus avium</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_Diputació de Girona (INTERREG) TERÉS BLANCO, José A..GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT D'AGRICULTURA,

			RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ. DIRECCIÓ GENERAL DE FORESTS. SERVEL DE PREVENCIÓ D'INCENDIS FORESTALS. Incendios en interfaz urbano-forestal. Medidas de prevención de incendios en la interfaz urbana forestal: retos y oportunidades. Cataluña, 2016.
<i>Prunus spinosa</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO)_ELVIRA MARTÍN, Miguel ; HERNANDO LARA, Carmen. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Monografía INIA n° 68. MAPA, 1989
<i>Prunus spp.</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO)_ELVIRA MARTÍN, Miguel ; HERNANDO LARA, Carmen. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Monografía INIA n° 68. MAPA, 1990
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2	Medianamente inflamable	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Pyrus spp.</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.
<i>Quercus faginea</i>	2	Medianamente inflamable	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Quercus ilex</i>	4	Muy alta todo el año	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Quercus petraea</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Quercus pyrenaica</i>	1	Baja	*Sin referencias. A semejo a <i>Quercus petraea</i> _Guía de pirojardineria_Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Quercus suber</i>	3	Muy inflamable en verano	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)
<i>Rhamnus alaternus</i>	1	Baja	Inflamabilidad y Energía de las especies de sotobosque. L.Miguel Elvira Martín, C. Hernando Lara. (INIA)

<i>Rhus coriaria</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_ Diputación de Girona (INTERREG). UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	Baja	UNIVERSITIES OF OREGON, WASHINGTON STATE AND IDAHO. Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire.
<i>Salix alba</i>	1	Baja	BBDD_PUIF (ASEMFO) GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.
<i>Salix atrocinerea</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) BARKLEY, Yvone C., SCHNEPF, Chris y COHEN, Jack. UNIVERSITY OF IDAHO. IDAHO FOREST, WILDLIFE AND RANGE EXPERIMENT STATION. Protecting and landscaping homes in the wildland/urban interface. U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management, 2006.*Sin referencias, se clasifica como el género Salix sp.
<i>Salix babylonica</i>	1	Baja	Guía de pirojardineria_ Diputación de Girona (INTERREG) CAÑIZO, José Antonio del. El jardín: arte y técnica. 6ª edición ampliada, transformada y actualizada de Jardines: diseño, proyecto, plantación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 2006.
<i>Salix elaeagnos</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) BARKLEY, Yvone C., SCHNEPF, Chris y COHEN, Jack. UNIVERSITY OF IDAHO. IDAHO FOREST, WILDLIFE AND RANGE EXPERIMENT STATION. Protecting and landscaping homes in the wildland/urban interface. U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management, 2006.*Sin referencias, se clasifica como el género Salix sp.
<i>Salix fragilis</i>	1	Baja	BBDD_PUIF (ASEMFO) GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.

<i>Salix purpurea</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) BARKLEY, Yvone C., SCHNEPF, Chris y COHEN, Jack. UNIVERSITY OF IDAHO. IDAHO FOREST, WILDLIFE AND RANGE EXPERIMENT STATION. Protecting and landscaping homes in the wildland/urban interface. U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management, 2006.*Sin referencias, se clasifica como el género <i>Salix</i> sp.
<i>Salix spp.</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) BARKLEY, Yvone C., SCHNEPF, Chris y COHEN, Jack. UNIVERSITY OF IDAHO. IDAHO FOREST, WILDLIFE AND RANGE EXPERIMENT STATION. Protecting and landscaping homes in the wildland/urban interface. U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management, 2006.
<i>Sambucus nigra</i>	2	Medianamente inflamable	Guía de pirojardinería_ Diputación de Girona (INTERREG)
Sin datos	0		
<i>Sophora japonica</i>	1	Baja	GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.
<i>Sorbus aria</i>	4	Muy inflamable	Journal of Ecology , Oct., 2000, Vol. 88, No. 5 (Oct., 2000), pp. 910-930 Olivier Raspe, Catherine Findlay and Anne-Laure Jacquemart_British Ecological Society
<i>Sorbus aucuparia</i>	4	Muy inflamable	Journal of Ecology , Oct., 2000, Vol. 88, No. 5 (Oct., 2000), pp. 910-930 Olivier Raspe, Catherine Findlay and Anne-Laure Jacquemart_British Ecological Society
<i>Sorbus domestica</i>	4	Muy inflamable	Journal of Ecology , Oct., 2000, Vol. 88, No. 5 (Oct., 2000), pp. 910-930 Olivier Raspe, Catherine Findlay and Anne-Laure Jacquemart_British Ecological Society
<i>Sorbus spp</i>	4	Muy inflamable	Journal of Ecology , Oct., 2000, Vol. 88, No. 5 (Oct., 2000), pp. 910-930 Olivier Raspe, Catherine Findlay and Anne-Laure Jacquemart_British Ecological Society

<i>Tamarix spp.</i>	1	Baja	BBDD_PIUF (ASEMFO) MANCA, Tiziana, LÓPEZ, Marcos, EPRIF VALENCIA, GRUPO TRAGSA y Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA DE GOVERNACIÓ I JUSTÍCIA. Guía metodológica de actuaciones de prevención, defensa y autoprotección de la interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa, España, 2014.
<i>Taxus baccata</i>	4	Muy inflamable	Mapes de models d'inflamabilitat_CREAF_ http://www.gencat.cat/mediamb/ModelsInflamabilitatWeb.pdf
<i>Tetraclinis articulata</i>	3	Alta	Guía de pirojardineria_ Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Tilia platyphyllos</i>	1	Baja	*Sin referencias
<i>Ulmus minor</i>	2	Medianamente inflamable	Guía de pirojardineria_ Diputación de Girona (INTERREG)
<i>Ulmus pumila</i>	2	Medianamente inflamable	BBDD_PIUF (ASEMFO) GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA D'AGRICULTURA, MEDI AMBIENTE, CANVI CLIMÀTIC I DESENVOLUPAMENT RURAL. Jardinería de baja inflamabilidad para las zonas de interfaz urbano-forestal. Grupo Vaersa.

SP1

valor 0 (3956 entidades)

"TipoEstruc" = 'Agua' or
 "TipoEstruc" = 'Artificial' or
 "TipoEstruc" = 'Autopistas y autovías' or
 "TipoEstruc" = 'Infraestructuras de
 conducción' or
 "TipoEstruc" = 'Minería, escombreras y
 vertederos'

valor 3 (8627 entidades)

"n_sp1" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Alineaciones)' or
 "n_sp1" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Bosquetes)' or
 "n_sp1" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Riberas)' or
 "n_sp1" = 0 AND "TipoEstruc" = 'Agrícola
 y prados artificiales' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Matorral'
 or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque
 Plantación' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" =
 'Complementos del bosque' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Cultivo
 con arbolado disperso' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Dehesa' or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Herbazal'
 or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Humedal'
 or
 "n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Monte sin
 vegetación superior' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre cultivo' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre forestal desarbolado' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 desarbolado sobre cultivo' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Parque
 periurbano' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Pastizal-
 Matorral' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado con
 sebes' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Incendio)' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Talas)' or

"n_sp1" = 0 and "TipoEstruc" = 'Área
 recreativa'

valor 4 (21613 entidades)

"n_sp1" = 307 or

"n_sp1" = 67 or

"n_sp1" = 236 or

"n_sp1" = 436 or

"n_sp1" = 62 or

"n_sp1" = 61 or

"n_sp1" = 63 or

"n_sp1" = 24 or

"n_sp1" = 45 or

"n_sp1" = 378 or

"n_sp1" = 14 or

"n_sp1" = 355 or

"n_sp1" = 60 or

"n_sp1" = 27 or

"n_sp1" = 69 or

"n_sp1"=278 or

"n_sp1"=78 or

"n_sp1"=478

valor 3 (1126 entidades)

"n_sp1" =17 or

"n_sp1" =36 or

"n_sp1" =65 or

"n_sp1" =94 or

"n_sp1" =6 or

"n_sp1" =8 or

"n_sp1" =26 or

"n_sp1" =23 or

"n_sp1" =28 or

"n_sp1" =22 or

"n_sp1" =46 or

"n_sp1" =8000 or

"n_sp1" =9000 or

"n_sp1" =3500 or

"n_sp1" =3400 or

"n_sp1" =1500 or

"n_sp1" =219

valor 2 (3201 entidades)

"n_sp1"= 7 or

"n_sp1"= 11 or

"n_sp1"= 68 or

"n_sp1"= 9 or

"n_sp1"= 415 or

"n_sp1"= 215 or

"n_sp1"= 15 or

"n_sp1"= 37 or

"n_sp1"= 237 or

"n_sp1"= 39 or

"n_sp1"= 38 or

"n_sp1"= 399 or

"n_sp1"= 99 or

"n_sp1"= 25 or

"n_sp1"= 21 or

"n_sp1"= 79 or

"n_sp1"= 34 or

"n_sp1"= 44 or

"n_sp1"= 97 or

"n_sp1"= 56 or

"n_sp1"= 356

valor 1 (586 entidades)

"n_sp1"= 76 or

"n_sp1"= 276 or

"n_sp1"= 476 or

"n_sp1"= 54 or

"n_sp1"= 2 or

"n_sp1"= 73 or

"n_sp1"= 72 or

"n_sp1"= 13 or

"n_sp1"= 74 or

"n_sp1"= 71 or

"n_sp1"= 299 or

"n_sp1"= 55 or

"n_sp1"= 255 or

"n_sp1"= 75 or

"n_sp1"= 275 or

"n_sp1"= 35 or

"n_sp1"= 12 or
"n_sp1"= 66 or
"n_sp1"= 93 or
"n_sp1"= 51 or
"n_sp1"= 58 or
"n_sp1"= 52 or
"n_sp1"= 258 or
"n_sp1"= 295 or
"n_sp1"= 95 or
"n_sp1"= 16 or
"n_sp1"= 42 or
"n_sp1"= 43 or
"n_sp1"= 4 or
"n_sp1"= 92 or
"n_sp1"= 257 or
"n_sp1"= 357 or
"n_sp1"= 757 or
"n_sp1"= 857 or
"n_sp1"= 957 or
"n_sp1"= 57 or
"n_sp1"= 53 or
"n_sp1"= 377 or
"n_sp1"= 3 or
"n_sp1"=395 or
"n_sp1"=96 or
"n_sp1"=292 or
"n_sp1"=457

El resto de Clase_sp1 que quedan en NULL, como son 0 en el valor de n_sp1, se le otorgará el valor de 0 (**13285 entidades**).

SP2

valor 0 (3956 entidades)

"TipoEstruc" = 'Agua' or
 "TipoEstruc" = 'Artificial' or
 "TipoEstruc" = 'Autopistas y autovías' or
 "TipoEstruc" = 'Infraestructuras de
 conducción' or
 "TipoEstruc" = 'Minería, escombreras y
 vertederos'

valor 3 (15791 entidades)

"n_sp2" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Alineaciones)' or
 "n_sp2" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Bosquetes)' or
 "n_sp2" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Riberas)' or
 "n_sp2" = 0 AND "TipoEstruc" = 'Agrícola
 y prados artificiales' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Matorral'
 or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque
 Plantación' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" =
 'Complementos del bosque' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Cultivo
 con arbolado disperso' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Dehesa' or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Herbazal'
 or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Humedal'
 or
 "n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Monte sin
 vegetación superior' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre cultivo' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre forestal desarbolado' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 desarbolado sobre cultivo' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Parque
 periurbano' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Pastizal-
 Matorral' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado con
 sebes' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Incendio)' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Talas)' or

"n_sp2" = 0 and "TipoEstruc" = 'Área
 recreativa'

valor 4 (7754 entidades)

"n_sp2" = 307 or

"n_sp2" = 67 or

"n_sp2" = 236 or

"n_sp2" = 436 or

"n_sp2" = 62 or

"n_sp2" = 61 or

"n_sp2" = 63 or

"n_sp2" = 24 or

"n_sp2" = 45 or

"n_sp2" = 378 or

"n_sp2" = 14 or

"n_sp2" = 355 or

"n_sp2" = 60 or

"n_sp2" = 27 or

"n_sp2" = 69 or

"n_sp2"=278 or

"n_sp2"=78 or

"n_sp2"=478

valor 3 (1451 entidades)

"n_sp2" =17 or

"n_sp2" =36 or

"n_sp2" =65 or

"n_sp2" =94 or

"n_sp2" =6 or

"n_sp2" =8 or

"n_sp2" =26 or

"n_sp2" =23 or

"n_sp2" =28 or

"n_sp2" =22 or

"n_sp2" =46 or

"n_sp2" =8000 or

"n_sp2" =9000 or

"n_sp2" =3500 or

"n_sp2" =3400 or

"n_sp2" =1500 or

"n_sp2" =219

valor 2 (8070 entidades)

"n_sp2"= 7 or

"n_sp2"= 11 or

"n_sp2"= 68 or

"n_sp2"= 9 or

"n_sp2"= 415 or

"n_sp2"= 215 or

"n_sp2"= 15 or

"n_sp2"= 37 or

"n_sp2"= 237 or

"n_sp2"= 39 or

"n_sp2"= 38 or

"n_sp2"= 399 or

"n_sp2"= 99 or

"n_sp2"= 25 or

"n_sp2"= 21 or

"n_sp2"= 79 or

"n_sp2"= 34 or

"n_sp2"= 44 or

"n_sp2"= 97 or

"n_sp2"= 56 or

"n_sp2"= 356

valor 1 (773 entidades)

"n_sp2"= 76 or

"n_sp2"= 276 or

"n_sp2"= 476 or

"n_sp2"= 54 or

"n_sp2"= 2 or

"n_sp2"= 73 or

"n_sp2"= 72 or

"n_sp2"= 13 or

"n_sp2"= 74 or

"n_sp2"= 71 or

"n_sp2"= 299 or

"n_sp2"= 55 or

"n_sp2"= 255 or

"n_sp2"= 75 or

"n_sp2"= 275 or

"n_sp2"= 35 or

"n_sp2"= 12 or
"n_sp2"= 66 or
"n_sp2"= 93 or
"n_sp2"= 51 or
"n_sp2"= 58 or
"n_sp2"= 52 or
"n_sp2"= 258 or
"n_sp2"= 295 or
"n_sp2"= 95 or
"n_sp2"= 16 or
"n_sp2"= 42 or
"n_sp2"= 43 or
"n_sp2"= 4 or
"n_sp2"= 92 or
"n_sp2"= 257 or
"n_sp2"= 357 or
"n_sp2"= 757 or
"n_sp2"= 857 or
"n_sp2"= 957 or
"n_sp2"= 57 or
"n_sp2"= 53 or
"n_sp2"= 377 or
"n_sp2"= 3 or
"n_sp2"=395 or
"n_sp2"=96 or
"n_sp2"=292 or
"n_sp2"=457

El resto de Clase_sp2 que quedan en NULL, como son 0 en el valor de n_sp2, se le otorgará el valor de 0 (**14599 entidades**).

SP3

valor 0 (3956 entidades)

"TipoEstruc" = 'Agua' or
 "TipoEstruc" = 'Artificial' or
 "TipoEstruc" = 'Autopistas y autovías' or
 "TipoEstruc" = 'Infraestructuras de
 conducción' or
 "TipoEstruc" = 'Minería, escombreras y
 vertederos'

valor 3 (24263 entidades)

"n_sp3" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Alineaciones)' or
 "n_sp3" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Bosquetes)' or
 "n_sp3" = 0 AND "TipoEstruc" = 'A.F.M.
 (Riberas)' or
 "n_sp3" = 0 AND "TipoEstruc" = 'Agrícola
 y prados artificiales' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Matorral'
 or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Bosque
 Plantación' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" =
 'Complementos del bosque' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Cultivo
 con arbolado disperso' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Dehesa' or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Herbazal'
 or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Humedal'
 or
 "n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Monte sin
 vegetación superior' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre cultivo' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 arbolado sobre forestal desarbolado' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Mosaico
 desarbolado sobre cultivo' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Parque
 periurbano' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Pastizal-
 Matorral' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Prado con
 sebes' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Incendio)' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'T. D.
 (Talas)' or

"n_sp3" = 0 and "TipoEstruc" = 'Área
 recreativa'

valor 4 (2300 entidades)

"n_sp3" = 307 or

"n_sp3" = 67 or

"n_sp3" = 236 or

"n_sp3" = 436 or

"n_sp3" = 62 or

"n_sp3" = 61 or

"n_sp3" = 63 or

"n_sp3" = 24 or

"n_sp3" = 45 or

"n_sp3" = 378 or

"n_sp3" = 14 or

"n_sp3" = 355 or

"n_sp3" = 60 or

"n_sp3" = 27 or

"n_sp3" = 69 or

"n_sp3"=278 or

"n_sp3"=78 or

"n_sp3"=478

valor 3 (466 entidades)

"n_sp3" =17 or

"n_sp3" =36 or

"n_sp3" =65 or

"n_sp3" =94 or

"n_sp3" =6 or

"n_sp3" =8 or

"n_sp3" =26 or

"n_sp3" =23 or

"n_sp3" =28 or

"n_sp3" =22 or

"n_sp3" =46 or

"n_sp3" =8000 or

"n_sp3" =9000 or

"n_sp3" =3500 or

"n_sp3" =3400 or

"n_sp3" =1500 or

"n_sp3" =219

valor 2 (5074 entidades)

"n_sp3"= 7 or

"n_sp3"= 11 or

"n_sp3"= 68 or

"n_sp3"= 9 or

"n_sp3"= 415 or

"n_sp3"= 215 or

"n_sp3"= 15 or

"n_sp3"= 37 or

"n_sp3"= 237 or

"n_sp3"= 39 or

"n_sp3"= 38 or

"n_sp3"= 399 or

"n_sp3"= 99 or

"n_sp3"= 25 or

"n_sp3"= 21 or

"n_sp3"= 79 or

"n_sp3"= 34 or

"n_sp3"= 44 or

"n_sp3"= 97 or

"n_sp3"= 56 or

"n_sp3"= 356

valor 1 (584 entidades)

"n_sp3"= 76 or

"n_sp3"= 276 or

"n_sp3"= 476 or

"n_sp3"= 54 or

"n_sp3"= 2 or

"n_sp3"= 73 or

"n_sp3"= 72 or

"n_sp3"= 13 or

"n_sp3"= 74 or

"n_sp3"= 71 or

"n_sp3"= 299 or

"n_sp3"= 55 or

"n_sp3"= 255 or

"n_sp3"= 75 or

"n_sp3"= 275 or

"n_sp3"= 35 or

"n_sp3"= 12 or
"n_sp3"= 66 or
"n_sp3"= 93 or
"n_sp3"= 51 or
"n_sp3"= 58 or
"n_sp3"= 52 or
"n_sp3"= 258 or
"n_sp3"= 295 or
"n_sp3"= 95 or
"n_sp3"= 16 or
"n_sp3"= 42 or
"n_sp3"= 43 or
"n_sp3"= 4 or
"n_sp3"= 92 or
"n_sp3"= 257 or
"n_sp3"= 357 or

"n_sp3"= 757 or
"n_sp3"= 857 or
"n_sp3"= 957 or
"n_sp3"= 57 or
"n_sp3"= 53 or
"n_sp3"= 377 or
"n_sp3"= 3 or
"n_sp3"=395 or
"n_sp3"=96 or
"n_sp3"=292 or
"n_sp3"=457

El resto de Clase_sp3 que quedan en
NULL, como son 0 en el valor de n_sp3, se
le otorgará el valor de 0 (**15751 entidades**).

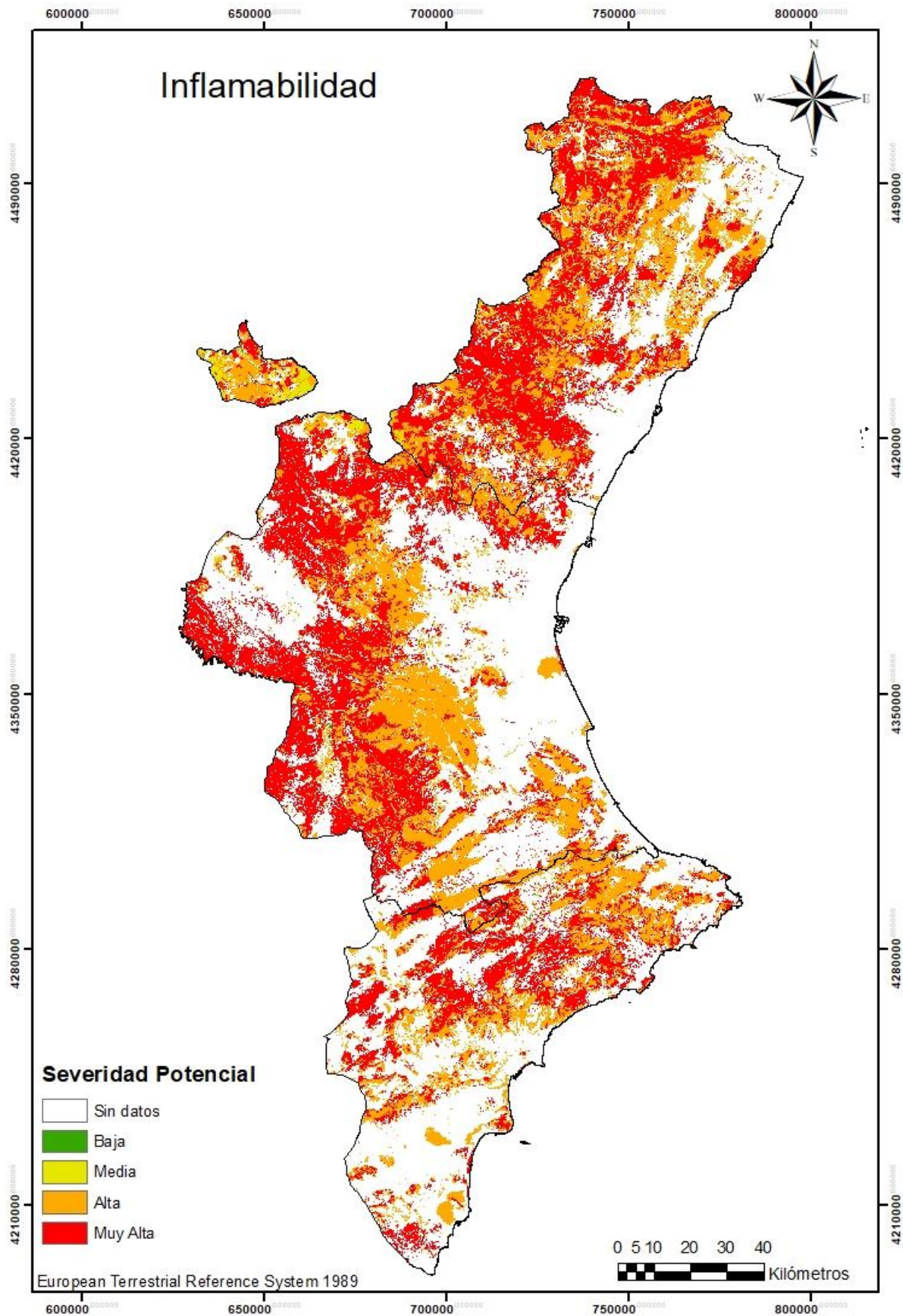


Figura 19. Severidad según la inflamabilidad para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

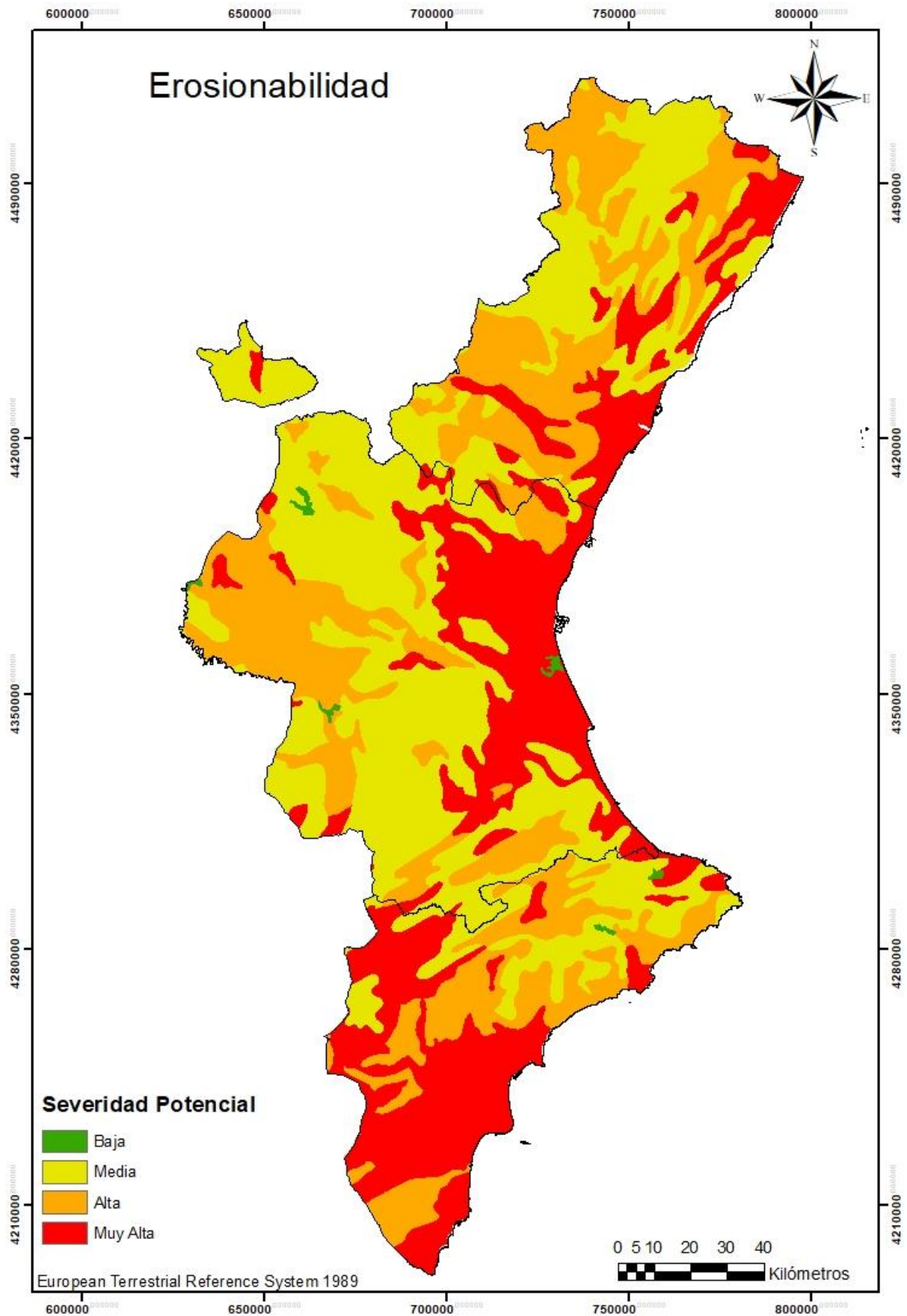


Figura 20. Severidad según la erosionabilidad para la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

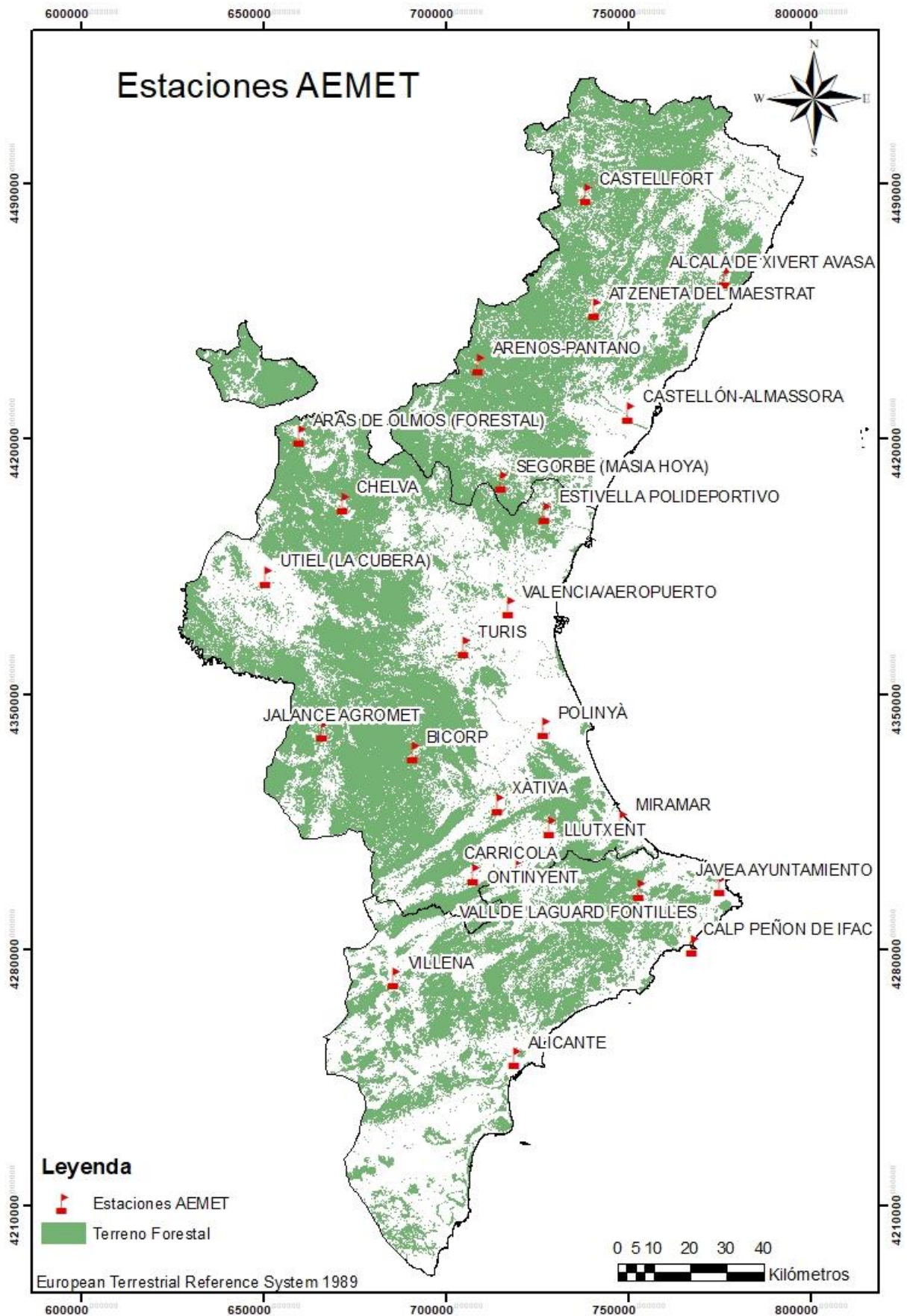


Figura 21. Estaciones meteorológicas en la Comunitat Valenciana. Fuente: Elaboración propia (2024).

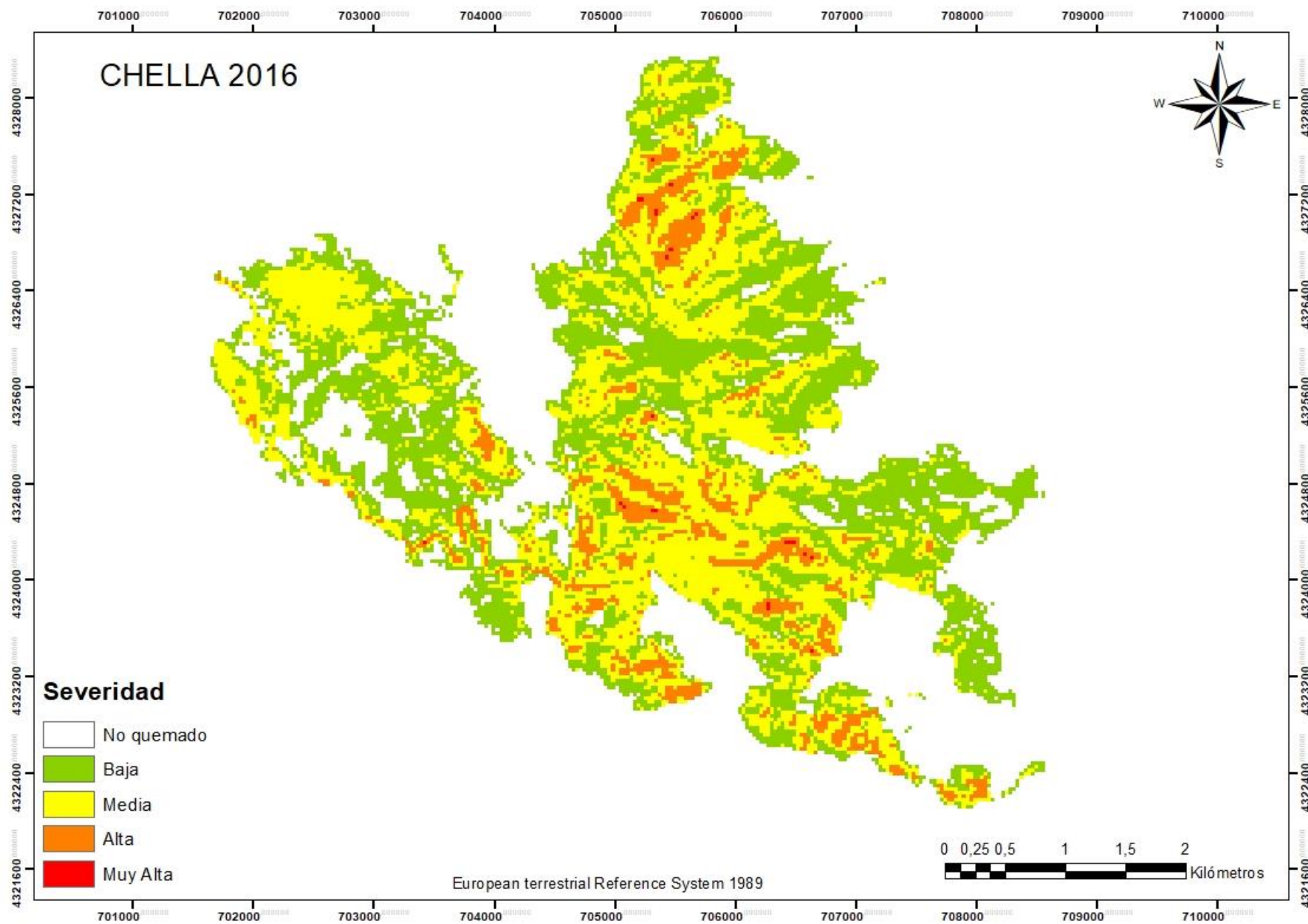


Figura 22. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).

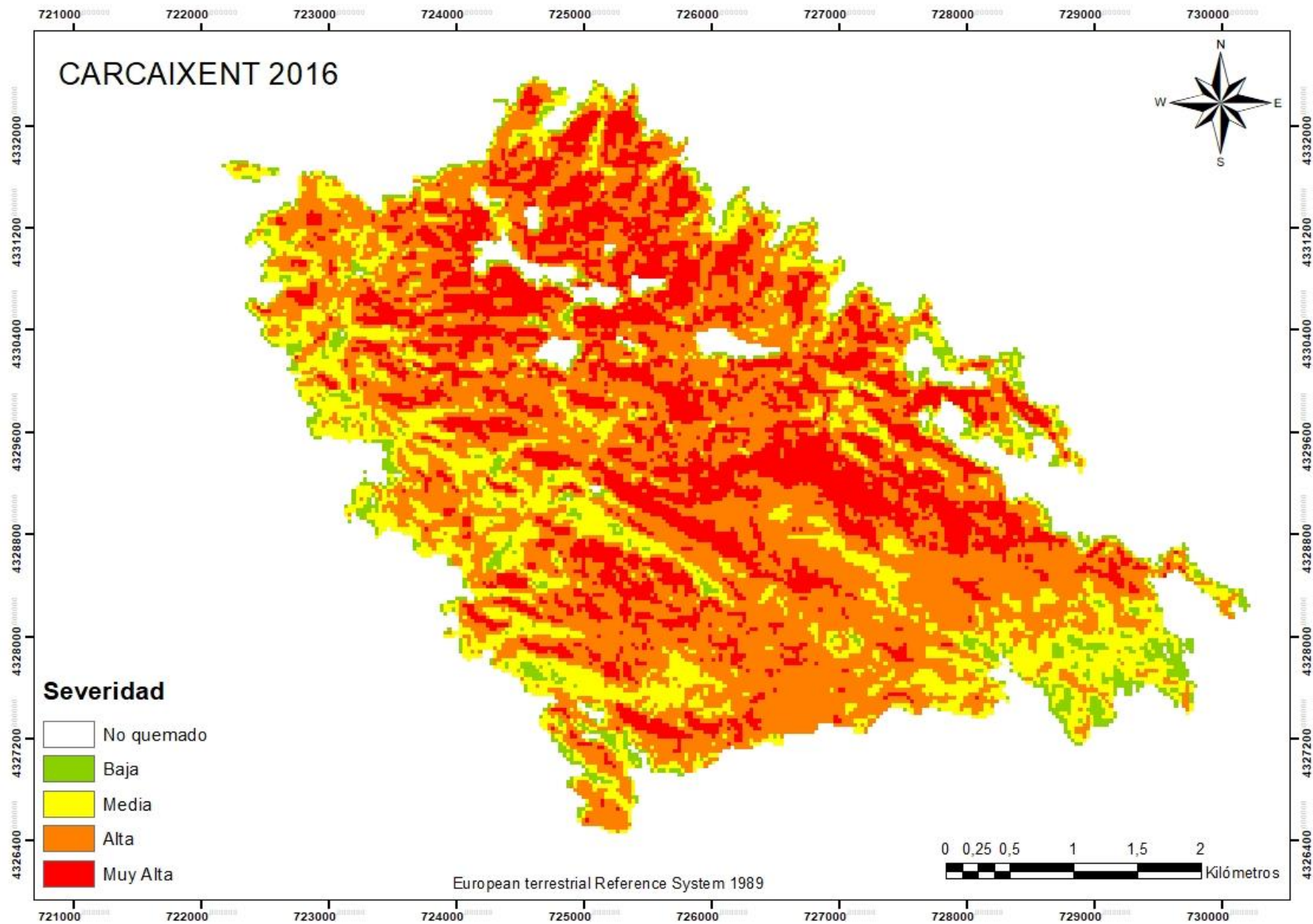


Figura 23. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).

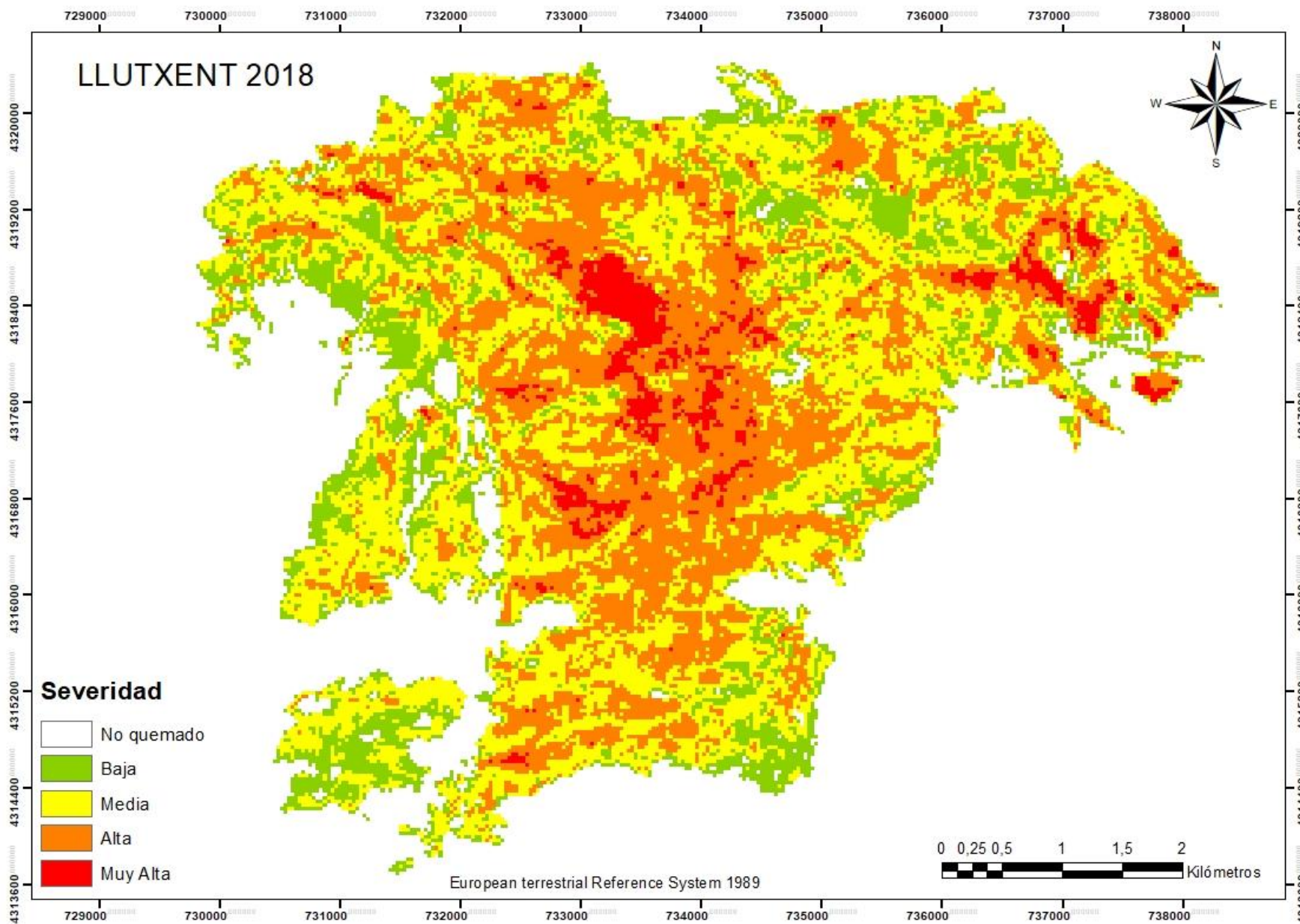


Figura 24. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

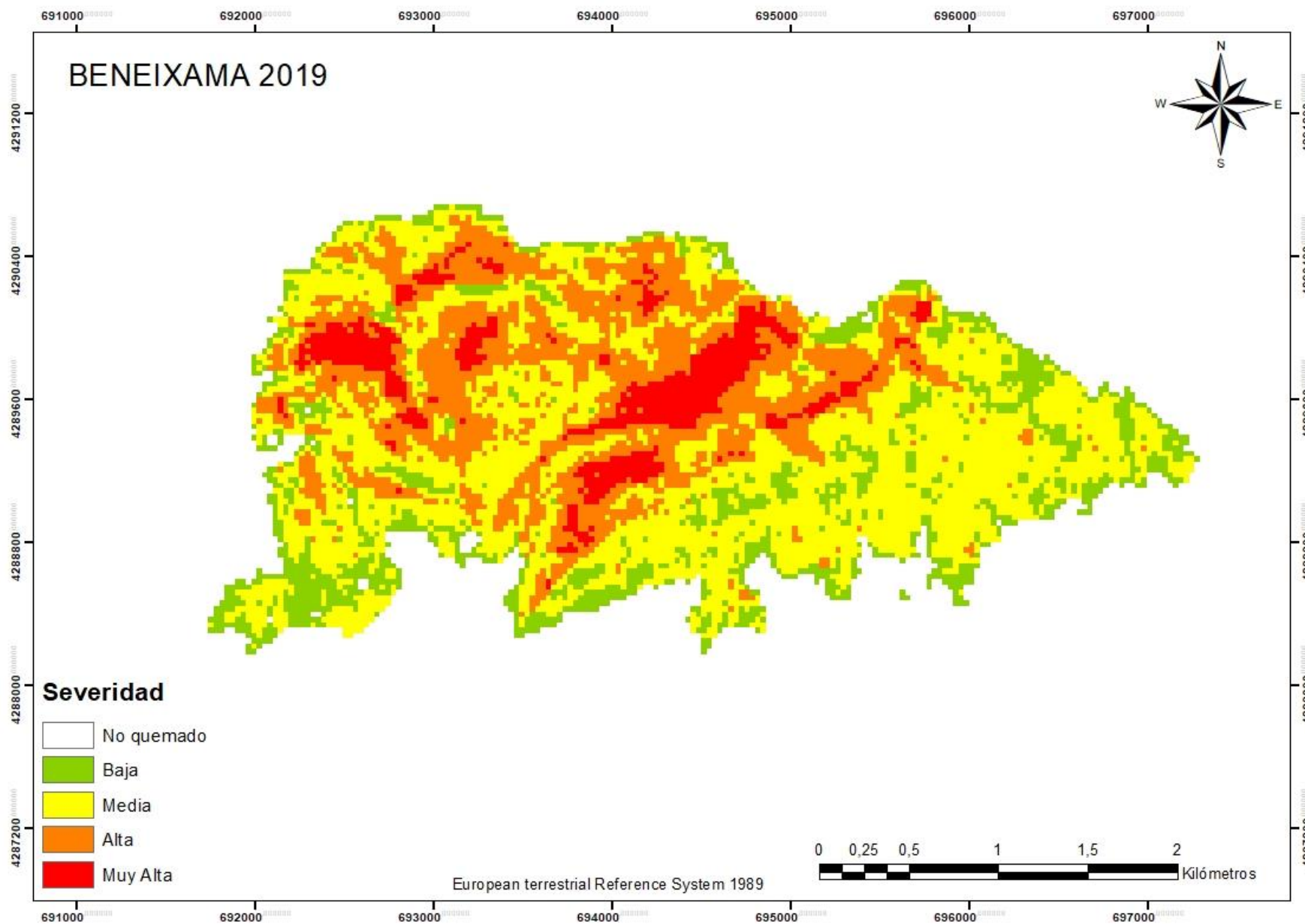


Figura 25. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).

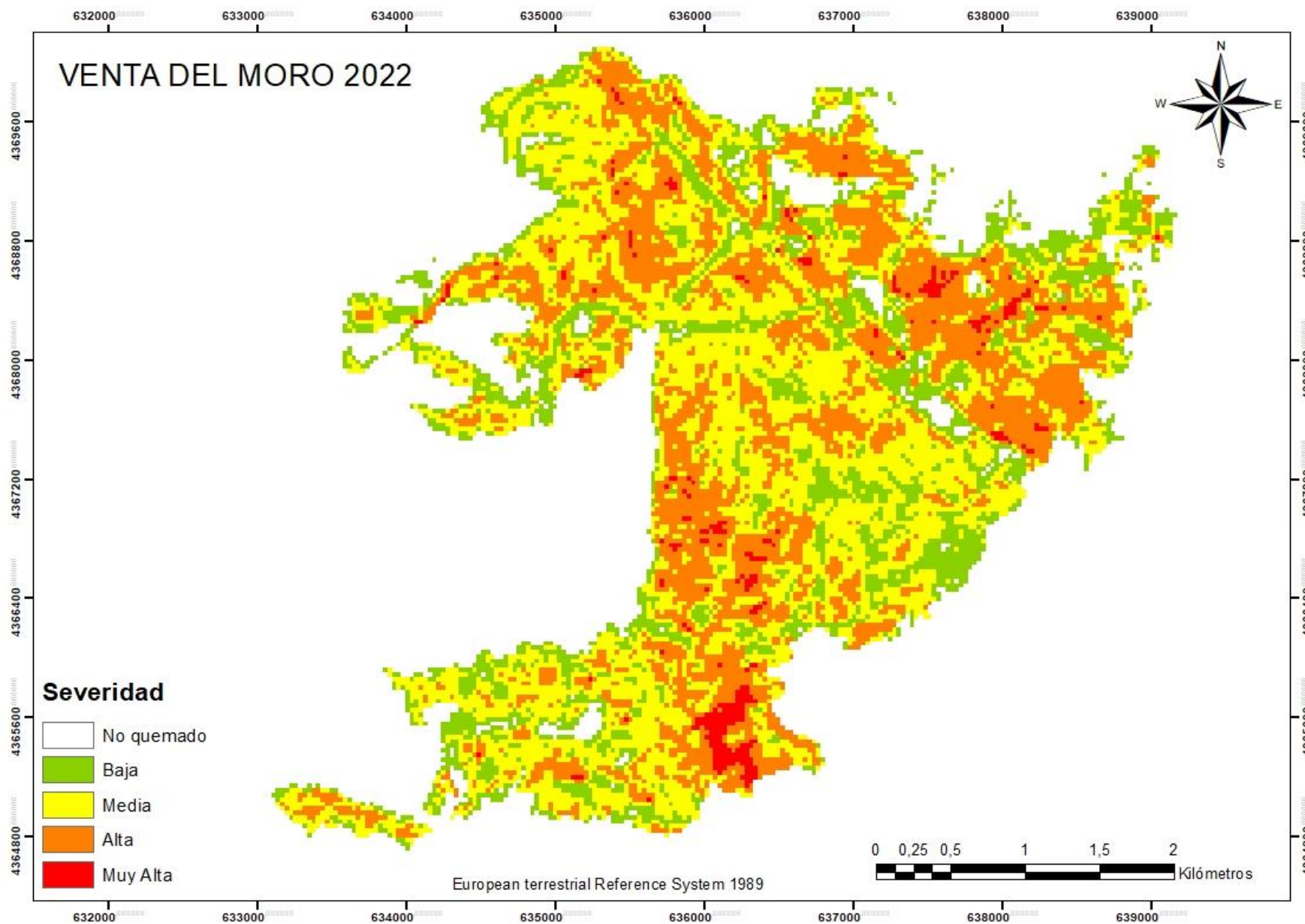


Figura 26. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).

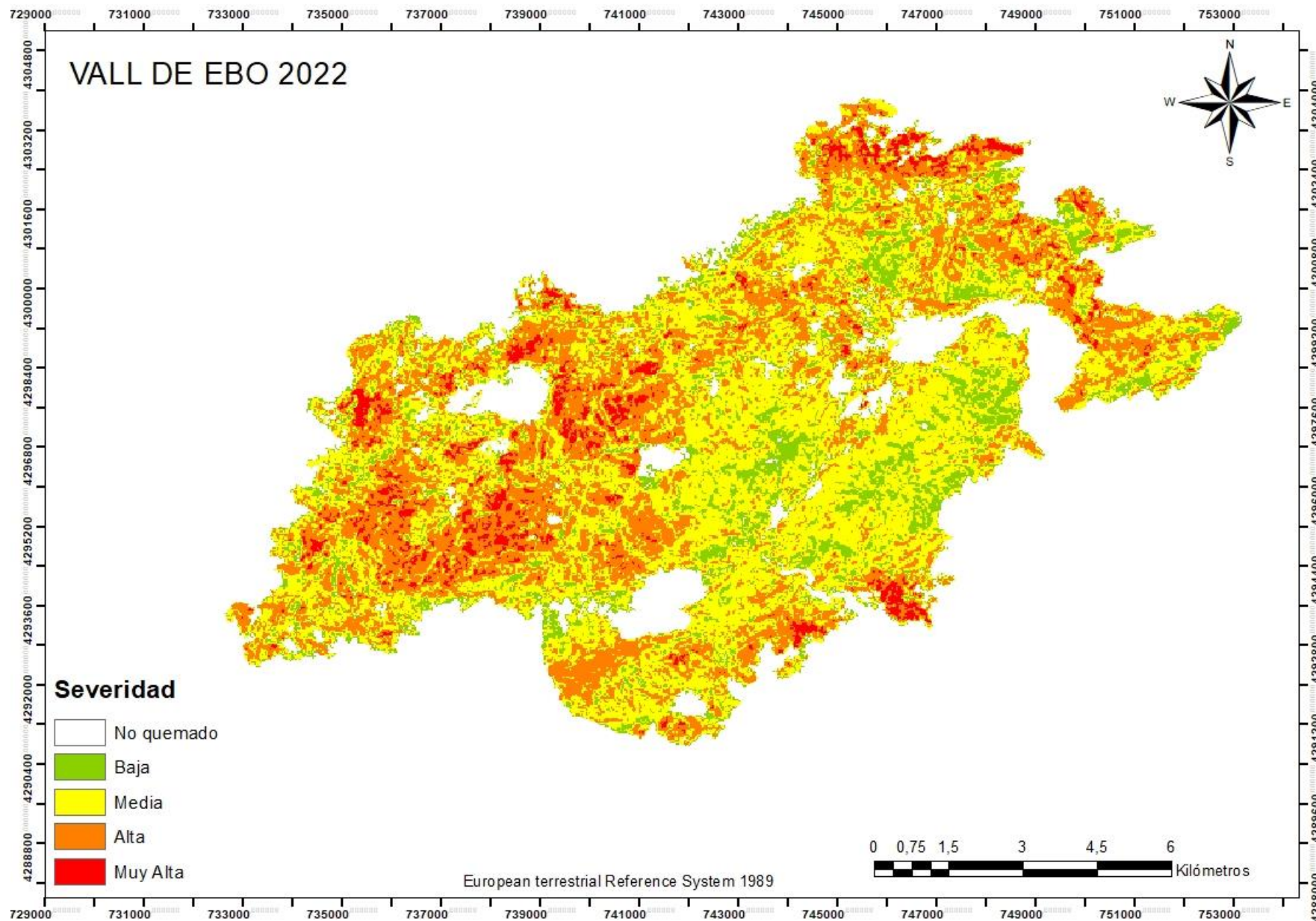


Figura 27. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).

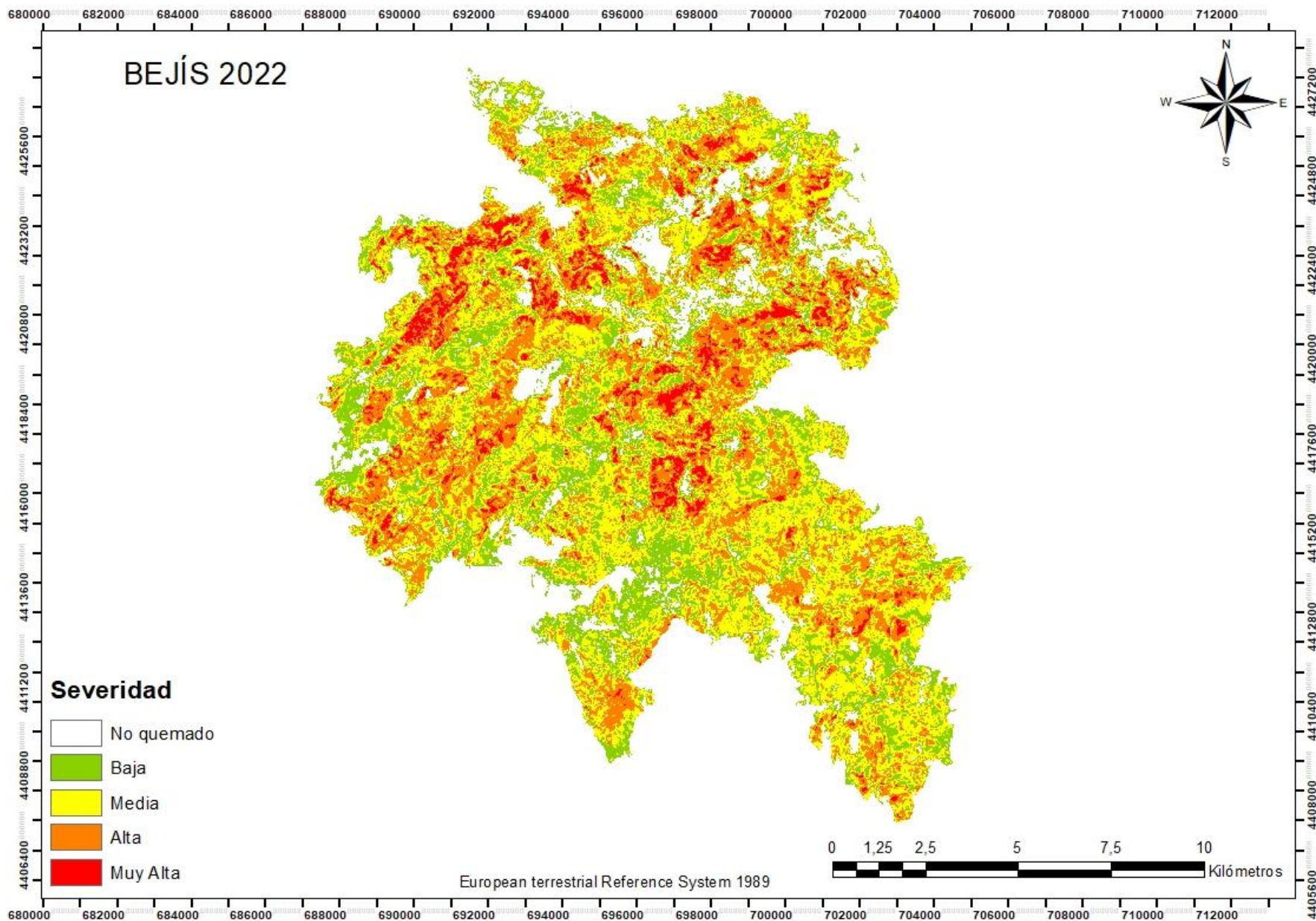


Figura 28. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).

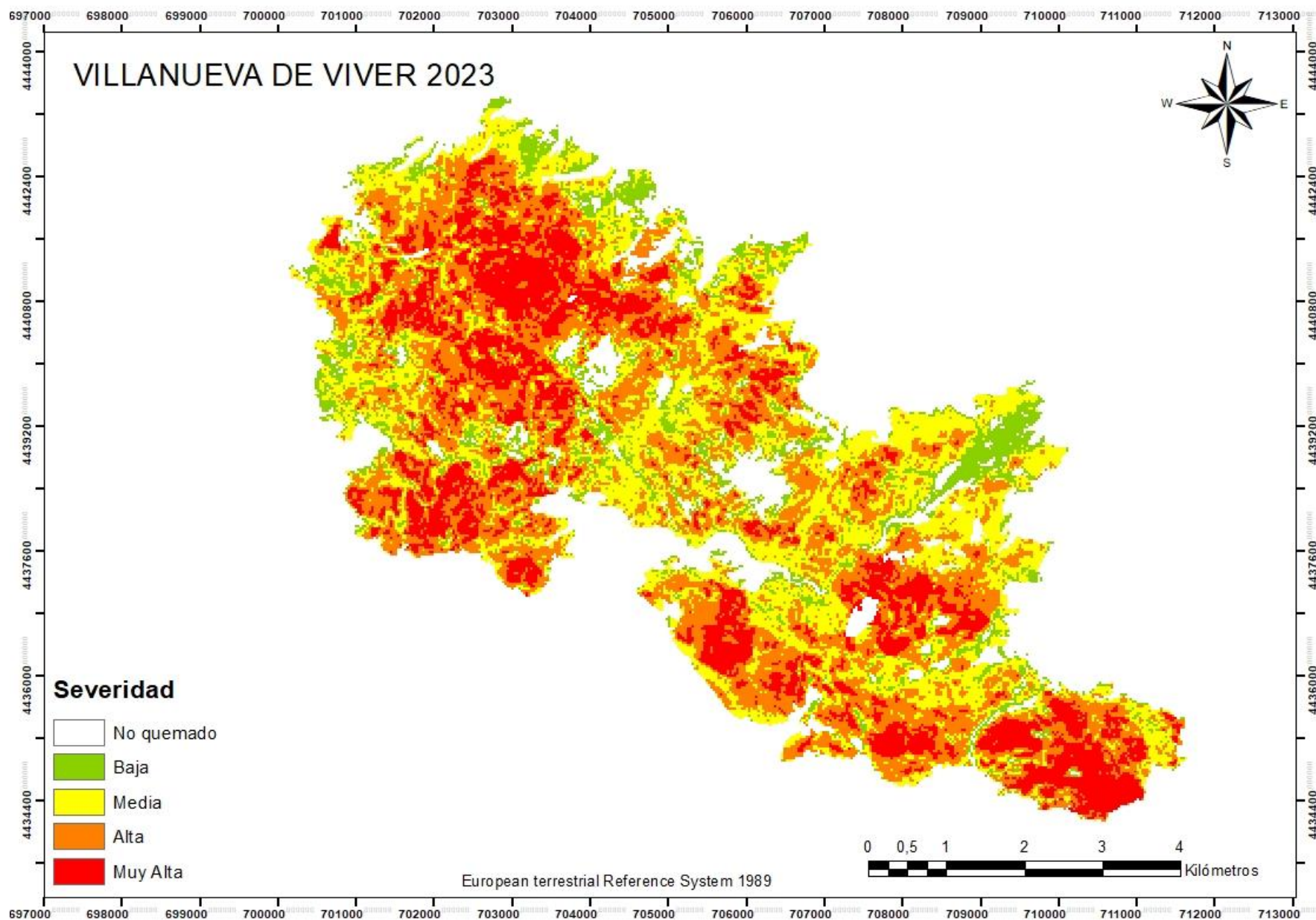


Figura 29. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).

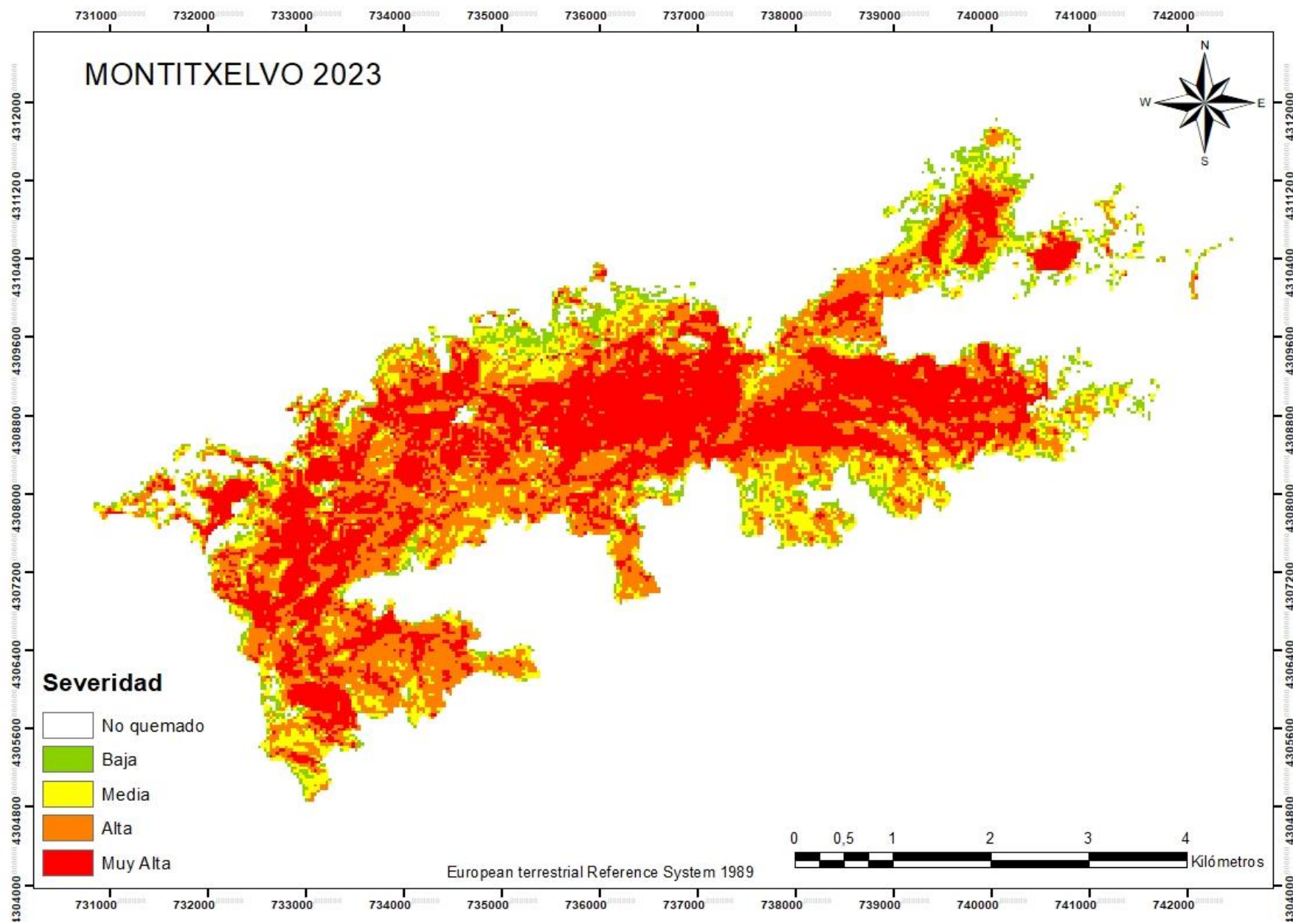


Figura 30. Cálculo de severidad dNBR para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).

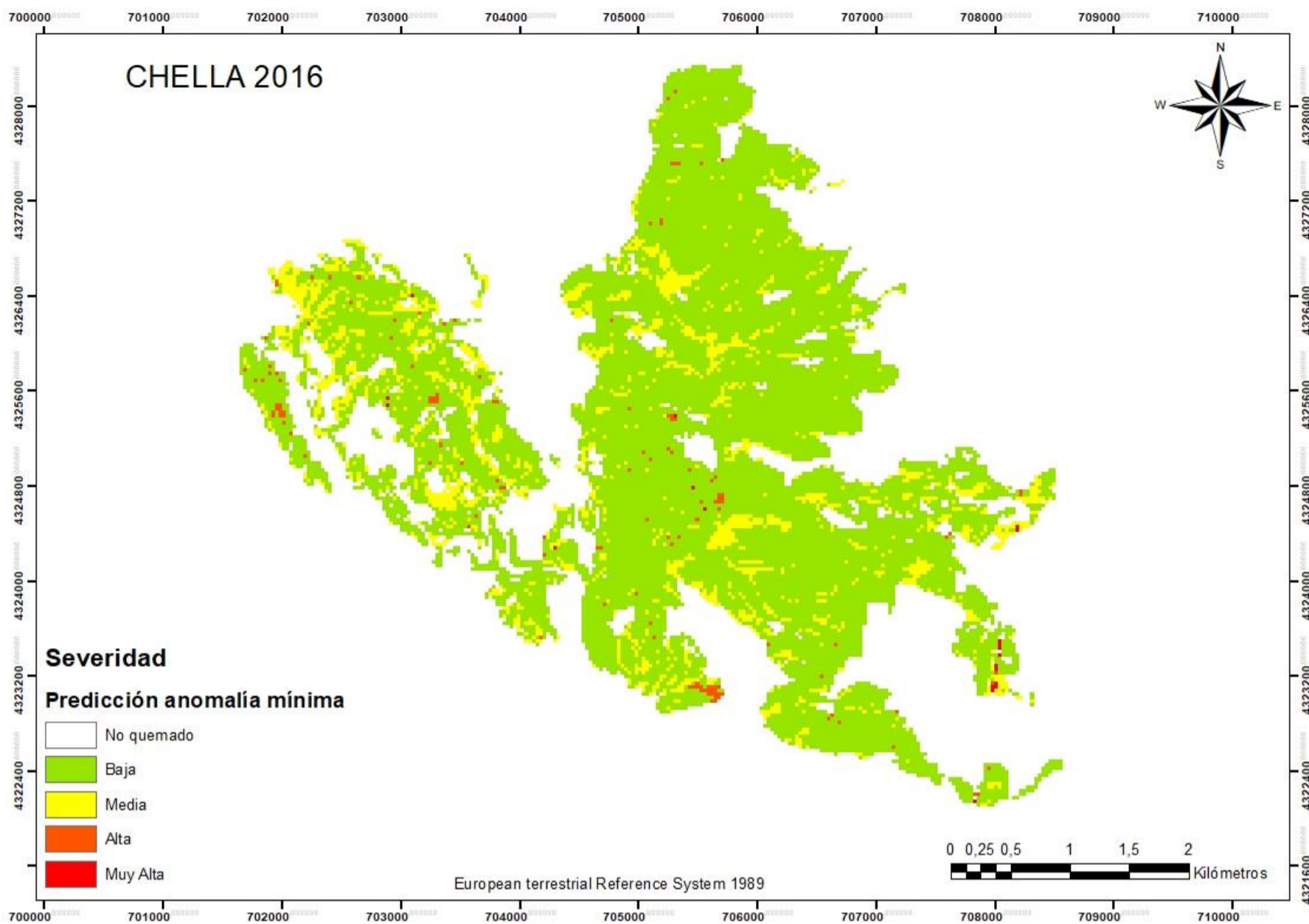


Figura 31. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).

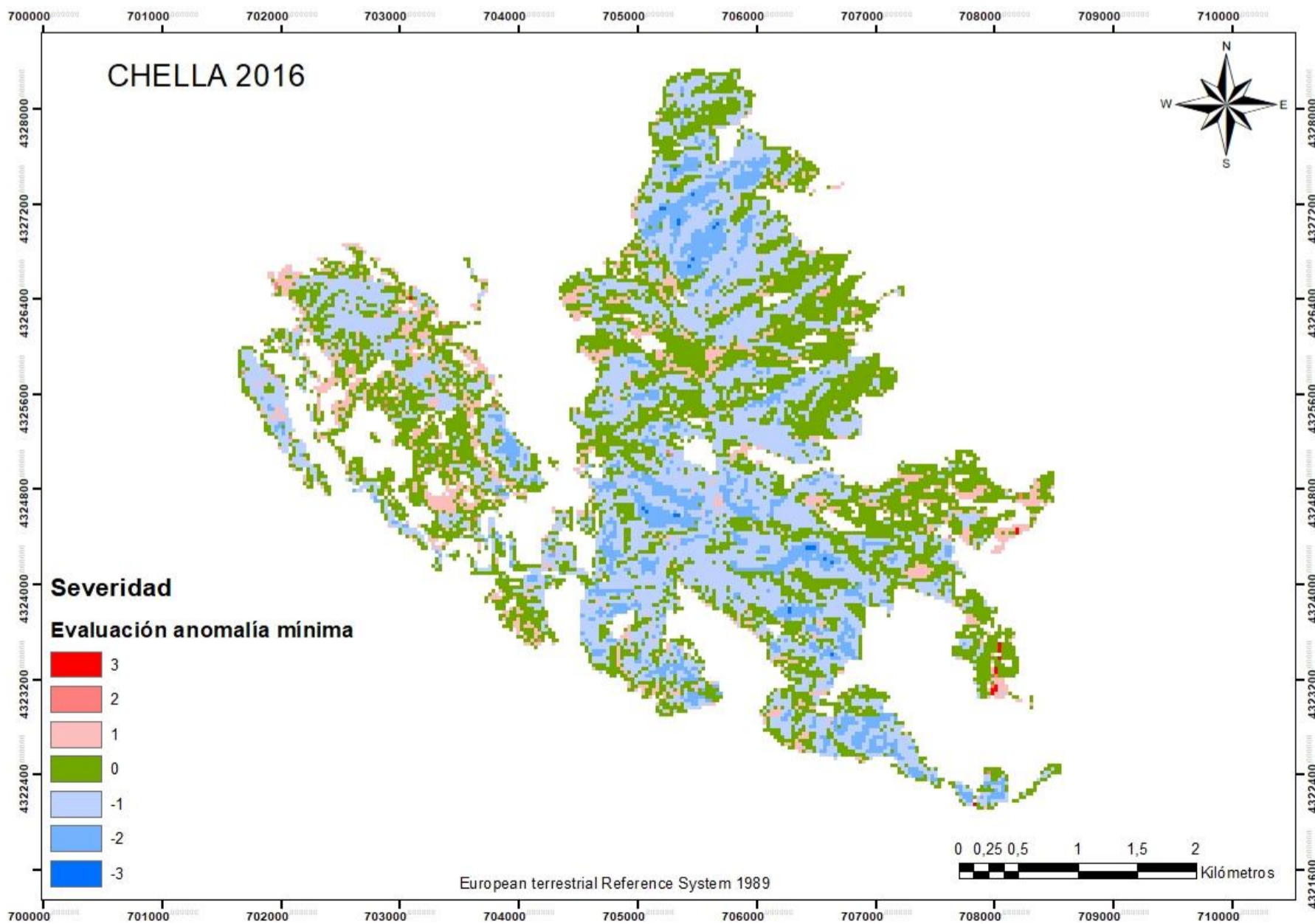


Figura 32. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).

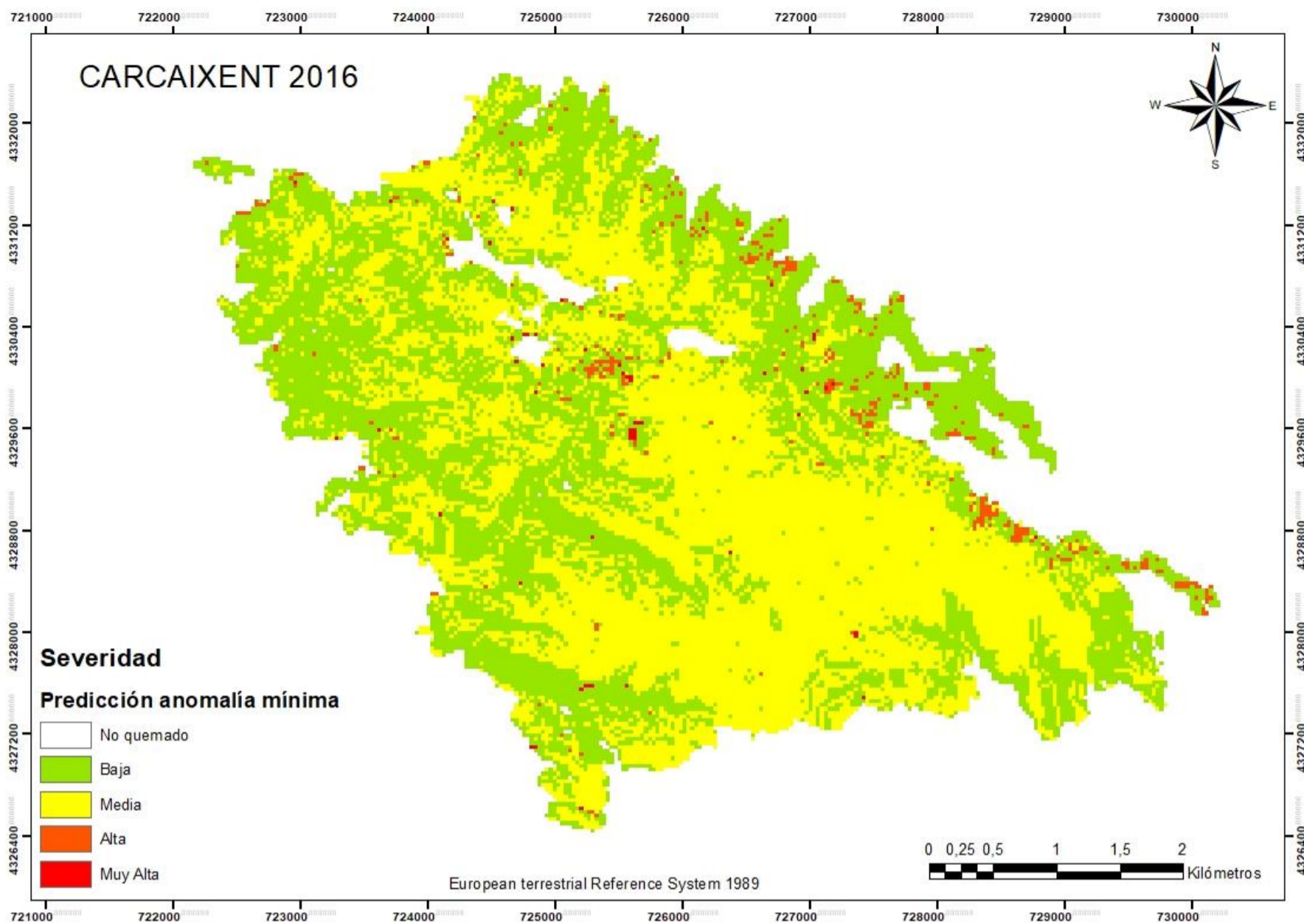


Figura 33. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).

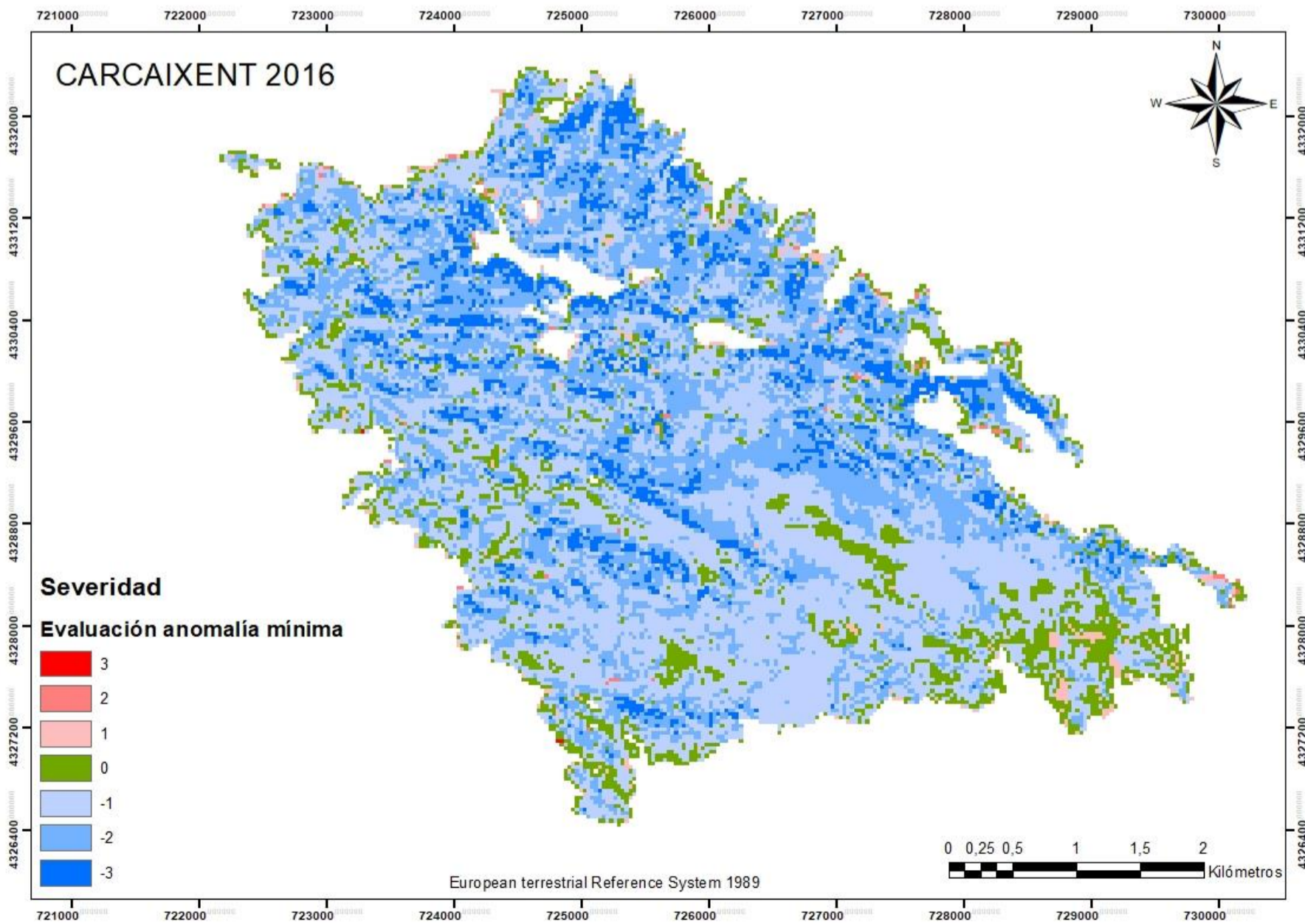


Figura 34. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).

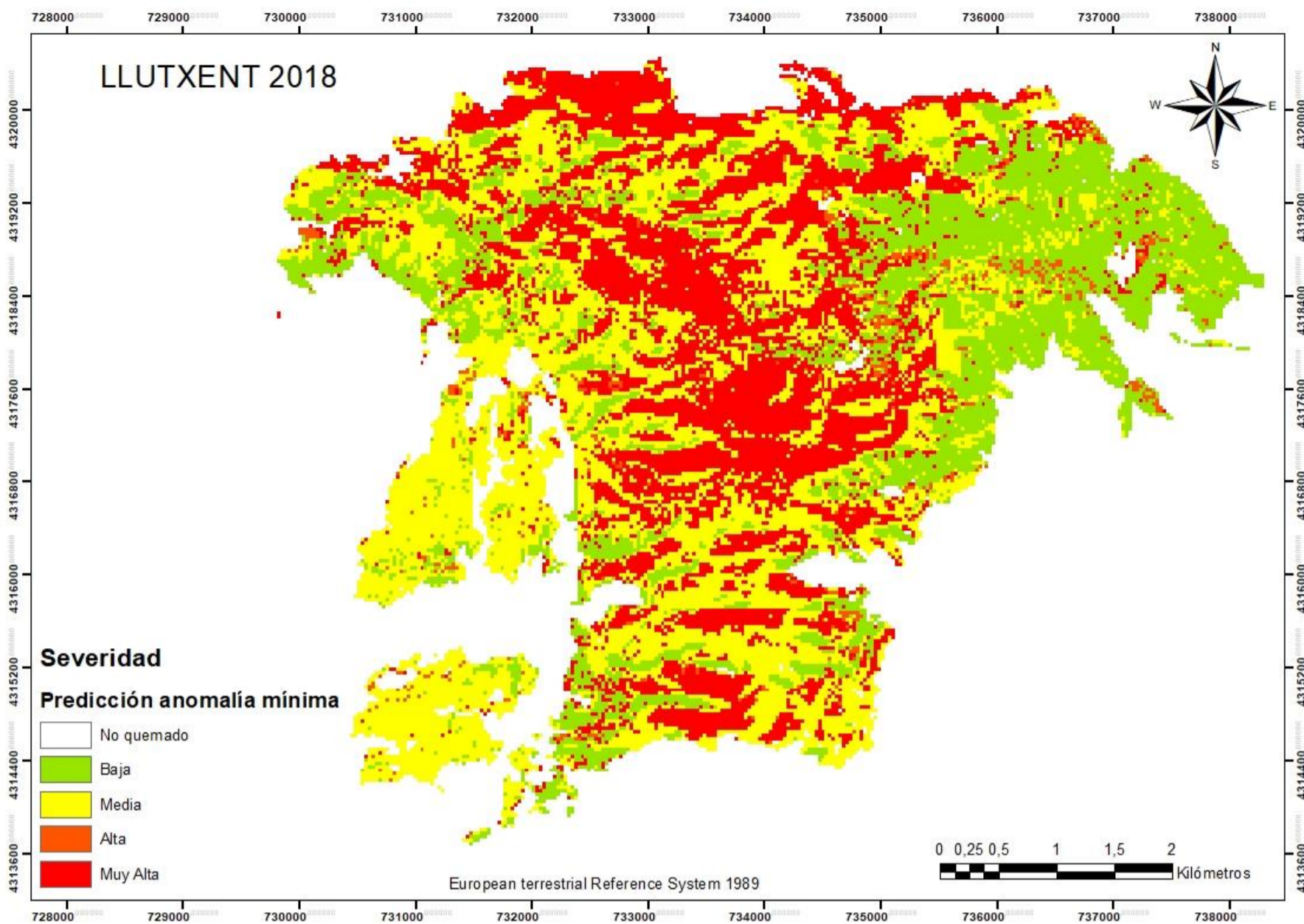


Figura 35. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

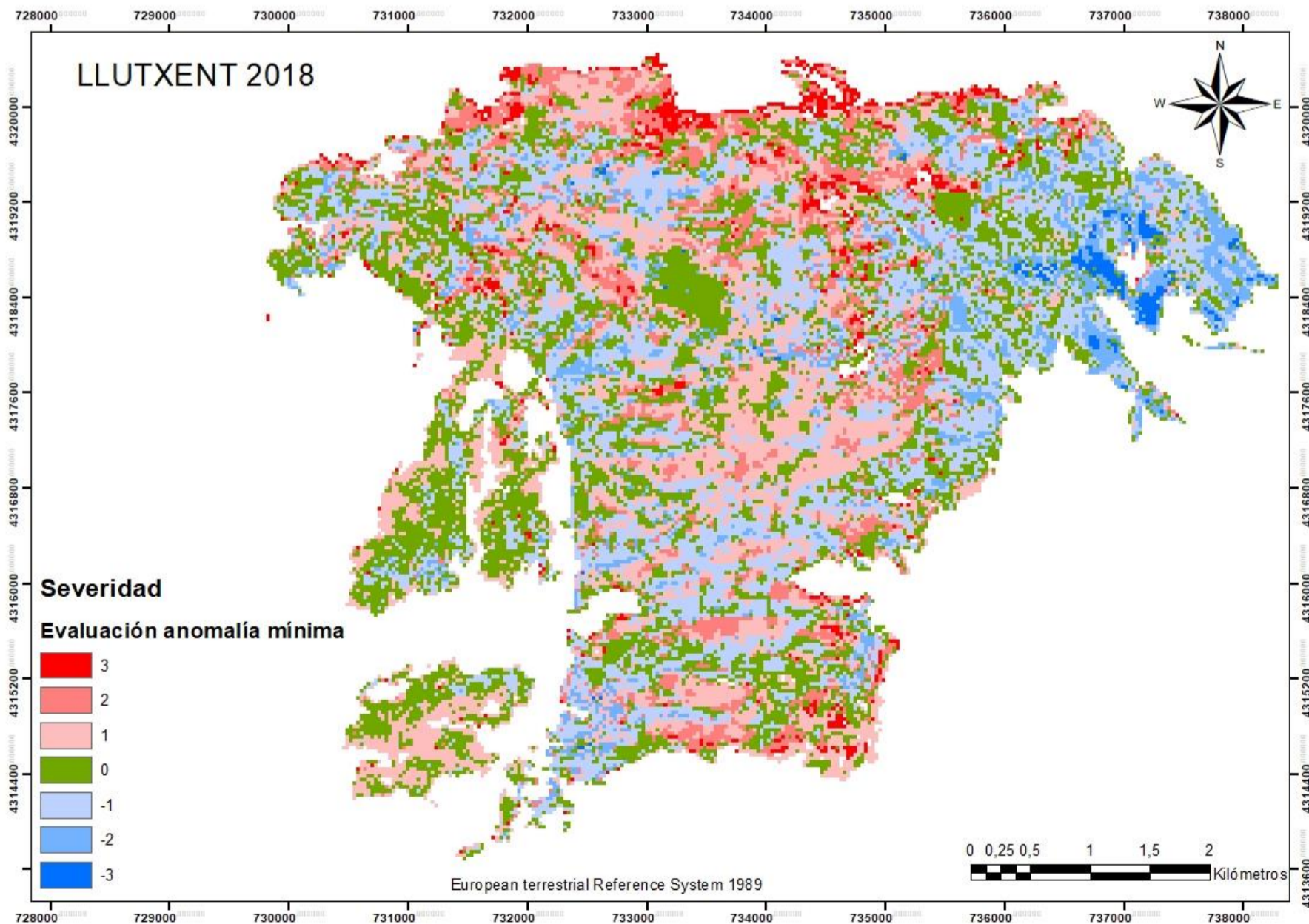


Figura 36. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

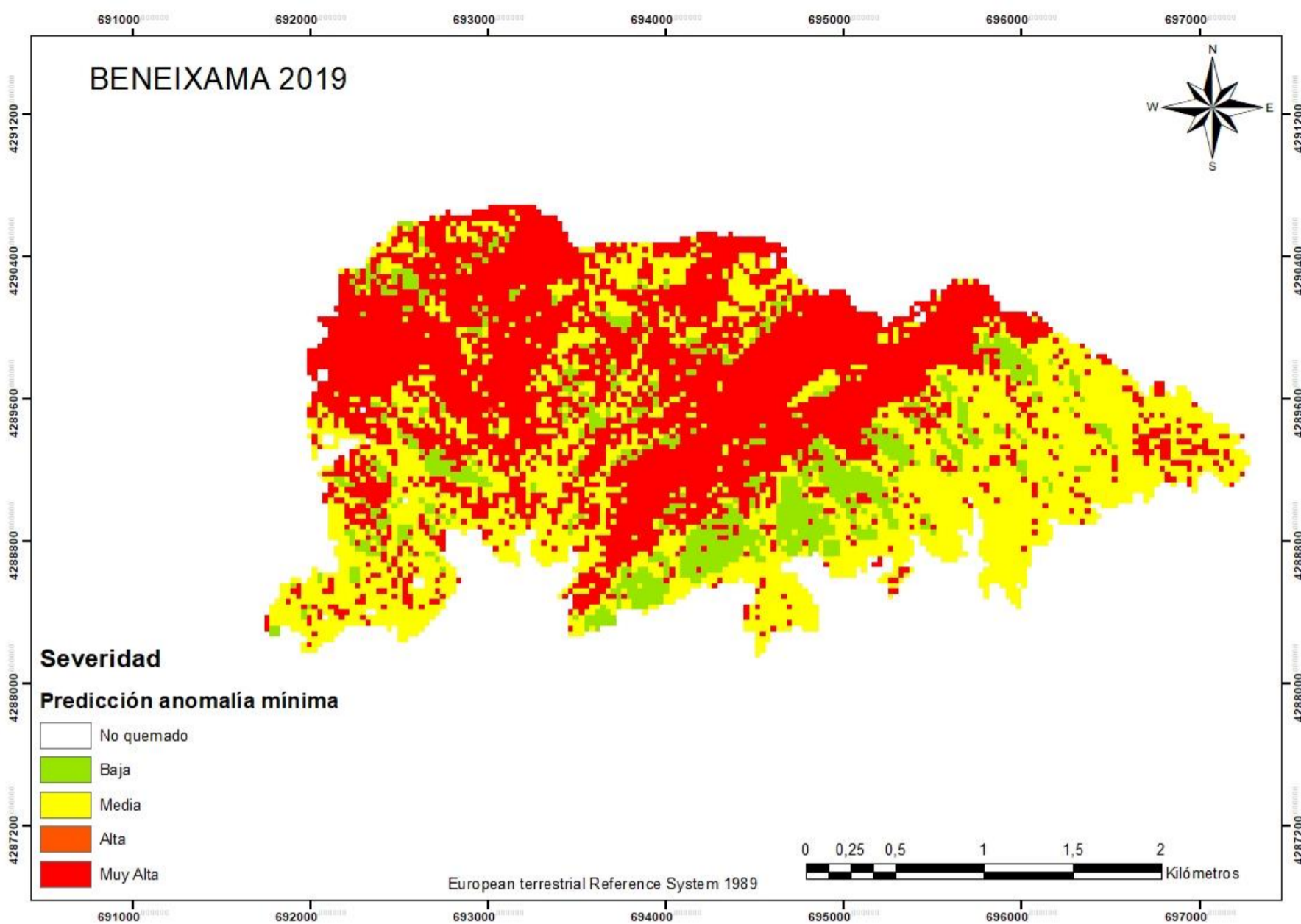


Figura 37. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).

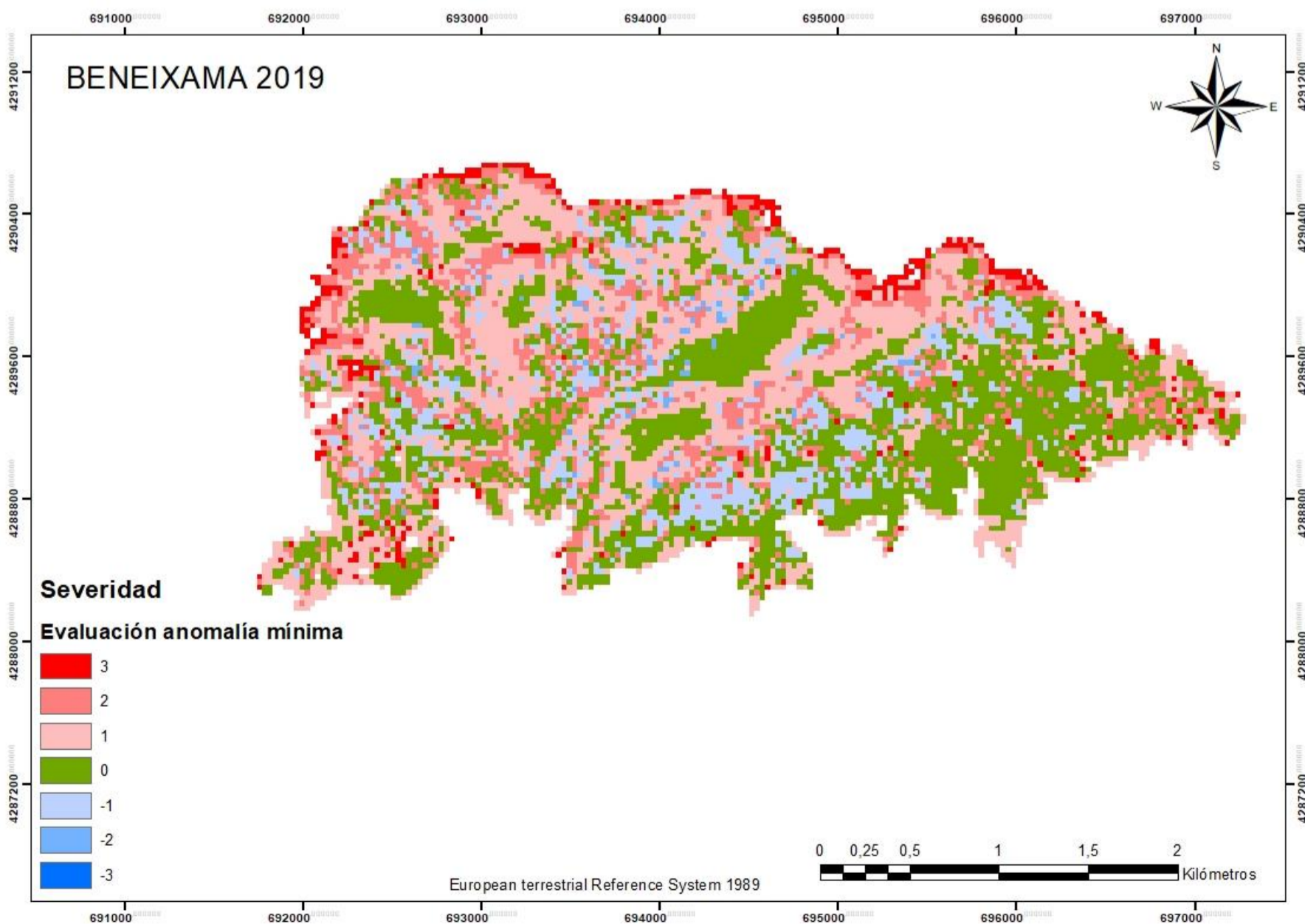


Figura 38. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).

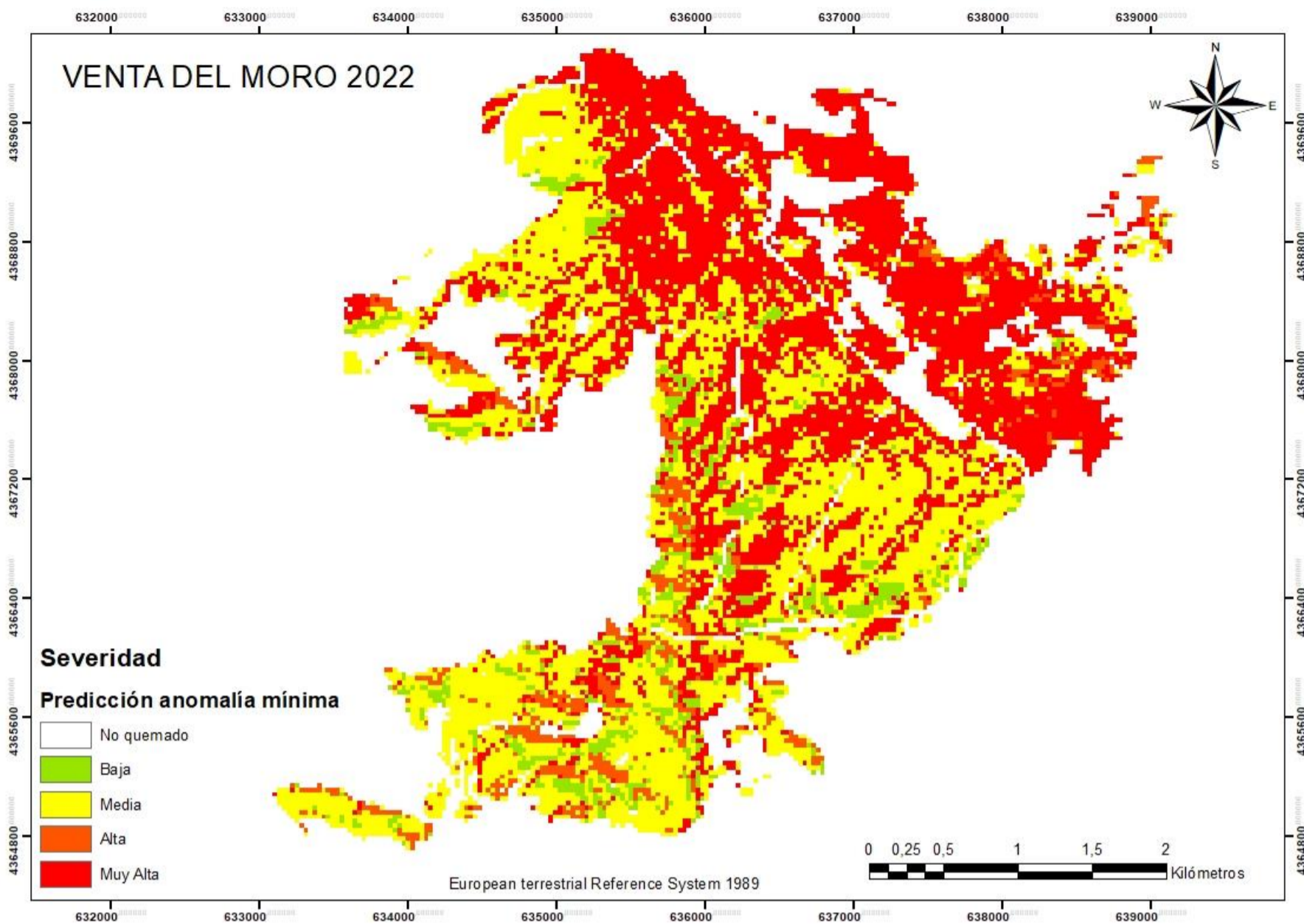


Figura 39. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).

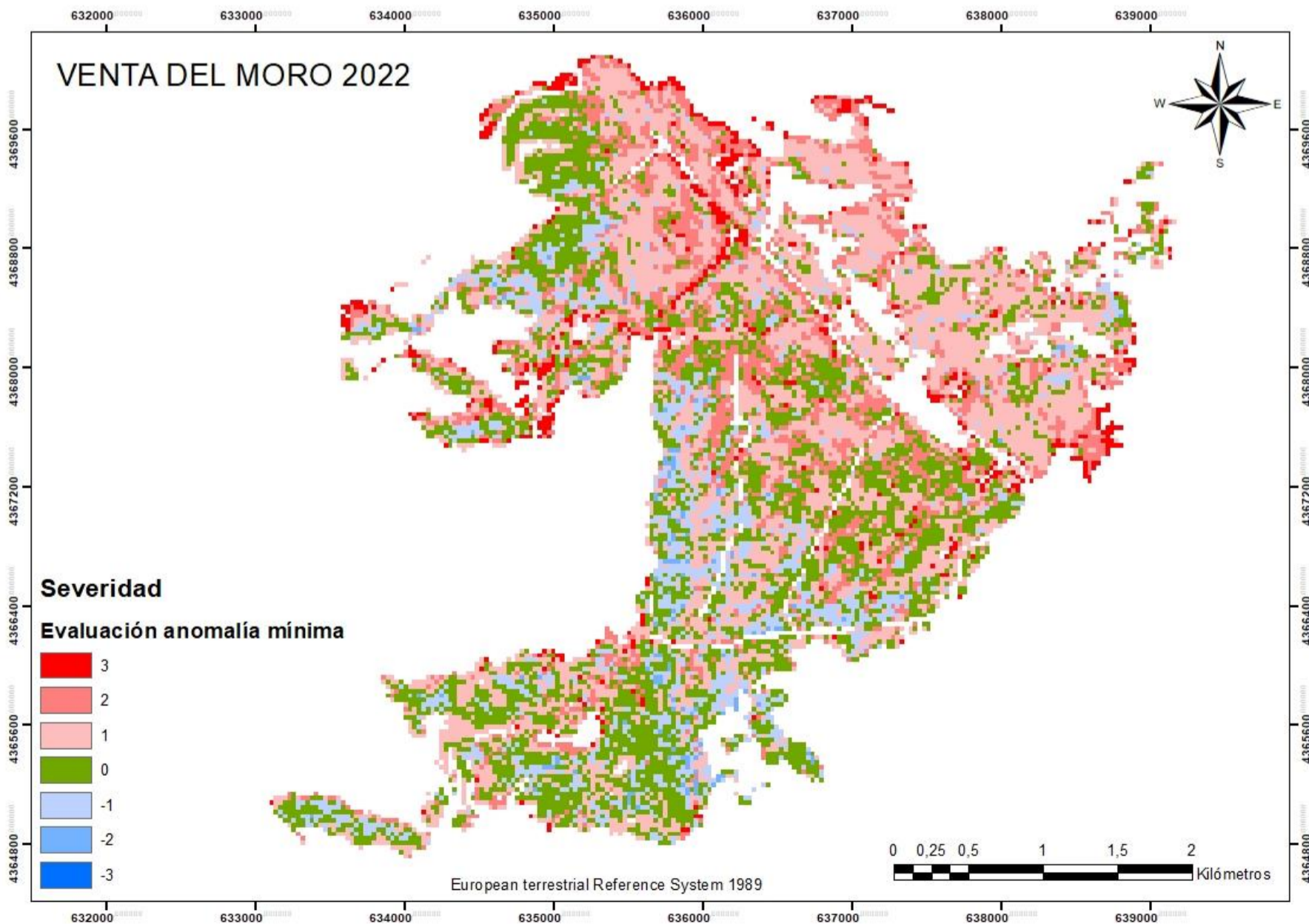


Figura 40. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).

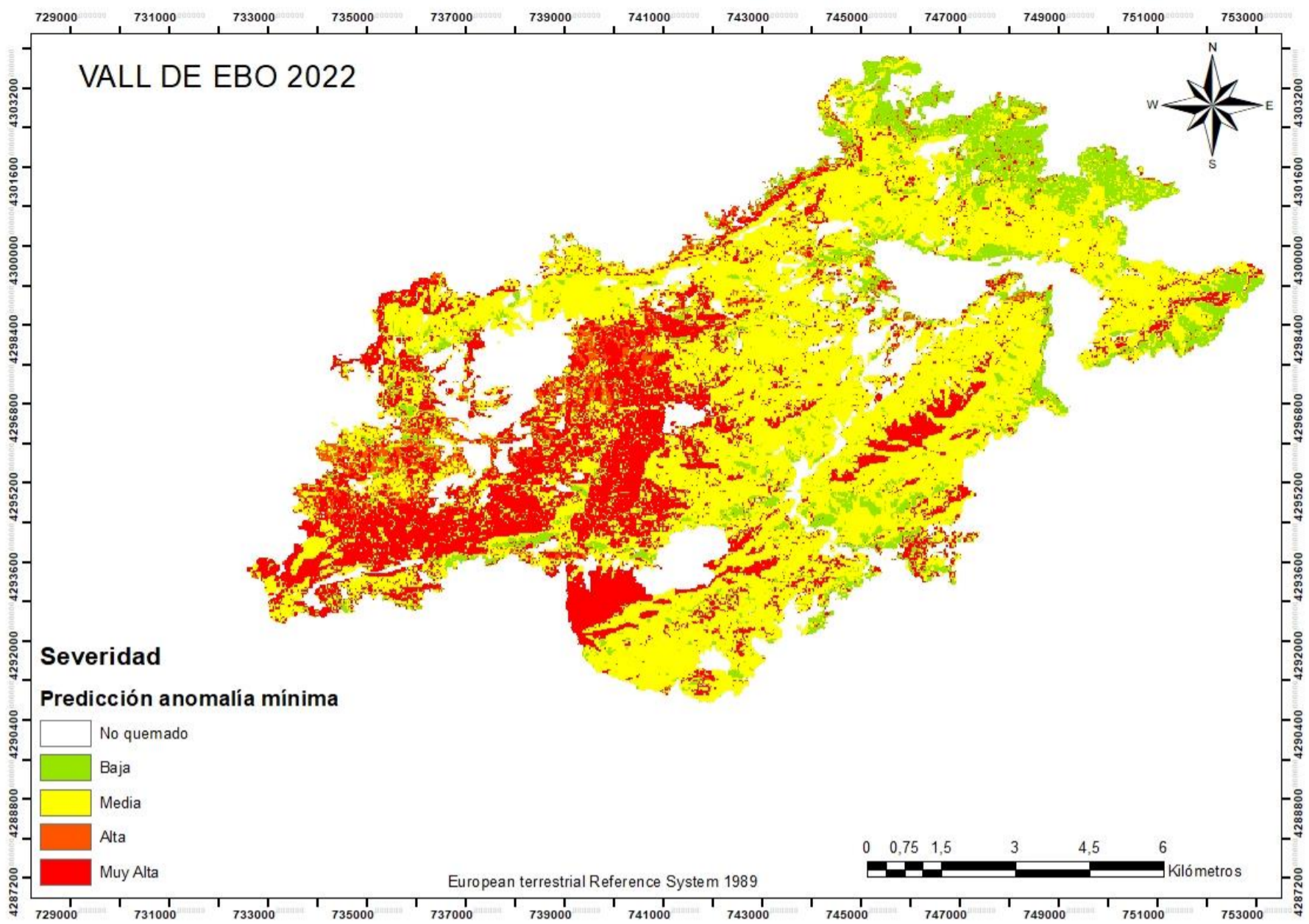


Figura 41. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).

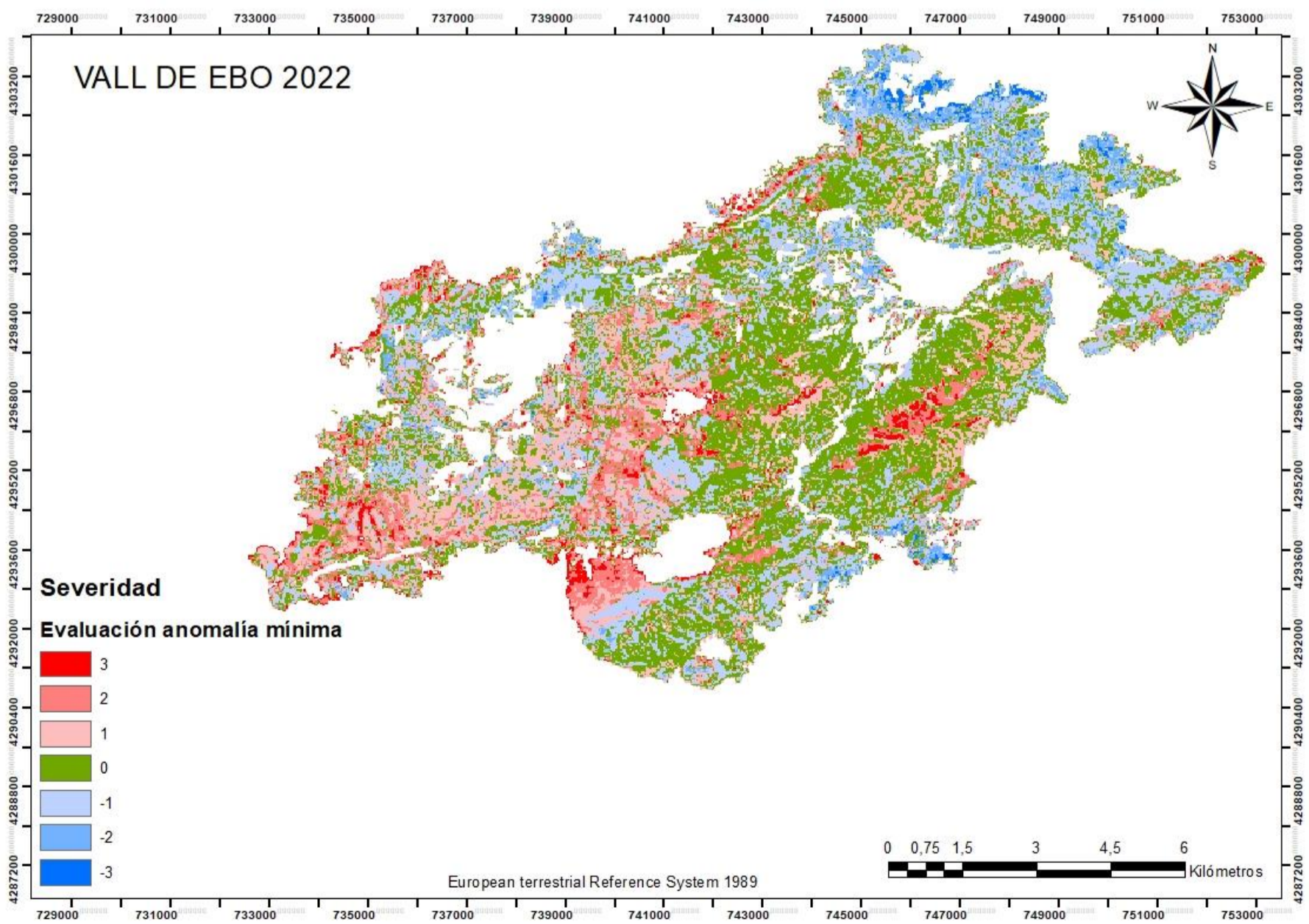


Figura 42. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

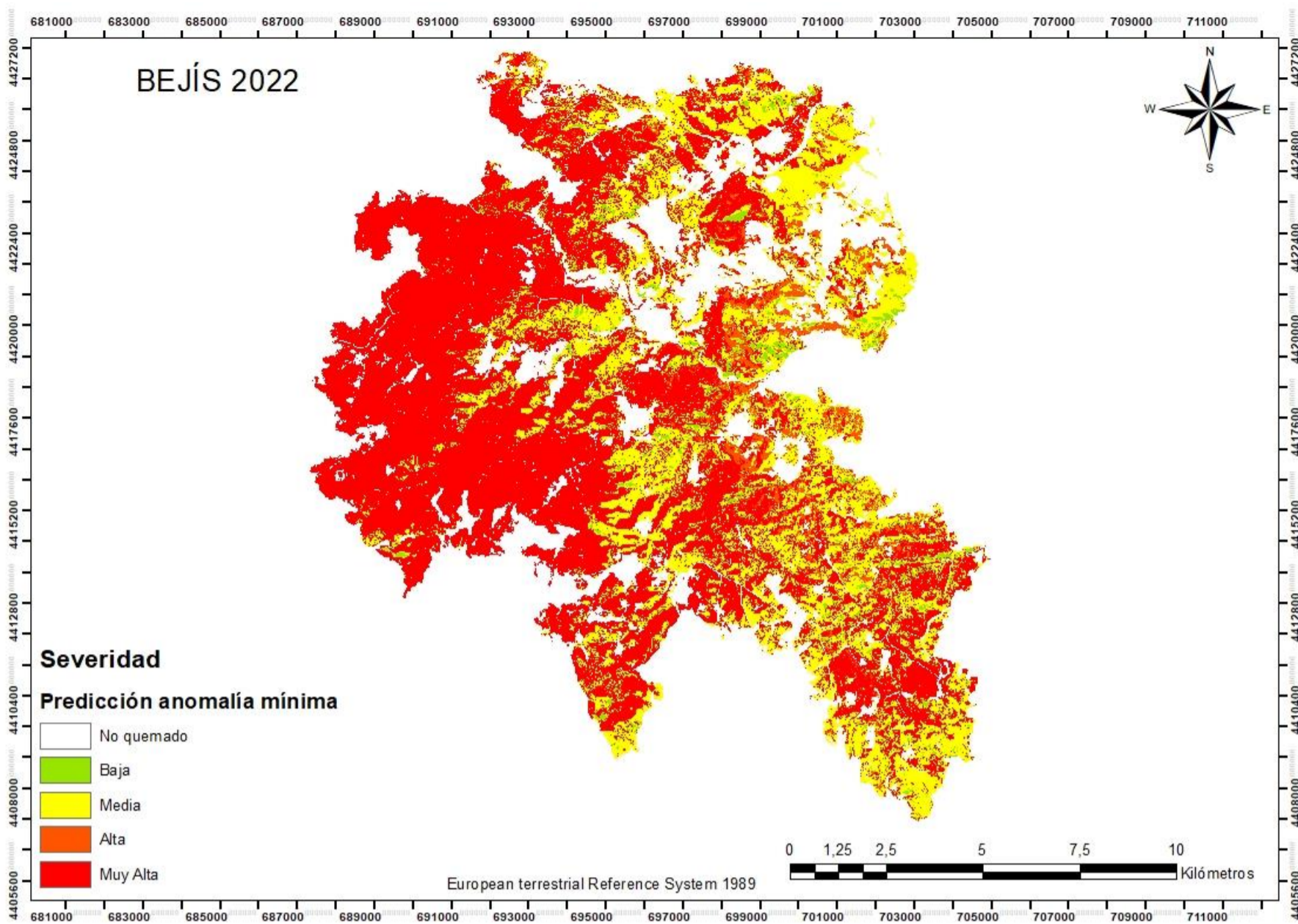


Figura 43. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).

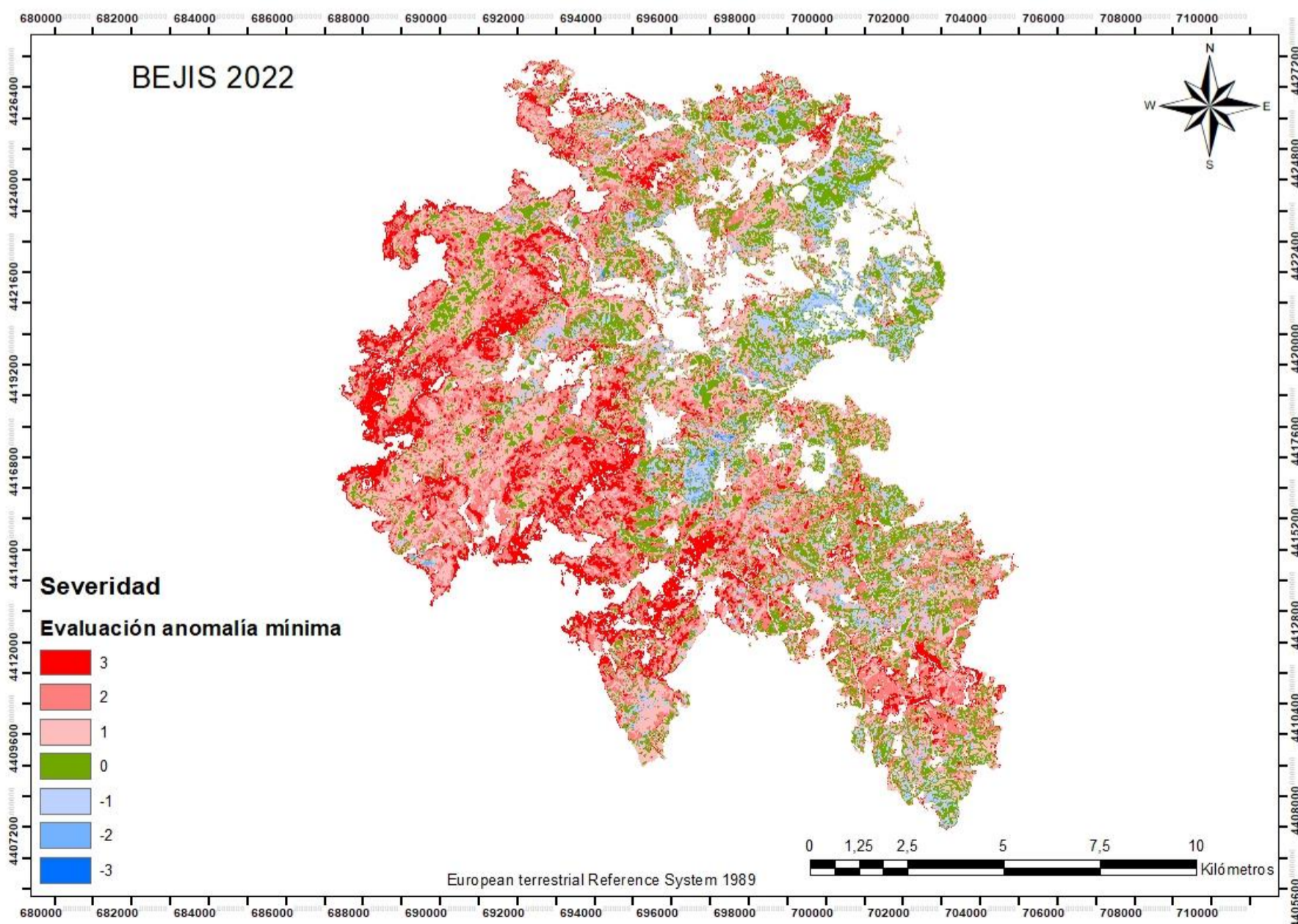


Figura 44. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).

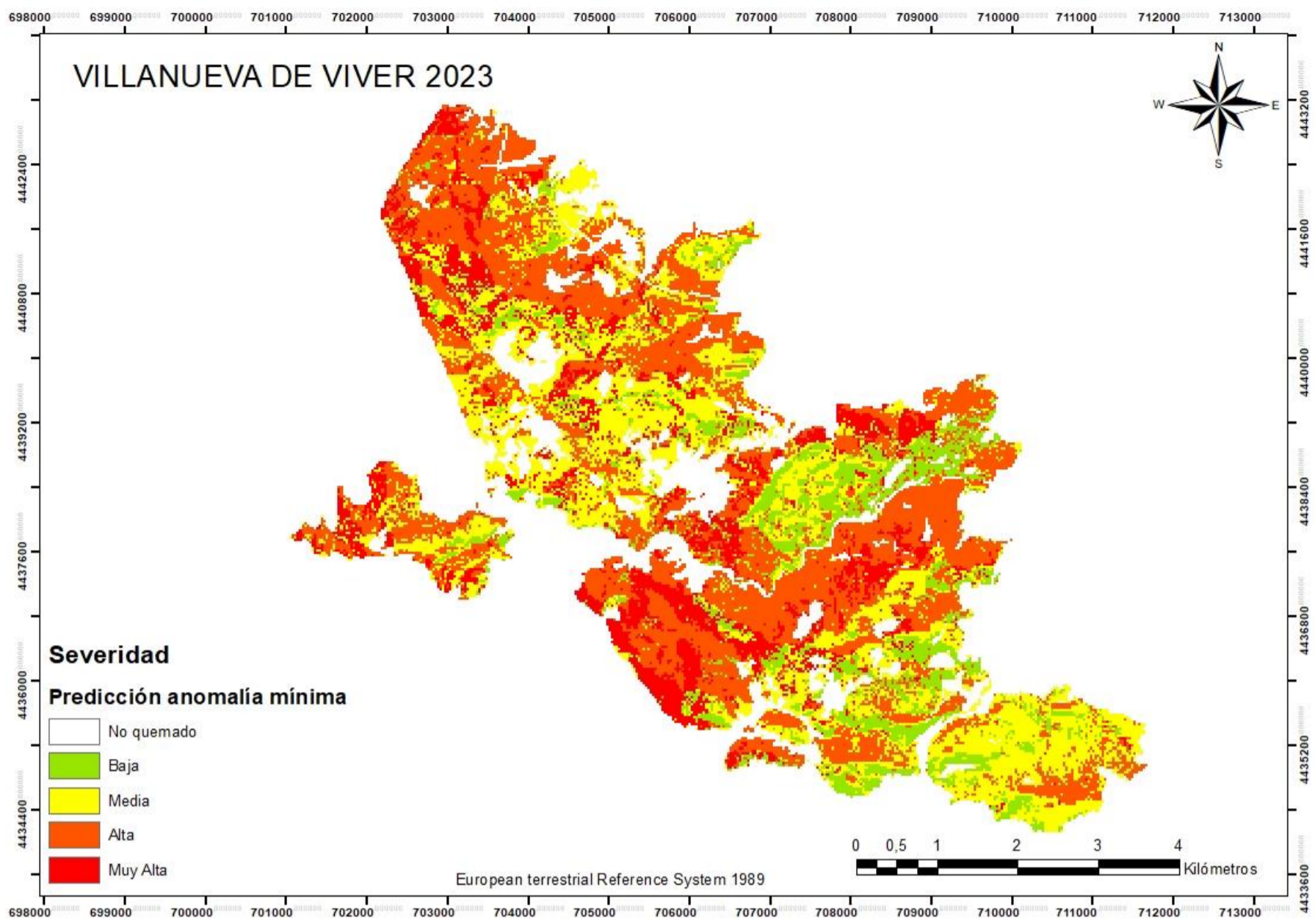


Figura 45. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).

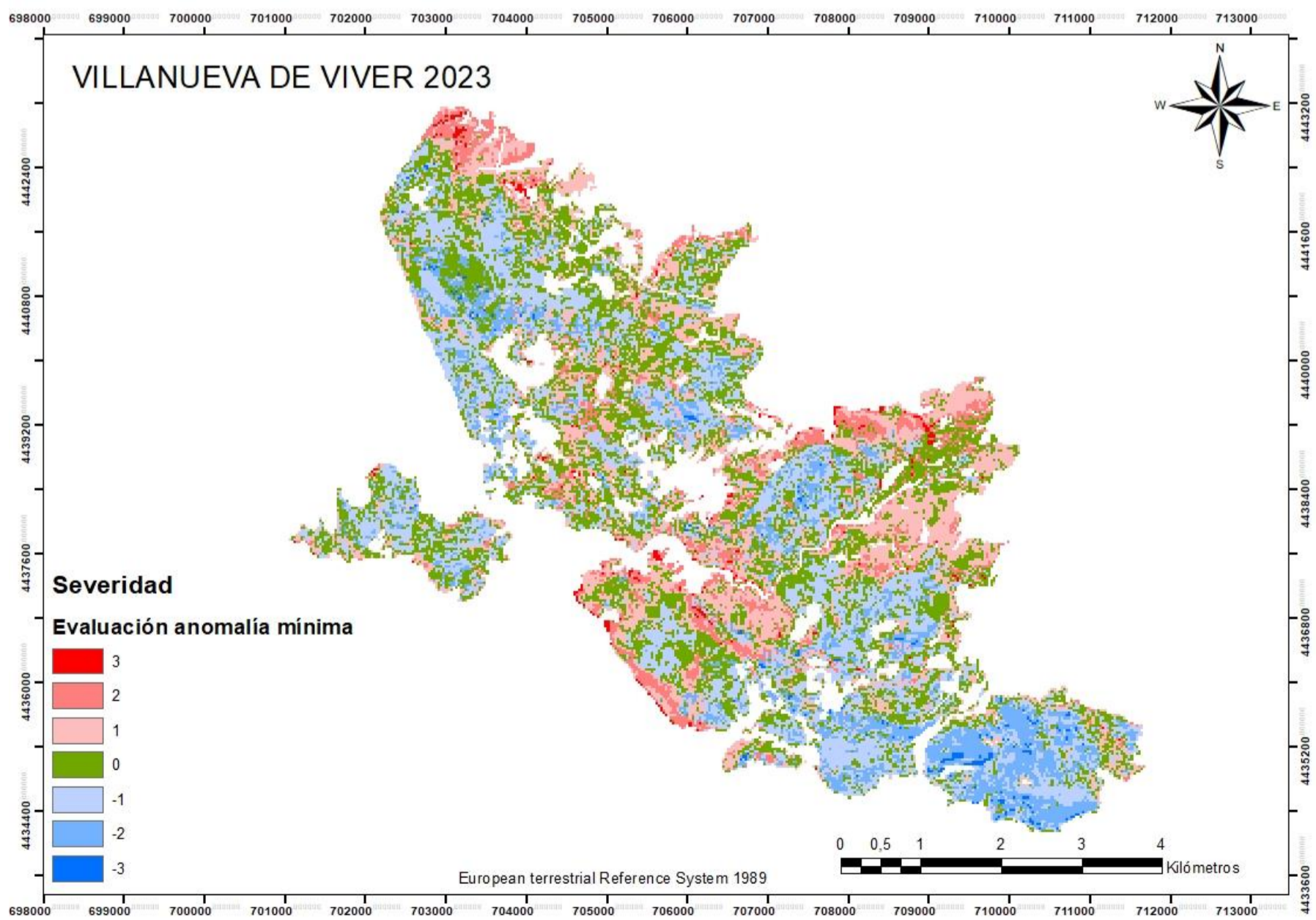


Figura 46. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).

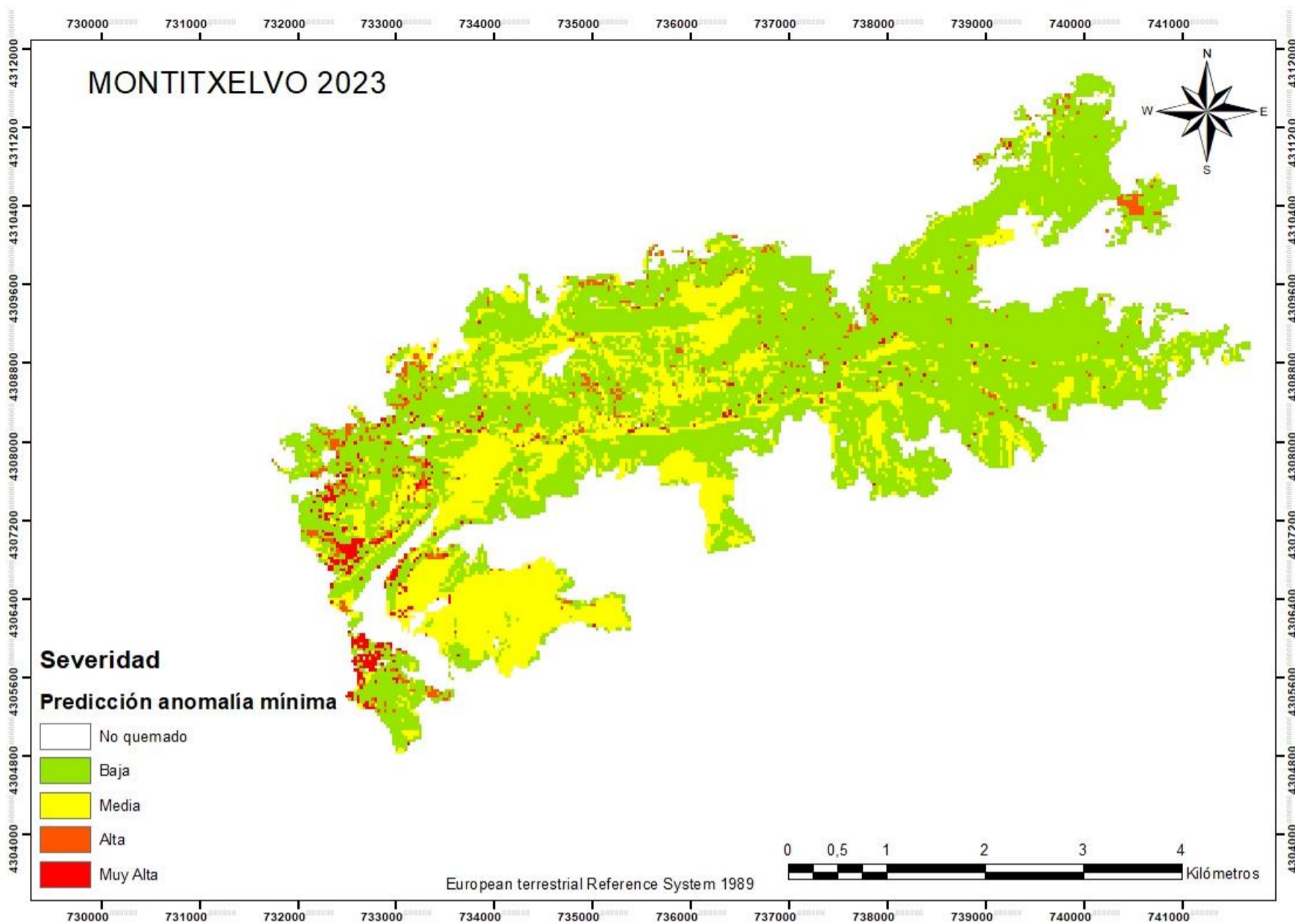


Figura 47. Severidad potencial con la anomalía mínima, para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).

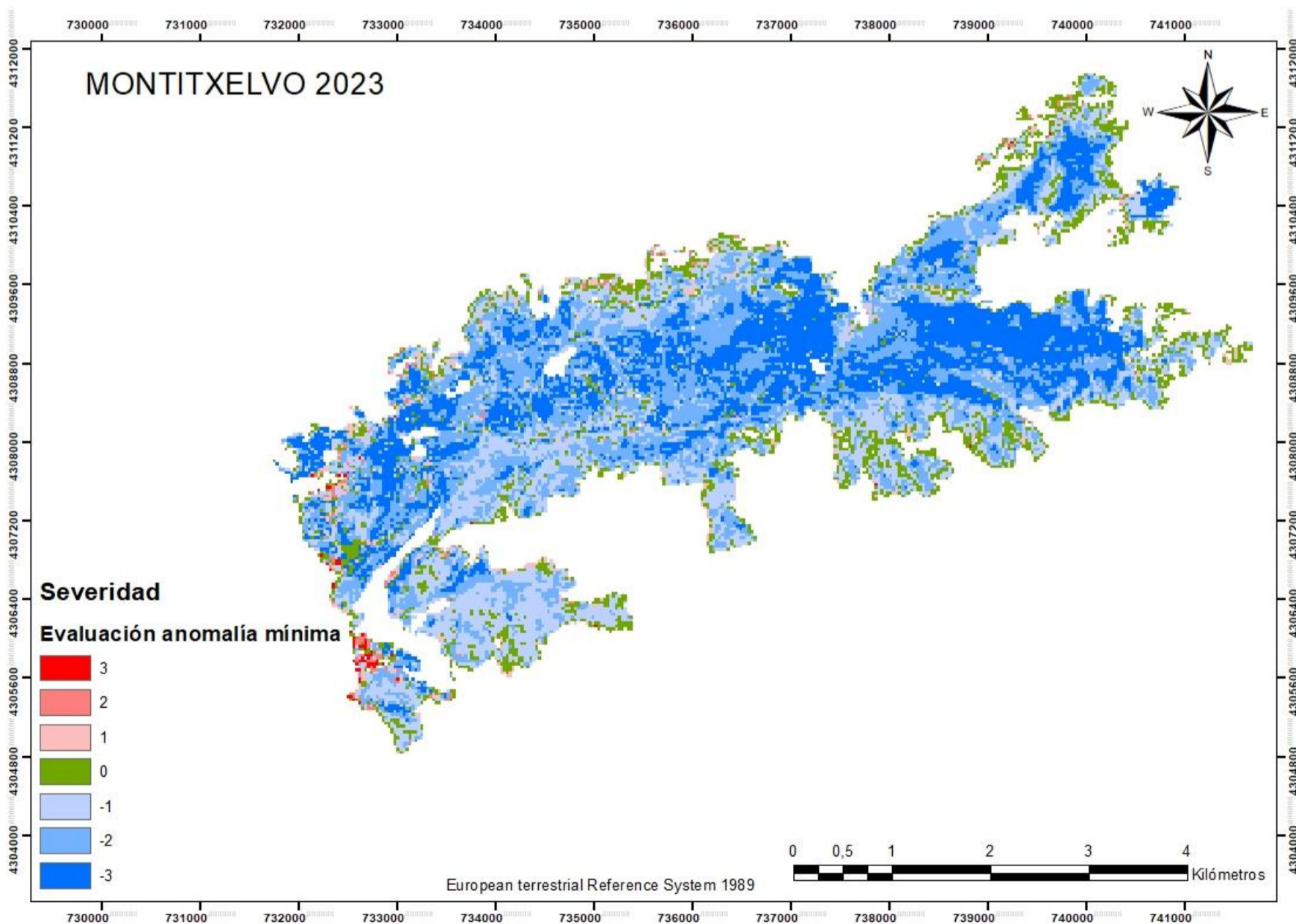


Figura 48. Evaluación entre el valor de severidad dNBR y la predicción con la anomalía mínima, para el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Chella 2016

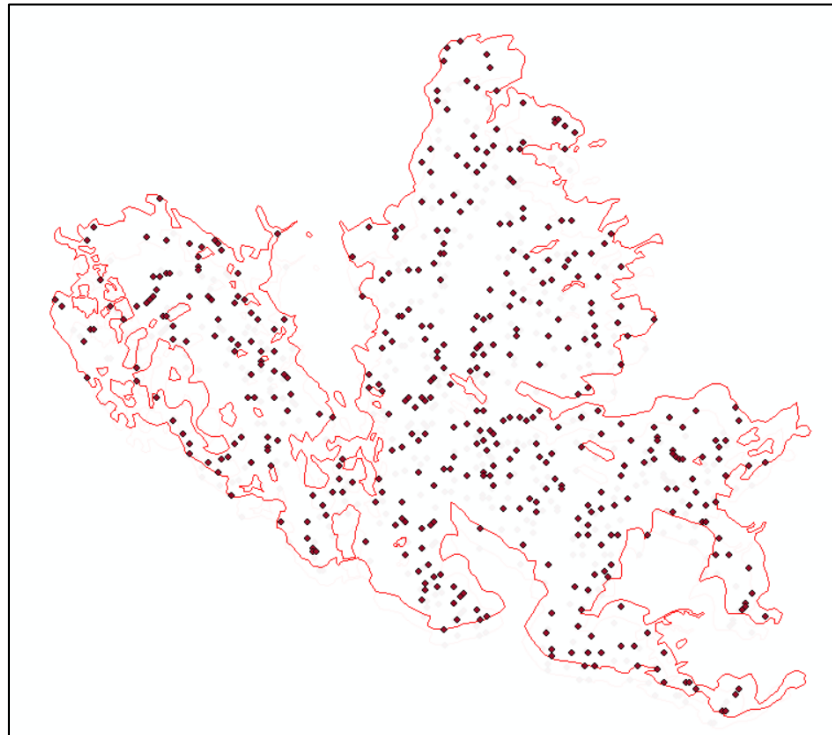


Figura 49. Puntos de evaluación en el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 29. Matriz de confusión para el incendio de Chella, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Chella 2016						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	115	128	29	1	273	158
2	25	15	4	0	44	29
3	2	5	2	0	9	7
4	4	1	2	0	7	7
Total	146	149	37	1	333	
Error de omisión	31	134	35	1		

Tabla 30. Resumen de la concordancia en el incendio de Chella. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _c)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	21,23	57,88					
2	89,93	65,91					
3	94,59	77,78	0,3964	0,4216	-0,0436	-4,36	0,0463
4	100,00	100,00					

Carcaixent 2016

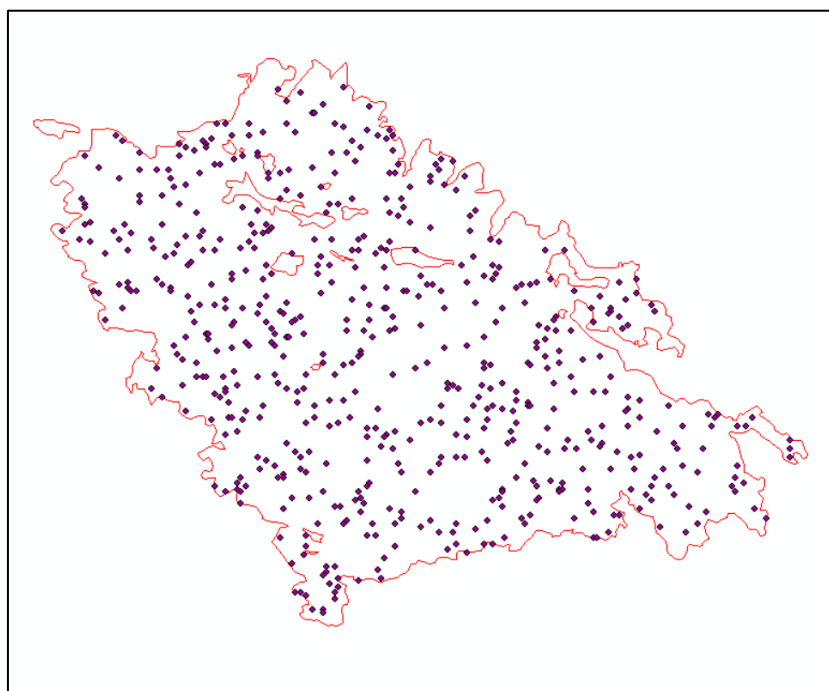


Figura 50. Puntos de evaluación en el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 31. Matriz de confusión para el incendio de Carcaixent, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Carcaixent 2016						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	15	60	86	54	215	200
2	2	48	134	54	238	190
3	1	3	1	2	7	6
4	1	0	4	3	8	5
Total	19	111	225	113	468	
Error de omisión	4	63	224	110		

Tabla 32. Resumen de la concordancia en el incendio de Carcaixent. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	21,05	93,02					
2	56,76	79,83					
3	99,56	85,71	0,1432	0,1506	-0,0087	-0,8740	0,0191
4	97,35	62,50					

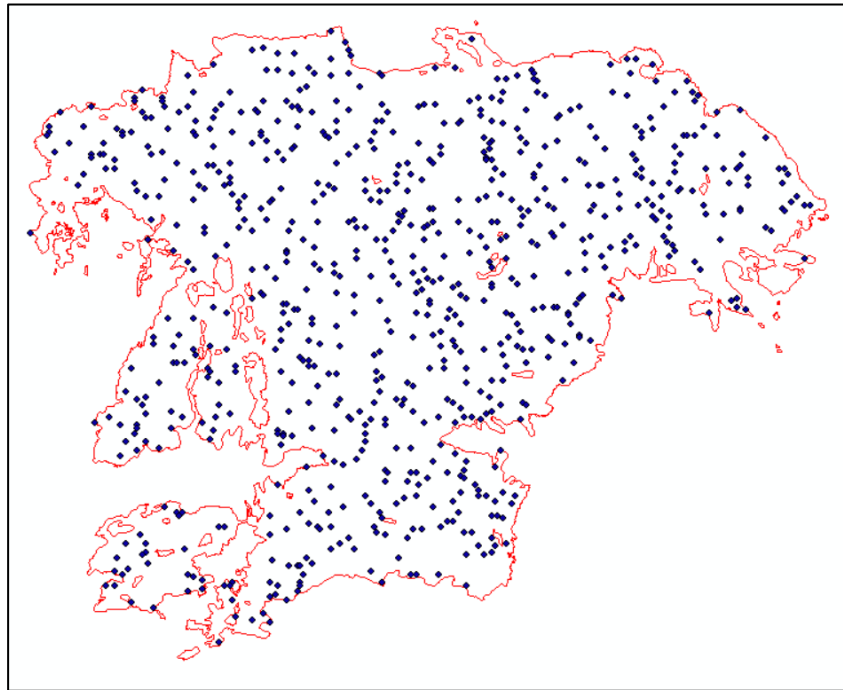
Llutxent 2018

Figura 51. Puntos de evaluación en el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 33. Matriz de confusión para el incendio de Llutxent, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Llutxent 2018						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	27	80	45	10	162	135
2	51	102	85	5	243	141
3	0	7	6	2	15	9
4	17	51	98	21	187	166
Total	95	240	234	38	607	
Error de omisión	68	138	228	17		

Tabla 34. Resumen de la concordancia en el incendio de Llutxent. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	71,58	83,33					
2	57,50	58,02	0,2570	0,2289	0,0365	3,65	0,0230
3	97,44	60,00					
4	44,74	88,77					

Beneixama 2019

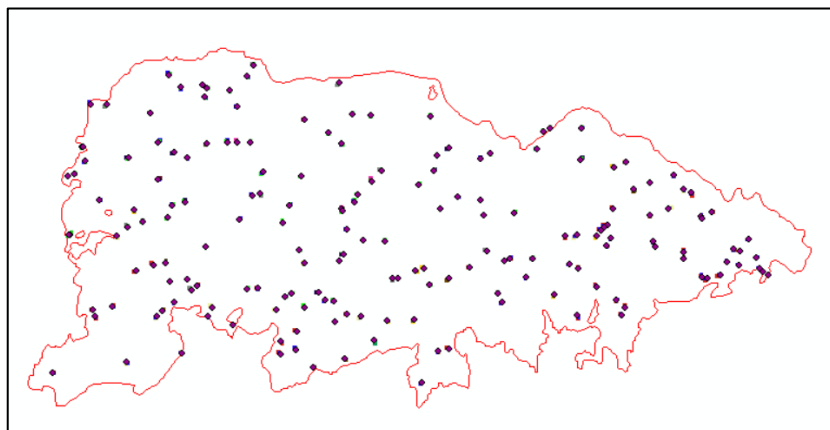


Figura 52. Puntos de evaluación en el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 35. Matriz de confusión para el incendio de Beneixama, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Beneixama 2019						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	4	12	3	0	19	15
2	11	40	8	1	60	20
3	0	0	0	0	0	0
4	2	18	20	9	49	40
Total	17	70	31	10	128	
Error de omisión	13	30	31	1		

Tabla 36. Resumen de la concordancia en el incendio de Beneixama. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _c)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	76,47	78,95					
2	42,86	33,33					
3	100,00	-	0,4141	0,3060	0,1557	15,57	0,0627
4	10,00	81,63					

Venta del Moro 2022

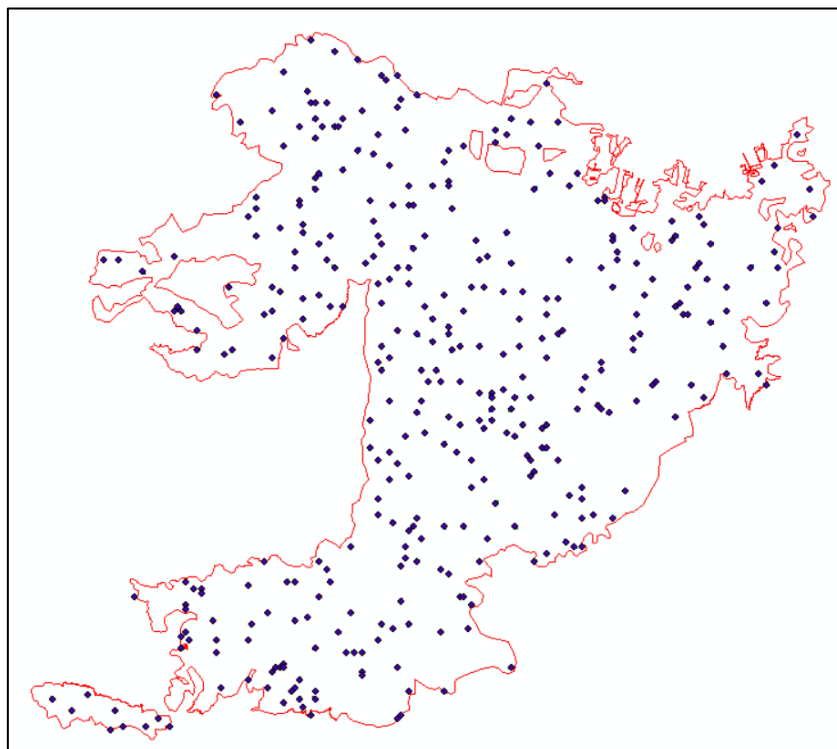


Figura 53. Puntos de evaluación en el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 37. Matriz de confusión para el incendio de Venta del Moro, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Venta del Moro 2022						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	1	8	2	0	11	10
2	31	67	27	1	126	59
3	2	5	10	0	17	7
4	7	49	63	7	126	119
Total	41	129	102	8	280	
Error de omisión	40	62	92	1		

Tabla 38. Resumen de la concordancia en el incendio de Venta del Moro. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _c)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	97,56	90,91					
2	48,06	46,83					
3	90,20	41,18	0,3036	0,2480	0,0738	7,38	0,0365
4	12,50	94,44					

Vall de Ebo 2022

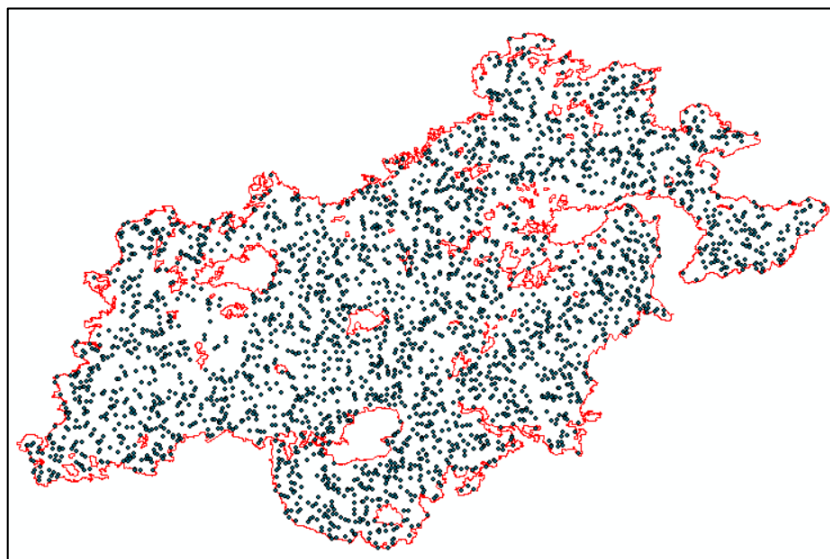


Figura 54. Puntos de evaluación en el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 39. Matriz de confusión para el incendio de Vall de Ebo, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Vall de Ebo 2022						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	67	110	99	15	291	224
2	181	698	426	27	1332	634
3	9	18	36	12	75	39
4	65	221	239	51	576	525
Total	322	1047	800	105	2274	
Error de omisión	255	349	764	54		

Tabla 40. Resumen de la concordancia en el incendio de Vall de Ebo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	79,19	76,98					
2	33,33	47,60					
3	95,50	52,00	0,3747	0,3111	0,0923	9,23	0,0147
4	51,43	91,15					

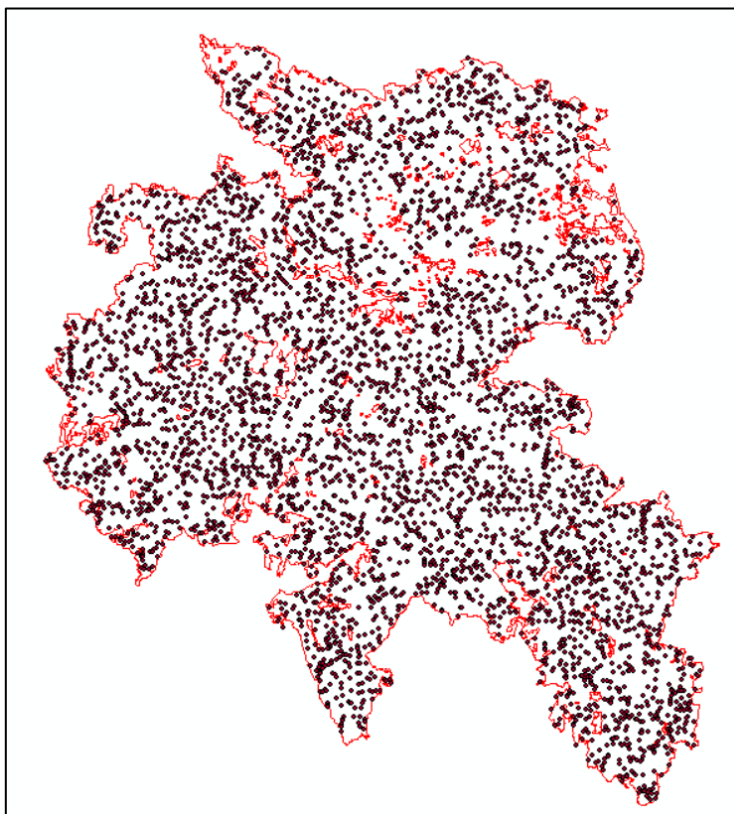
Bejís 2022

Figura 55. Puntos de evaluación en el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 41. Matriz de confusión para el incendio de Bejís, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Bejís 2022						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	29	57	23	1	110	81
2	276	504	248	27	1055	551
3	20	60	65	24	169	104
4	472	831	775	197	2275	2078
Total	797	1452	1111	249	3609	
Error de omisión	768	948	1046	52		

Tabla 42. Resumen de la concordancia en el incendio de Bejís. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _c)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	96,36	73,64					
2	65,29	52,23					
3	94,15	61,54	0,2203	0,1822	0,0465	4,65	0,0084
4	20,88	91,34					

Villanueva de Viver 2023

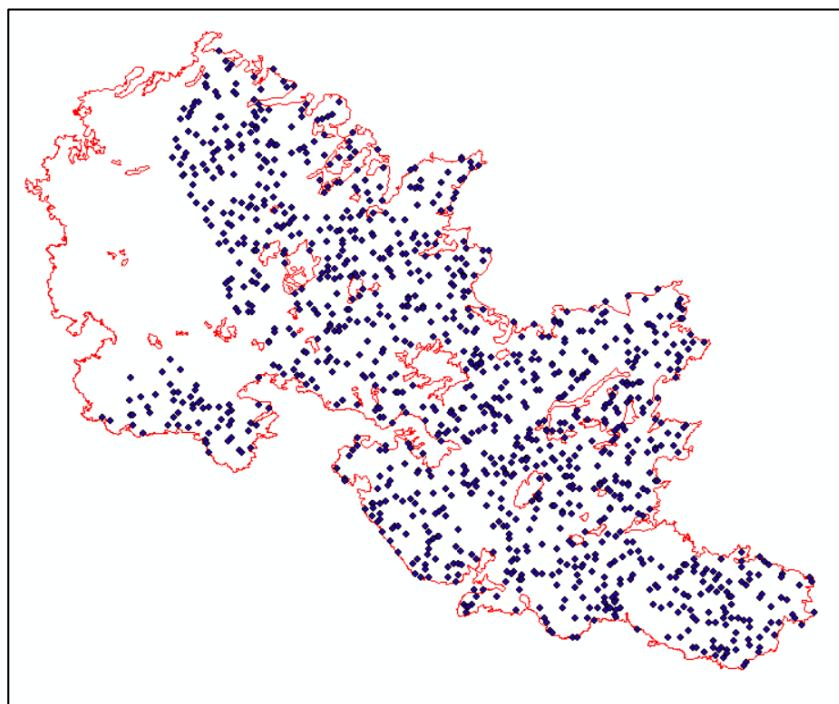


Figura 56. Puntos de evaluación en el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 43. Matriz de confusión para el incendio de Villanueva de Viver, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Villanueva de Viver 2023						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	29	29	42	5	105	76
2	20	87	103	62	272	185
3	20	104	133	98	355	222
4	6	40	49	41	136	95
Total	75	260	327	206	868	
Error de omisión	46	173	194	165		

Tabla 44. Resumen de la concordancia en el incendio de Villanueva de Viver. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _e)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	61,33	72,38					
2	66,54	68,01					
3	59,33	62,54	0,3341	0,2956	0,0547	5,47	0,0227
4	80,10	69,85					

Montitxelvo 2023

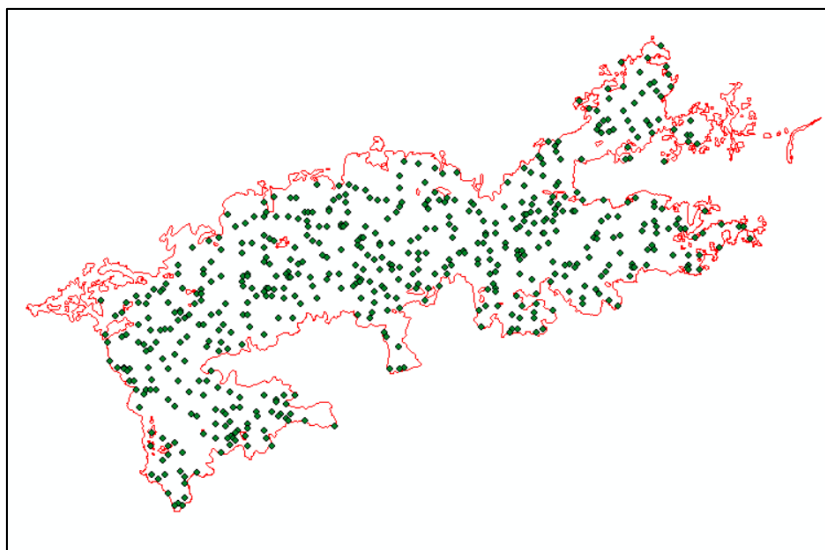


Figura 57. Puntos de evaluación en el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 45. Matriz de confusión para el incendio de Montitxelvo, con la predicción obtenida mediante la anomalía climática mínima. Fuente: Elaboración propia (2024).

Matriz de confusión – Montitxelvo 2023						
	1	2	3	4	Total	Error de comisión
1	25	48	91	133	297	272
2	3	12	53	51	119	107
3	1	1	4	4	10	6
4	2	1	1	2	6	4
Total	31	62	149	190	432	
Error de omisión	6	50	145	188		

Tabla 46. Resumen de la concordancia en el incendio de Montitxelvo. Fuente: Elaboración propia (2024).

Clase	Error de omisión (%)	Error de comisión (%)	Precisión (P ₀)	Probabilidad al azar (P _c)	Coficiente Kappa	Coficiente Kappa (%)	Error estándar
1	19,35	91,58	0,0995	0,1030	-0,0038	-0,38	0,0161
2	80,65	89,92					
3	97,32	60,00					
4	98,95	66,67					