

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2021-2022

Estudio de incendios forestales en la Península Ibérica aplicando técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica: Caso del incendio de Casavieja (Ávila) 2005.

Study of forest fires in the Iberian Peninsula applying remote sensing techniques and Geographic Information Systems: Case of Casavieja fire (Ávila) 2005.

Jiménez Martínez, Diego.

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE

TUTORA: María del Pilar García Rodríguez.

Departamento de Geografía de la Facultad de Geografía e Historia (UCM)



Agradecimientos

En septiembre de 2021 comencé el máster lleno de dudas por el curso horrible que había pasado anteriormente (2020-2021) con distintos problemas de salud, de los que aún me recuperaba, y experiencias que es mejor olvidar con el grado. Sin embargo, pasados los meses fui ganando confianza en todos los niveles y bueno, aquí estamos.

En primer lugar, agradecer a Luis Miguel Tanarro, coordinador del máster, por la oportunidad, y al resto de profesores del máster. La dedicación, el compromiso con los alumnos y la forma de impartir las clases han sido algo a lo que, al menos del grado y la universidad de la que procedía, no estaba acostumbrado.

A Pilar, por aceptar dirigirme este trabajo, la amabilidad y la disposición desde el minuto 0, a pesar de no conocernos y de mis circunstancias fuera del ámbito académico. Trabajar sin presión, pudiendo compaginar trabajo y entrenamientos con realizar este proyecto, y sabiendo que cada vez que te surge un problema te responden de buena manera, hace que el trabajo se enfoque mejor.

A los vecinos de Casavieja (Ana Fuentes, María Muñoz, José Carlos Fuentes, María José García etc.) y en especial a José Rollón (Pepe Senagüillas), por dedicarme tiempo y proporcionarme información sobre lo ocurrido.

Y por último a mis padres y abuela, a mis AMIGOS (Daniel, José Luis, María del Carmen, Ricardo, Laura, Leticia, Lucía, Natalia, Pedro y Marcos), a mi EQUIPO, y grandes amigos (Natalia, Rubén, Elena, Carlos, Pablo, Alba, Óscar, Luna etc.), que me han aguantado y apoyado todo este tiempo. Vaya año. Ninguno lo imaginábamos. Después del esfuerzo, de noches sin dormir porque no había horas en el día para ir a clase, entrenar/trabajar y hacer trabajos, y de la dedicación, acabo el año con un máster, trabajo, una medalla en un campeonato de España absoluto de jiu-jitsu (y con ilusión de que no sea la última) y grandes momentos y recuerdos por el camino, en el que me habéis acompañado y que, sin vuestra ayuda, no hubiera sido posible recorrer.

GRACIAS por todo.

Contenido

Resumen	2
Introducción.....	3
Incendios forestales: factores que los controlan	4
Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicadas al seguimiento y estudio de incendios.....	5
Zona de estudio: Valle del Tiétar.....	6
Objetivos.....	9
Metodología y materiales	10
Obtención de imágenes y capas	10
Imágenes Landsat	10
Coberturas: Corine Land Cover, SIOSE y Mapa de Cultivos y Superficies Naturales de Castilla y León.....	12
MDT	15
Datos climáticos	15
Otras capas.....	15
Índices y metodología empleados en la delimitación del incendio.....	15
Índices y metodología empleados en el análisis de daños, severidad y regeneración	17
Riesgo de incendio y su propagación en el Valle del Tiétar.....	18
Riesgo de incendio: índice FWI	18
Probabilidad de propagación	23
Resultados y discusión	32
Zona afectada por el incendio	32
Daños, severidad y regeneración	35
Riesgo de incendio y probabilidad de propagación	42
Año 2005: Incendio.	42
Año 2022	46
Conclusiones.....	48
Referencias	50
Anexos.....	55
Tablas.....	55
Figuras	63

Resumen

En este trabajo se estudia el incendio de Casavieja (Valle del Tiétar, Ávila) ocurrido en agosto de 2005 y, a partir de él, la recuperación de la zona afectada por el incendio y el riesgo que había entonces y hay en la actualidad de que se produzca un incendio (y su gravedad en la propagación) en esta región del sur de Ávila. Se ha elegido este incendio, no por ser el más extenso en cuanto a superficie afectada (aunque dentro de los ocurridos en el Valle del Tiétar está entre los más importantes), si no por ser una zona conocida y de la que, hasta ahora, no se había realizado ningún estudio de esta índole ni se disponen de datos oficiales en el ayuntamiento del municipio afectado.

Los incendios forestales son un fenómeno complejo en el cual intervienen diversos parámetros. En el presente trabajo se ha abordado su estudio de tres maneras diferentes:

En primer lugar, se delimita el área afectada por el incendio mediante el uso de los índices NDVI (dNDVI), NBR y BAI (dBAI) con imágenes Landsat 5 de la primavera de antes del incendio y días después de darse por extinto. Finalmente, se emplea un índice de separabilidad para valorar cuál de los métodos muestra una mejor respuesta a la hora de separar superficie quemada de no quemada. El índice que ofrece una mejor separabilidad entre superficie quemada y no quemada es el dBAI, con 687,41 ha de terreno afectadas. No obstante, con el NDVI también se obtiene una buena separabilidad, aunque con una sobreestimación de superficie (722,07 ha).

En segundo lugar, se estudia la afectación y cómo ha evolucionado en la recuperación; para ello se emplean, de nuevo, el índice NDVI comparado en los periodos de 1, 5 y 10 años post-incendio (hasta mayo de 2015), con los que se estudia la recuperación, y los índices NBR (dNBR) y RdNBR con los que se da idea de la severidad. Se realiza mediante análisis zonal de tipo de coberturas afectadas. De los resultados, hay que destacar que la superficie de bosque de coníferas (pinares) es la que más daños recibió, pero que también afectó a zonas de transición y de alta montaña por la abundancia de maleza en los pinares y los matorrales pirófilos de alta montaña. En cuanto a la recuperación en un periodo de 10 años sí que se aprecian signos de recuperación, aunque con pérdida de superficie forestal.

Por último, se calcula el riesgo de incendio y propagación tanto para el incendio del año 2005 que ocupa el estudio (aplicado a Casavieja), como para la situación actual, aplicándolo a todo el Valle del Tiétar y usando las condiciones climáticas de entonces (última semana de julio y 10 primeros días de agosto 2005) y del presente verano 2022, el cual es considerado el más cálido desde que hay registros. Para el cálculo de estas variables se emplean los índices FWI (es el empleado por la AEMET en España y uno de los más aceptados a nivel internacional) y la fórmula para la probabilidad de propagación o índice BR con lo que se obtiene una alta probabilidad de incendios y propagación, siendo los valores del 2022 más elevados que los de 2005 (siendo estos altos).

Introducción

Los incendios forestales son un fenómeno común en los ecosistemas de todo el planeta. Actualmente existe un consenso al considerarlos como uno de los principales factores responsables del aumento del calentamiento global y la pérdida de biodiversidad (Pausas & Keely, 2009). Los incendios naturales tienen su origen en fenómenos imprevisibles como rayos, erupciones volcánicas etc., pero, hoy por hoy, la mayoría de los incendios tienen origen antropogénico. Los regímenes de incendios han cambiado a lo largo de la historia, especialmente por la relación con los cambios en el clima y las actividades humanas (Marlon, et al., 2008; Pausas y Keeley 2009).

En las décadas más recientes se ha producido un notable aumento del número de incendios y superficies quemadas en la zona mediterránea europea, los países mediterráneos: Portugal, España, Italia, Grecia y Francia son los más afectados por los incendios forestales (San Miguel-Ayanz, et al., 2005). Una de las razones más importantes, además del clima y el tipo de vegetación mediterránea, es la despoblación rural, que ha contribuido a los cambios en el uso de la tierra relacionados con el abandono de los terrenos, acumulándose (como consecuencia) gran cantidad de biomasa (Millington, et al., 2008). Algunos autores opinan que todos estos factores están agravados, en términos genéricos, por el rápido cambio en los usos del suelo como consecuencia de la construcción de infraestructuras y urbanización de amplias áreas en las últimas décadas, lo cual ha potenciado de manera adicional la ocurrencia de incendios (Romero-Calcerrada, et al., 2008; Ganteaume, et al., 2013). En el caso de España, y de acuerdo con lo explicado, la recurrencia de los incendios forestales es claramente creciente desde los años 60 hasta la actualidad; los incendios se duplicaron entre 1991 y 2000 respecto a la década anterior. (Enriquez y Del Moral, 2012).

El uso de la teledetección como herramienta de observación de la superficie terrestre posee una serie de ventajas en comparación con otros sistemas tradicionales, como la fotografía aérea o la observación directa. Entre las principales, se pueden destacar (Chuvienco E. , 2010):

- Visión global: las imágenes aportan una visión global de la Tierra.
- Observación de información en regiones no visibles del espectro: gracias a los sensores de los satélites, que registran información tanto en el espectro visible como en el espectro no visible, lo que permite ampliar la capacidad de estudio.
- Frecuencia y homogeneidad de adquisición: en función de las características de las orbitas de los satélites, tienen capacidad para pasar por el mismo punto con una frecuencia temporal determinada. Gracias a ello, se puede llevar a cabo un seguimiento multitemporal de procesos dinámicos (incendios, clima, actividad fotosintética etc.). Del mismo modo, al tratarse de imágenes homogéneas hace que sean comparables en todo momento.
- Observación a distintas escalas y con distintos niveles de detalle.

Incendios forestales: factores que los controlan

El inicio de un incendio y su propagación son el resultado de una interacción entre las fuentes de ignición, las condiciones meteorológicas, la vegetación y la topografía (Mermoz et al., 2005).

La topografía afecta directamente el comportamiento del fuego al favorecer la transferencia de energía radiante desde la línea de fuego en dirección a las pendientes más altas (Carmo et al., 2011). Indirectamente, la topografía también afecta al crear diferentes microclimas que influyen en el contenido de humedad de los combustibles, la temperatura del aire etc. (Heyerdahl, et al., 2001; Mermoz et al., 2005).

La vegetación juega un papel clave ya que la estructura del combustible, la carga y el contenido de humedad dependen del tipo de vegetación (Rothermel 1983; Bajocco & Ricotta, 2008).

Las condiciones climáticas del verano mediterráneo (altas temperaturas, períodos prolongados de sequía y fuertes vientos) juegan un papel importante en los regímenes de incendios en la región (Ganteaume et al., 2012). Vázquez y Moreno (1993) vincularon la ocurrencia de incendios con la sequía, y Vasilakos et al., (2008) vincularon la ocurrencia de incendios con la lluvia y el viento. Las variables meteorológicas que mayor papel juegan sobre el desarrollo de un incendio forestal son la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, la temperatura y la estabilidad atmosférica. Con unas condiciones de estabilidad y largos periodos de ausencia de precipitación, el calor aportado por el sol (día a día) hacen que se modifiquen los niveles de evapotranspiración, lo que disminuye la humedad del aire que, a su vez, interviene en la hidratación de los combustibles muertos. El viento es otro elemento donde la velocidad de propagación es directamente proporcional a la velocidad. Las situaciones de peligro extremo son las que vienen dadas por vientos fuertes y secos (Van Wagner y Pickett, 1985; Van Wagner, 1987; INE, 2022).

Por último, el factor humano es de gran importancia en la evaluación del riesgo de incendios en los países mediterráneos, donde son la causa principal de los incendios forestales ya sea por accidente/negligencia o por acción deliberada (Henderson, et al., 2005). El análisis de los datos de causalidad de incendios en la EFD muestra que, durante el período 2006-2010, se identificó y registró la causa de los incendios forestales en los países mediterráneos en el 71 % de los eventos. De aquellos incendios con causa conocida, el 55,8 % se debieron a una acción dolosa, el 33,5 % a negligencia, el 6,1 % a accidente y el 4,7 % a causas naturales (Ganteaume et al., 2012).

Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicadas al seguimiento y estudio de incendios

La teledetección se define como el conjunto de métodos de análisis y procedimientos que estudian la observación a distancia de la Tierra mediante satélites, aviones o drones, entre otros medios, mediante los cuales se puede obtener información geográfica de la superficie. Estos datos son captados por los sensores integrados en dichos aparatos, para realizar posteriormente su procesado e interpretación. El fundamento básico de la teledetección consiste en que los sensores incorporados en satélites u otras plataformas detectan radiación, de tal manera que captan la energía del sol reflejada en las distintas coberturas de la superficie de la Tierra, o bien emiten ellos mismos una radiación generada artificialmente que detectan después de que ésta interactúe con la superficie (Chuvieco & Huete, 2009).

Hoy en día se puede monitorizar la superficie terrestre mediante los últimos sensores instalados en los satélites de observación; este hecho, en conjunto con el desarrollo de la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG), ha permitido mejorar en gran medida el conocimiento sobre el planeta y el estudio sobre la forma de preservar los ecosistemas (Chuvieco y Huete, 2009; Chuvieco E. , 2010). La teledetección posee una gran cantidad de aplicaciones; se pueden destacar, por ejemplo:

- Agricultura y gestión forestal: útil para calcular rendimientos de cultivos y la composición de las masas forestales del mundo.
- Atmósfera: se utiliza para estudiar la calidad del aire. También se realizan modelos meteorológicos para la predicción del tiempo, medición de variables relacionadas con el cambio climático, etc.
- Agua (nieve y hielo): se estudia el comportamiento de las reservas mundiales (por ejemplo, glaciares) y los efectos del cambio climático con relación a su variación.
- Desastres: monitorización de sequías, incendios o deslizamientos de tierra.

Hasta ahora, la teledetección aplicada a incendios forestales se ha basado en el procesado de datos provenientes de la región del espectro que va desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta. Destacar los datos provenientes de la región del infrarrojo cercano (NIR), con el que se puede monitorizar la actividad de los incendios forestales gracias a la sensibilidad a la disminución de reflectancia propia de las zonas calcinadas, lo cual ha permitido la obtención de cartografía de calidad en la que se ven las variaciones de la actividad fotosintética y se puede hacer una valoración de la severidad y la recuperación (Kerr y Ostrovsky, 2003; Chuvieco y Martín, 2004; San Miguel Ayanz et al., 2005; entre otros).

El estudio de áreas quemadas, a escala global o regional, utilizando imágenes satelitales se ha basado principalmente en datos de resolución espacial baja, como imágenes del sensor AVHRR o espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) (Martín, et al., 2004). El uso de sensores de resolución media se ha orientado hacia estudios a escala local, pero también se han empleado en estudios globales (Rosenqvist, et al., 2003), gracias, en parte, a la creciente disponibilidad de imágenes procedentes de

este tipo de sensores, (especialmente, después de que el archivo histórico Landsat pasara a ser de uso público y gratuito). Algunos ejemplos de trabajos en los que se han empleado las imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) y Enhanced Thematic Mapper (ETM+) para estudiar áreas quemadas, principalmente a escala local y regional son los de Hudak y Brockett (2004); Mitri y Gitas (2004); entre otros. La precisión de esos estudios ha sido, de manera general, alta, pero la mayoría de ellos se centraron en lugares específicos; no haciéndose extrapolables los resultados a lugares con condiciones y parámetros diferentes. Por tanto, aún no existe un método operacionalmente aceptado para estudiar áreas quemadas a partir de imágenes TM-ETM+, aplicable a lugares con condiciones muy diferentes entre sí.

Zona de estudio: Valle del Tiétar.

El incendio con el cual se trabaja en este estudio tuvo lugar en Casavieja, Ávila (Castilla y León). Esta localidad se encuentra en una zona conocida dada su importancia en el turismo rural, el Valle del Tiétar, localizada al sur de Ávila y que limita con Toledo (Castilla la Mancha), Cáceres (Extremadura) y la Comunidad de Madrid. El Valle del Tiétar está compuesto por un total de 23 municipios, los cuales se detallan a continuación en la figura 1 y en tabla 1 del Anexo.



Figura 1. Zona de estudio: Municipios del Valle del Tiétar, Ávila. Localización del incendio de 2005. Fuente: Elaboración propia a partir de las capas de unidades administrativas (*Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León, 2022*).

Se trata de un conjunto de pueblos y aldeas pequeñas situadas en un entorno de montaña como se puede apreciar en las siguientes imágenes expuestas en la figura 2 (tomadas sobre el terreno en distintos puntos de la sierra). Es en esta característica por lo que destaca en el turismo rural y por lo que recibe un flujo constante de visitantes los fines de semana y

en verano por las segundas residencias, casas y hoteles rurales, campings etc. (Troitiño y Troitiño, 2019). Además, se trata de una zona con una importancia cultural y ecológica reseñable.

En el Valle del Tiétar se encuentra parte del Parque Regional de Sierra de Gredos, gran parte de su territorio se encuentra bajo las figuras de la Red Natura 2000 (LIC y ZEPA) por ser zona de cría de la cigüeña negra (*Ciconia nigra*) y águila imperial (*Aquila adalberti*), antaño con presencia en la zona (ver figura 3). Posee, además, bienes materiales e inmateriales culturales como son las Cuevas del Águila, los castillos de La Adrada, Arenas y Mombeltrán, los Toros de Guisando etc.



Figura 2. Imágenes tomadas sobre el terreno. Primera imagen, tomada desde la cima de la sierra de Casavieja límite con Mijares y Piedralaves; Segunda, tomada desde el Puerto de Mijares y en la tercera tomada desde Casavieja.

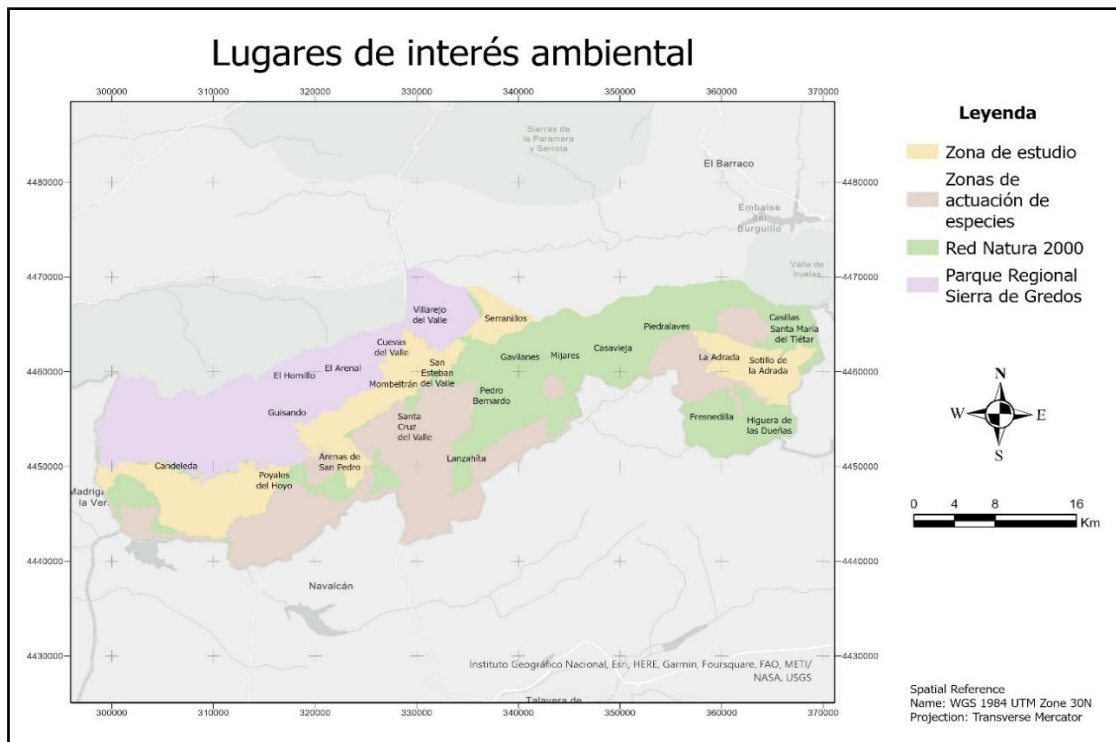


Figura 3. Lugares de interés ambiental en el Valle del Tiétar. Parque Regional, Red Natura y zonas de especial protección por actuaciones de conservación sobre especies. Fuente: Elaboración propia a partir de las capas obtenidas de Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León (2022).

De acuerdo con el informe obtenido de AEMET con el visor del Atlas Climático ¹ (que se puede ver en la tabla 2 del Anexo) se puede afirmar que la zona del Valle del Tiétar tiene un clima típico mediterráneo con algunas zonas donde predomina clima de montaña continental. Las zonas mediterráneas destacan por veranos calurosos y secos por encima de los 20°C de media e inviernos fríos, donde la precipitación es limitante, dándose en los meses de invierno y otoño, sobre todo. Por otro lado, las zonas con clima de montaña destacan por los inviernos fríos y largos (desde finales de octubre hasta el mes de abril) y los veranos cálidos pues se dan contrastes diarios muy fuertes. En cuanto a las precipitaciones, destacan los meses de verano por ser muy secos.

Por último, y por poner en antecedentes en cuanto a los incendios forestales, se trata de una zona en la que durante las décadas de los 90 y 2000 a 2010 han abundado, con mayor o menor gravedad, pero con una frecuencia anual. Destacar los de Mijares y La Adrada de 2003 (con unas 1100ha afectadas) y el de Arenas, Mombeltrán, El Arenal, Cuevas del Valle y otros 2 municipios (Navarredonda de Gredos y San Martín del Pimpollar) que afectó a más de 5000ha siendo el segundo más grave (ya que en 1986 un incendio que afectó a los municipios de Pedro Bernardo, Lanzahita, Gavilanes, Mijares, Serranillos, Santa Cruz y San Esteban del Valle calcinó más de 6500ha), ocurrido en la región hasta la fecha (El Mundo, 2009). Más recientemente, en el año 2019 ardieron entre Gavilanes y Mijares 1414 ha de superficie de monte (20 Minutos, 2020), siendo el último gran incendio hasta este 2022. El incendio que se estudia en el presente trabajo se declaró a las 13:55h del día 6 de agosto de 2005 y se dio por controlado 3 días después (9 de agosto),

¹ <http://agroclimap.aemet.es/#>

dejando según diversas fuentes unas 800 ha afectadas y un fallecido en las labores de extinción (El País, 2005; 20 Minutos, 2005). Posterior a este incendio no se ha dado otro en Casavieja hasta el año 2016 donde ardió parte de la zona afectada por el primero, pero sin llegar a descontrolarse. Previamente no había ocurrido, según habitantes de la zona, ningún gran incendio desde finales de los 80. En la figura 4 se puede observar cómo era el paisaje de la sierra antes y dos imágenes tomadas el 6 de agosto de 2005, durante el incendio.



Figura 4. Imágenes de la sierra de Casavieja antes del incendio (parte superior) y durante el incendio del 6 de agosto (parte inferior). Fuente: Vecinos de Casavieja.

Objetivos

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

En primer lugar, y más importante, dada la ausencia de una delimitación oficial, tratar de establecer la superficie afectada por el incendio de Casavieja de 2005.

En segundo lugar, realizar un estudio de la severidad y la regeneración post-incendio. Se pretende obtener información en base al estudio de la actividad fotosintética anterior y posterior al incendio, así como su evolución en un periodo de 10 años (2005-2015) y superficie afectada, es decir, qué tipo de coberturas se vieron afectadas (SIOSE y Corine) y cómo ha sido su evolución.

Por último, se pretende obtener un índice de riesgo de incendio y probabilidad propagación para el día en que se declaró el incendio (para conocer cuál era la situación en aquellos días en el Valle). Además, se obtendrá un índice actual de riesgo de propagación de incendios, aplicado al día 6 de agosto de 2022, después de la gran ola de calor del mes de julio y principios de agosto (con récords de temperaturas altas y catalogado como el verano más cálido y seco desde que hay registros).

Metodología y materiales

Los incendios forestales son un fenómeno complejo en el cual intervienen diversos parámetros. En el presente trabajo se ha abordado su estudio, para el caso del incendio de Casavieja, desde diferentes perspectivas. En primer lugar, para delimitar el área del incendio según diversos métodos (índices), en segundo lugar, se analiza la afectación que tuvo y cómo ha evolucionado en la recuperación. Por último, se va a calcular el riesgo de incendio y propagación en función a diversos factores.

Para la realización del trabajo se han empleado, además de las webs para la obtención de datos climáticos y capas especificadas a continuación, los softwares ERDAS imagine 2020 (HEXAGON), ArcGIS map 10.8 y ArcGIS PRO 2.9 (ESRI).

Obtención de imágenes y capas

Imágenes Landsat

Para la realización del presente trabajo se emplean cinco imágenes satelitales Landsat. Las más antiguas, 2005, 2006 y 2010, corresponden a imágenes Landsat 5 y la más reciente, 2015, corresponde a una imagen Landsat 8. En ambos casos las escenas completas tienen un tamaño de 170 x 185 Km (casi cuadradas) por lo que es necesario recortar las imágenes antes de trabajar con ellas limitándolas a la zona de estudio gracias a la capa vectorial de divisiones municipales, provinciales y autonómicas obtenida de la web del centro de descargas del IGN².

El satélite Landsat 5 posee una resolución temporal de 16 días y contiene dos instrumentos principales: el sensor *Multispectral Scanner System (MSS)*, que da continuidad a los datos obtenidos por este sensor en los anteriores Landsat, y el sensor *Thematic Mapper (TM)*. En el presente trabajo se han empleado imágenes tomadas por el sensor TM, que se caracteriza por sus 7 bandas espectrales. De las 7 bandas, 3 corresponden al visible, 3 al infrarrojo cercano (*NIR*) e infrarrojo de onda corta (*SWIR*) y una banda en el infrarrojo térmico. Las bandas poseen una resolución de 30m de tamaño de píxel, a excepción de la banda térmica, que son 120m (USGS, 2022). En la tabla 1 se adjunta un resumen de las características principales de las imágenes Landsat 5.

Tabla 1. Características de las bandas Landsat 5. Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos, información de misión Landsat 5.

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
Banda 1: Azul	0,45 - 0,52	30
Banda 2: Verde	0,52 - 0,60	30
Banda 3: Rojo	0,63 - 0,69	30
Banda 4: IRC (NIR)	0,76 - 0,90	30
Banda 5: SWIR 1	1,55 - 1,75	30
Banda 6: Thermal IR	10,40 - 12,50	120
Banda 7: SWIR 2	2,08 - 2,35	30
*Banda 8: PAN ³	0,52 - 0,90	15

² Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>

³ La banda 8 se corresponde a una imagen pancromática en la que se consigue un aumento de la resolución a 15m.

En cuanto al Landsat 8, presenta un aumento de resolución radiométrica de 8 a 16 bits; tienen un total de 11 bandas que se dividen en dos instrumentos de barrido: *Operational Land Imager (OLI)*, y un sensor térmico infrarrojo, *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*. La calidad de los datos (relación de la señal en función del ruido) y la resolución radiométrica del OLI y TIRS es más alta que los anteriores instrumentos Landsat (8 bits para TM), suponiendo una mejora significativa en la capacidad de detectar cambios en la superficie terrestre (USGS, 2022). Las características se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de las bandas Landsat 8. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos, información de misión Landsat 7 y 8.

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
Banda 1: Aerosoles	0,43 – 0,45	30
Banda 2: Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3: Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4: Rojo	0,64 – 0,67	30
Banda 5: NIR	0,85 – 0,88	30
Banda 6: SWIR 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7: SWIR 2	2,11 – 2,29	30
Banda 9: Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10: TIRS 1	10,60 – 11,19	100
Banda 11: TIRS 2	11,50 – 12,51	100
*Banda 8: PAN	0,50 – 0,68	15

Las imágenes se han obtenido de la web de la *USGS*: Glovis⁴ (previo registro). Se ha especificado un porcentaje de nubes en cada imagen inferior al 10%. En cuanto a los periodos de tiempo se ha tenido presente la época del año de máxima actividad vegetal, es decir, los meses de primavera (de marzo a junio) y la imagen más reciente disponible al finalizar el incendio que cumpliera las condiciones de porcentaje de nubes.

Así pues, las imágenes obtenidas corresponden a:

- Mayo de 2005 (24/05/05): antes del incendio, mes de primavera donde hay una actividad fotosintética mayor. Imagen Landsat 5.
- Agosto de 2005 (28/08/05): unos días después de concluir el incendio. Imagen Landsat 5.
- Mayo de 2006 (02/05/06): Primavera del año siguiente al incendio. Imagen Landsat 5.
- Mayo de 2010 (22/05/10): Primavera 5 años después del incendio. Imagen Landsat 5.
- Mayo 2015 (20/05/15): Primavera 10 años después del incendio. Imagen Landsat 8.

⁴ <https://glovis.usgs.gov/>

Coberturas: Corine Land Cover, SIOSE y Mapa de Cultivos y Superficies Naturales de Castilla y León.

CORINE (Co-Ordination of Information of the Environment) LAND COVER (CLC) son un conjunto de mapas que clasifican el paisaje europeo. Se realizan mediante fotointerpretación de imágenes tomadas desde satélite. Los mapas presentan un formato vectorial (polígonos) con una escala 1:100.000 y una superficie mínima de 25 hectáreas (EEA, 2019). La ocupación del suelo se clasifica en 3 niveles y consta de 44 tipos (ver tabla 3 del Anexo).

El Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) tiene por objetivo generar una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España a escala de referencia 1:25.000 (Instituto Geográfico Nacional, 2022).

Por último, el mapa de cultivos y superficies naturales es un mapa de cobertura suelo (ver figura 6), obtenido a través de imágenes de satélite y actualizado anualmente. Este proyecto nace con el objetivo de disponer de una cartografía de ocupación del suelo que represente los cambios en los cultivos herbáceos anuales (mayoritarios en la Comunidad Autónoma) y en las superficies de vegetación natural. El proyecto comenzó en el año 2013, y desde entonces se han generado mapas desde el año 2011 hasta la actualidad. Para la elaboración del mapa se emplean imágenes de los satélites Deimos-1, Landsat 8 y Sentinel (Junta de Castilla y León, 2022).

Con los Corine y SIOSE del año 2000 y 2005 (respectivamente) se ha elaborado un mapa de ocupación del suelo para el año 2005, para estudiar el tipo de cobertura afectada, pues los polígonos de CLC y SIOSE diferían bastante entre sí. Se ha realizado una clasificación supervisada con una metodología similar a la de elaboración del mapa de cultivos y superficies 2021 (detallada anteriormente) y contará con las coberturas descritas en la tabla 3.

Tabla 3. Clases de cobertura definidas para el año 2005 y su descripción. Representación gráfica en la figura 5. Fuente: Elaboración propia.

Cobertura	Descripción
Casco urbano	Términos municipales de los pueblos.
Antropizado	Aquellas zonas industriales o de servicios, así como vertederos y otras instalaciones.
Carreteras	Vías de comunicación
Cultivos	Generalmente se trata de cultivos de herbáceas (cereal, heno etc.).
Olivares	Se trata de una zona con gran cantidad de olivares. Fincas donde predominan estos árboles.
Fincas agrícolas y/o ganaderas	Se trata de fincas más o menos grandes dedicadas a los cultivos y/o a la ganadería extensiva (avícola, ovina y bovina).

Fincas de cultivo con vegetación	Fincas de pequeños cultivos viñedos y otros frutales en las que se puede encontrar vegetación esclerófila típica. Se incluyen también fincas de zonas adehesadas.
Pastizales o herbazales	Se incluyen en esta categoría las zonas de alta montaña con pastos y praderas y las zonas próximas al río Tiétar con grandes extensiones de herbáceas.
Matorral y herbazal	Zonas principalmente de alta montaña con matorrales típicos mediterráneos de montaña: jara (<i>Cistus ladanifer</i>) y escobas (<i>Cytisus scoparius</i>).
Matorral y Matorral boscoso	Zonas de transición con especies mediterráneas como las citadas anteriormente.
Mosaicos	En esta categoría se han incluido las zonas de dehesa que no se corresponden a fincas y zonas boscosas con claros que no se pueden clasificar como bosque, pastizal o matorral boscoso.
Bosque de coníferas	Pinos mediterráneos como el <i>Pinus nigra</i> , <i>Pinus pinea</i> y <i>Pinus pinaster</i> (por las explotaciones de resina).
Bosque de frondosas	Alcornocales (<i>Quercus suber</i>), castaños (<i>Castanea sativa</i>), robles (<i>Quercus robur</i>).
Bosques mixtos	Bosque mediterráneo en sí mismo, combinación de pies de coníferas y frondosas.
Roquedo, suelo y zonas de escasa vegetación	Zonas de alta montaña, sin apenas vegetación o a las afueras de los pueblos.
Masas de agua	Lagos, lagunas, pantanos, embalses, piscinas naturales, ríos etc.

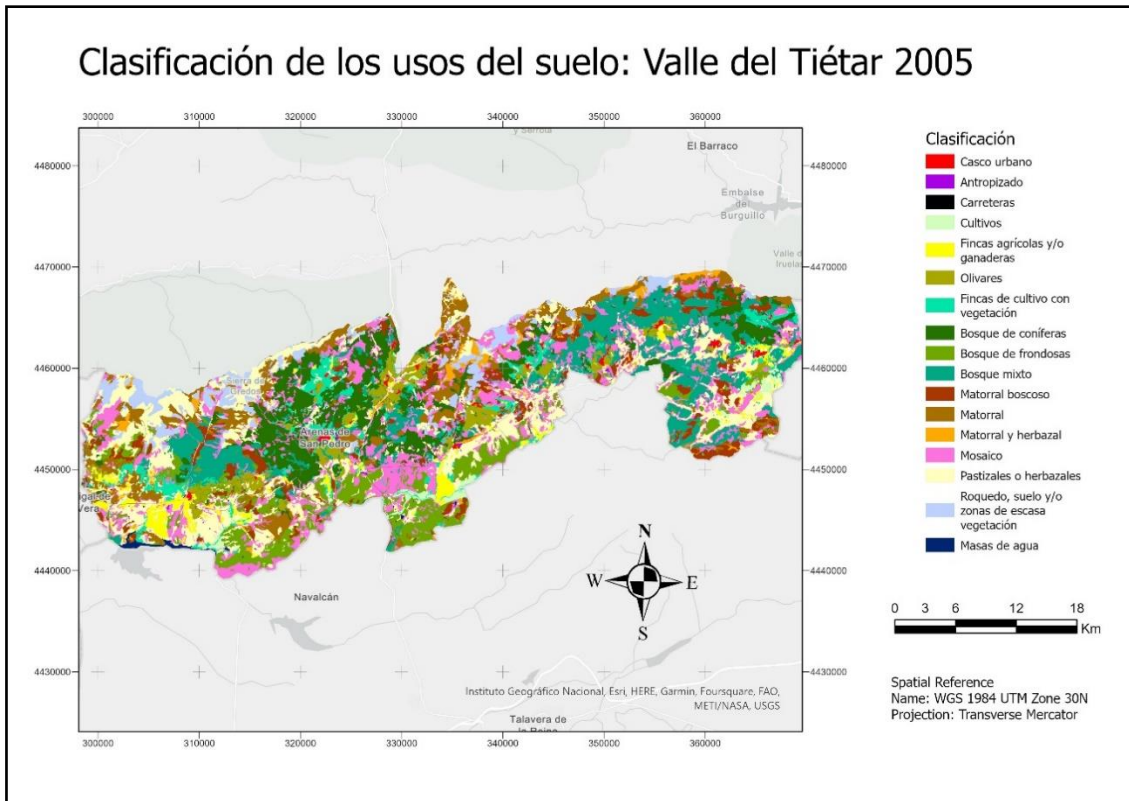


Figura 5: Mapa de coberturas del suelo en el año 2005. Fuente: Elaboración propia a partir de las capas CLC 2000 y SIOSE 2005 obtenidas del centro de descargas del IGN (2022).

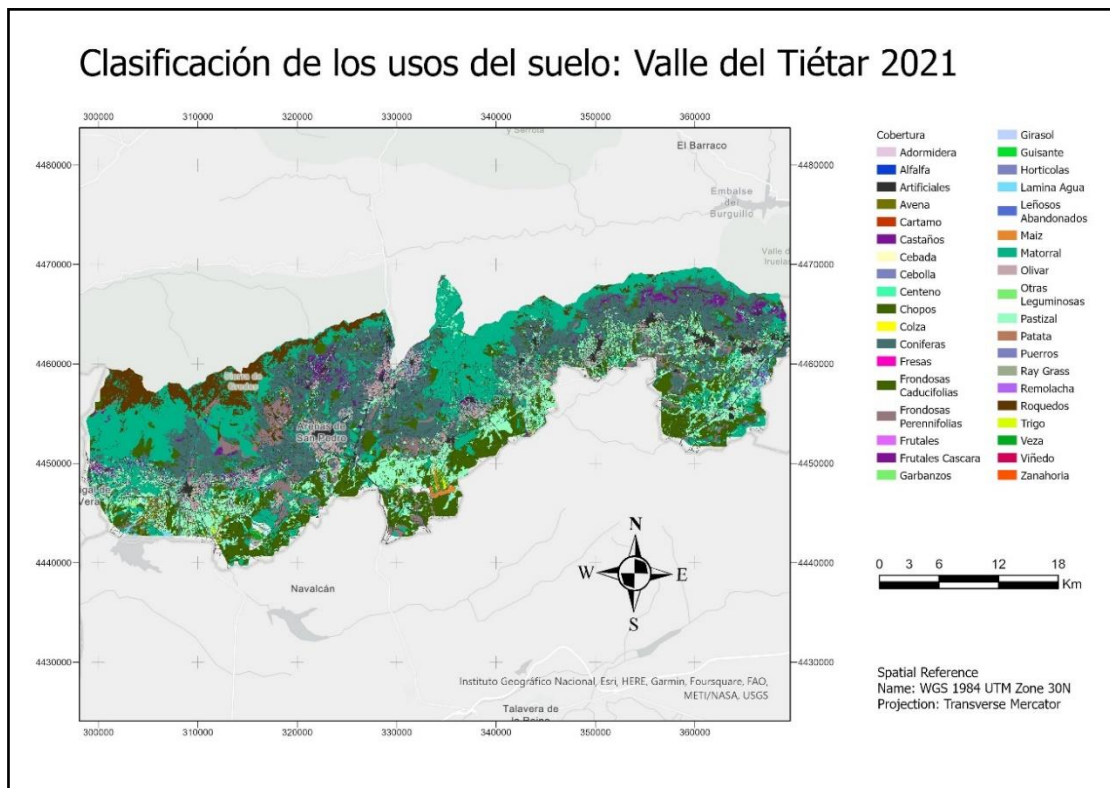


Figura 6. Mapa de la clasificación de las coberturas de suelo 2021. Fuente: Junta de Castilla y León; mapa de cultivos y superficies naturales (2021).

MDT

Modelo Digital del Terreno con un tamaño de píxel de 5m a partir del cual se obtienen las capas de pendientes, orientaciones y alturas. Se descargan diferentes hojas (PNOA_MDT05_ETRS89_HU30_0555, 0556, 0557, 0577, 0578, 0579, 0580, 0600, 0601, 0602 y 0603), del centro de descargas del IGN, para abarcar toda la superficie del Valle del Tiétar. Posteriormente se combinan y se ajustan a la zona de estudio (ver figura 1 de Anexo).

Datos climáticos

Se han empleado datos de 3 estaciones que poseen registro de datos históricos y cubren la zona del Valle del Tiétar: Navalmoral de la Mata (Cáceres), Talavera de la Reina (Toledo) y Sotillo de la Adrada (Ávila, municipio del Valle del Tiétar); se ha ampliado con datos de velocidades y dirección del viento, para el día 6 de agosto de 2005, para obtener una buena interpolación de datos, a las estaciones de Ávila, Navarredondilla de Gredos y Robledo de Chabela (Madrid). Para ello se ha recurrido a la web de datosclima.es⁵ y la web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Los datos históricos que están disponibles en la web de la AEMET⁶, en su espacio de *Open data*, vienen en formato de archivo de texto y son de difícil manejo (vienen presentados en una línea de datos por cada mes y por cada variable medida). Desde esta web empleada se dispone de los mismos datos en formato más accesible (tablas y gráficas). Para los datos del 6 de agosto de 2022 se han empleado los datos reales de ese día en los distintos municipios del Valle.

Otras capas

Se han empleado para la realización de cartografía temática expuesta en la introducción, zona de estudio (ver figura 3) las capas de Red Natura 2000, zonas de actuación sobre especies protegidas, Espacios Protegidos etc. disponibles en la web de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León. Asimismo, de la web de descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se han obtenido las capas de hidrografía y masas de agua, red de carreteras, aeródromos y helipuertos.

Índices y metodología empleados en la delimitación del incendio

Para delimitar la zona afectada por el incendio se emplearán tres índices ampliamente utilizados a la hora de estudiar y clasificar la superficie terrestre:

En primer lugar, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que se calcula en función de las longitudes de onda visible roja (*R*) e infrarroja cercana (*NIR*), varía de 1,0 a -1,0, con valores positivos que representan un alto verdor y valores negativos que representan poca o ninguna vegetación. Representa la actividad fotosintética y está asociado con la biomasa, el secuestro de carbono, el estrés hídrico de las plantas y la biodiversidad (Rouse et al, 1974).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad \text{Ecuación 1.}$$

⁵ Disponible en: <https://datosclima.es/>

⁶ Disponible en: <https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion>

En una primera fase se calcularán los índices NDVI para un momento previo al incendio (en este caso, se ha elegido la primavera de 2005: 24 de mayo) y posterior al incendio (28 de agosto). Posteriormente se calculará el diferencial entre ambos (posterior menos pre-incendio).

En segundo lugar, se empleará el índice NBR (índice normalizado de quema). Se obtiene mediante la diferencia normalizada de reflectancia entre la banda del NIR y una del infrarrojo de onda corta (SWIR 2). Está relacionado con la presencia de vegetación viva, que es muy reflectiva en la banda del infrarrojo cercano y no tanto en la del infrarrojo de onda corta, mientras que la que ha sufrido daños tiene cada vez valores de reflectividad más bajos en la banda del infrarrojo cercano y más altos en la del infrarrojo de onda corta. De esta forma, para evaluar el área quemada y la severidad del incendio se calcula el índice NBR de la imagen y se asocian los valores bajos con alta severidad (Hunt & Rock, 1989).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR\ 2}{NIR + SWIR\ 2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Se trata de un índice creado para la monitorización de incendios, que discrimina las áreas en función del contenido en humedad. Ha sido empleado, no solo en la delimitación de zonas quemadas, sino en el análisis de la regeneración posterior de la vegetación como es el caso del estudio de Pérez-Cabello, et al., (2007).

Para delimitar la zona afectada, mediante el uso de este índice se empleará el cálculo del NBR para la imagen Landsat 5 del 28 de agosto de 2005.

Por último, se empleará el índice BAI (de áreas quemadas). Basado en la distancia espectral de cada píxel a un punto espectral de referencia (ρ_{cNIR} ; ρ_{cR} : 0,06 y 0,1 respectivamente) donde tienden a converger las áreas recientemente quemadas (Martín M. , 1998).

$$BAI = \frac{1}{(\rho_{cNIR} - NIR)^2 + (\rho_{cR} - R)^2} \quad \text{Ecuación 3.}$$

En una primera fase se calcularán los índices BAI para un momento previo al incendio (24 de mayo de 2005) y posterior al incendio (28 de agosto). Posteriormente se calculará el diferencial entre ambos (posterior menos pre-incendio).

Se establecerán como valores los propuestos por Bastarrika et al. (2011) como umbrales entre zona afectada por el incendio y no afectada. Ver tabla 4:

Tabla 4. Valores umbrales respecto a zonas quemadas y no quemadas. Fuente: Bastarrika et al. (2011).

Índice	Valor umbral
dNDVI	< -0,17767
dBAI	>144,3835
NBRpost	< -0,15006

Una vez calculados los índices se verá cuál de ellos ofrece una delimitación mejor mediante el método propuesto por Chuvieco y Bastarrika (2006). Se trata de una medida de la separabilidad espectral entre las zonas quemadas y no quemadas mediante la

distancia normalizada M de los ráster originales (*dNDVI*, *NBRPost*, *dBAI*), cuya expresión es la siguiente:

$$M = \frac{|\mu_{\text{quemado}} - \mu_{\text{no quemado}}|}{|\sigma_{\text{quemado}} - \sigma_{\text{no quemado}}|} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

- μ_{quemado} = media de la clase quemado.
- $\mu_{\text{no quemado}}$ = media de la clase no quemado.
- σ_{quemado} = desviación típica de la clase quemado.
- $\sigma_{\text{no quemado}}$ = desviación típica de la clase no quemado.

Índices y metodología empleados en el análisis de daños, severidad y regeneración

Para conocer los daños causados por el incendio se empleará el índice que mejor representa la zona quemada (a falta de datos y capas oficiales) y se cruzará con la capa vectorial del mapa de coberturas generado para el año 2005 (ver figura 5) para ver el tipo de superficies que fueron afectadas y con el catálogo de montes públicos, para estimar cuánta superficie quemada dependía del ayuntamiento de Casavieja o de la Consejería de Mediambiente de la Junta de Castilla y León de la época. Asimismo, para medir la severidad se emplearán los índices dNBR y RdNBR (*Relativized Differenced Normalized Burn Ratio*) realizando una estadística zonal del número de píxeles para conocer el grado de afectación por coberturas. Por último, para estudiar el grado de recuperación se compararán los índices NDVI para las imágenes Landsat post-incendio (2006, 2010 y 2015), empleando los valores de actividad fotosintética disponibles en el estudio de Duncan et al., (1993) y que se muestran en la tabla 5, con la actividad fotosintética previa (mayo de 2005). De nuevo se realizará una estadística zonal para ir viendo la evolución de las coberturas afectadas y si se consigue una buena recuperación de la zona.

Tabla 5. Valores de actividad fotosintética propuestos Duncan et al (1993).

Actividad fotosintética	Rango
Nula	<0
Muy baja	Entre 0 y 0,1
Baja	Entre 0,1 y 0,2
Media	Entre 0,2 y 0,3
Media-alta	Entre 0,3 y 0,4
Alta	Entre 0,4 y 0,6
Muy alta	>0.6

Los índices más empleados para estudiar la severidad de un incendio forestal son dNBR y su forma relativizada, RdNBR. Ambos están basados en el índice NBR (del cual se ha hablado en el apartado anterior).

dNBR (Key & Benson, 2006): Diferencia entre el NBR previo y posterior al incendio. El Rango está entre los valores -2 y 2:

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad \text{Ecuación 5.}$$

- $dNBR > 0$: severidad elevada.
- $dNBR \approx 0$: severidad baja, o afectación nula.
- $dNBR < 0$: señal de nuevos rebrotes de vegetación u otras coberturas.

Se estudiará con los índices NBR del 24 de mayo de 2005 (pre-incendio) y el de mayo de 2006. Los valores representados corresponden a los descritos por Key y Benson (2006) y que se emplean como herramienta de gestión en los Parques Nacionales en EE.UU (ver tabla 6).

Tabla 6. Rangos del índice dNBR para medir la severidad. Fuente Key y Benson (2006).

Rangos dNBR	Severidad
< -0,251	Alto crecimiento de la vegetación posterior al fuego.
-0,250 al -0,101	Bajo Crecimiento de la vegetación posterior al incendio.
-0.100 al 0.099	Zonas estables o sin quemar.
0,100 al 0,269	Zonas quemadas con gravedad baja.
0,270 al 0,439	Zonas quemadas con gravedad moderada baja.
0,440 al 0,659	Zonas quemadas con gravedad moderada alta.
>0,660	Zonas quemadas con gravedad alta.

RdNBR (Miller & Thode, 2007): Variante de la dNBR que elimina el sesgo asociado con la condición de la vegetación pre-incendio. Mide el cambio relativo de la vegetación dentro del píxel: si hay un 100% de cambio el RdNBR es elevada.

$$RdNBR = dNBR / |NBR_{pre}/1000|^{0,5} \quad \text{Ecuación 6.}$$

- $RdNBR > 0$: descenso en la cobertura vegetal.
- $RdNBR < 0$: incremento.

Riesgo de incendio y su propagación en el Valle del Tiétar

Riesgo de incendio: índice FWI

Para calcular la probabilidad que tiene un área de incendiarse se empleará Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) pues es el empleado por la AEMET en España y uno de los más aceptados a nivel internacional, aplicándose en Australia, México o Portugal, entre otros muchos países. Este índice pretende describir el estado de la vegetación y su inflamabilidad, para ello se basa en los principales factores meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación y viento). La idea en la que se basa es el cálculo en contenido de humedad a tres niveles del suelo, de menor a mayor profundidad, y a partir de ahí crear un valor de riesgo que se incrementa a medida que el contenido en humedad desciende. El índice FWI se calcula en base a otros 5 índices previos, que se van a describir a continuación. En la figura 7 se puede ver un esquema obtenido de la web de la AEMET en el que se describe la metodología de cálculo del índice. En la primera fila están las variables meteorológicas de las que se derivan los tres primeros índices, en la segunda

fila están los índices FMCC, DMC y DC de los que se derivan los índices de la tercera fila (junto con el viento) y por último uniendo los índices ISI y BUI se calcula el índice meteorológico (Van Wagner & Pickett, 1985; Van Wagner, 1987; INE, 2022):

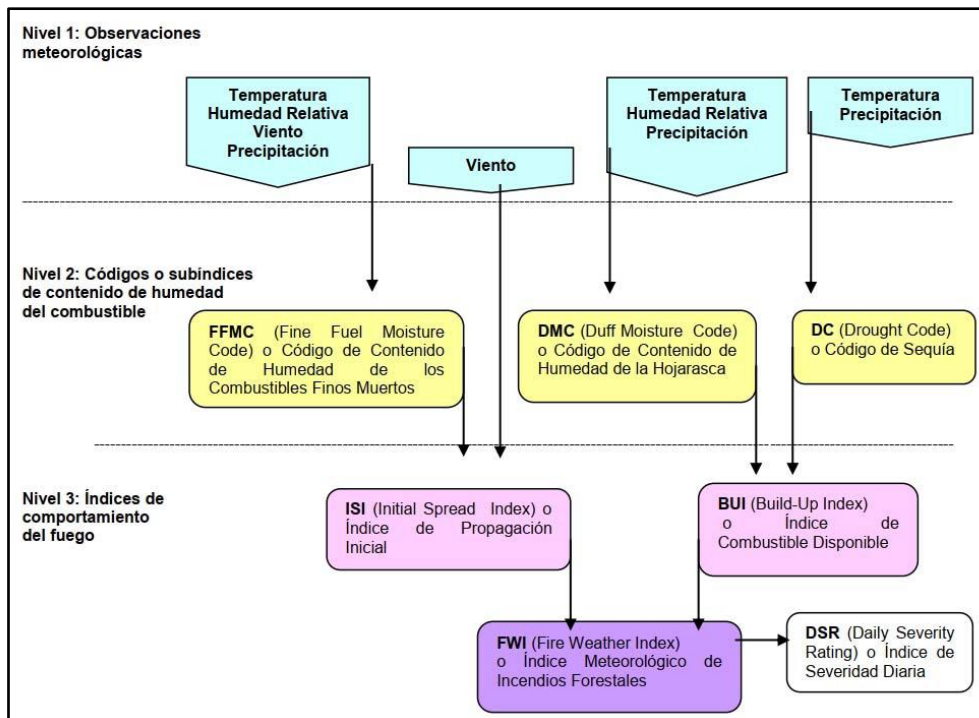


Figura 7. Esquema de los índices necesarios para el cálculo del FWI y los factores que se emplean. Fuente: (INE, 2022).

Fine Fuel Moisture Code (FFMC): Estima el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos y de la materia orgánica de la capa superficial de suelo. Su valor depende de la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la precipitación acumulada en las últimas 24 horas, así como del índice del día anterior. La precipitación necesaria para modificar su valor es de 0.5 mm; por debajo de este umbral se considera absorbida por la vegetación. Este índice es un buen indicador de la probabilidad de que el incendio sea producido por partículas incandescentes o que tenga origen antrópico. La fórmula de obtención es la siguiente:

$$m = E + (m_0 - E) \times 10^{Kt} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Siendo:

- m: El porcentaje de contenido de humedad del combustible a las 16h.
- E: El porcentaje de contenido de humedad de equilibrio.
- m₀: El porcentaje de contenido de humedad del día previo.
- K: función de secado
- T: número de días del ciclo

DMC (Duff Moisture Code) o Código del contenido de humedad de la hojarasca:

Estima el contenido de humedad de los combustibles de tamaño mediano y de la materia orgánica de una capa intermedia del suelo. Depende de la temperatura, la humedad relativa del aire, la precipitación acumulada en 24 horas y de su valor del día anterior. En este caso la precipitación necesaria para modificarlo es de 1.5 mm (se requiere más

precipitación para alterar las capas inferiores de los horizontes del suelo). En función de las condiciones meteorológicas, el índice puede calcularse de dos maneras diferentes:

En ausencia de precipitación o menor a 1,5mm:

$$DMC = DMCr + 100 \times k \quad \text{Ecuación 8.}$$

Siendo: $K = 1,894 (T + 1,1) * (100-H) Le/106$

Donde:

- T: temperatura (°C), que si fuese inferior a -1,1 se deja este valor.
- H: humedad relativa (%).
- Le: longitud efectiva del día.

Con precipitación:

$$m_r = m_0 + \frac{1000 \times r}{48,77 + br_e} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Siendo: $r_e = 0,92r - 1,27$

Donde:

- m_0 : humedad de la capa del día anterior (%)
- r_e : la cantidad de lluvia efectiva (mm)
- r : la precipitación (mm)

*Para el cálculo de r_e es necesario el DMC del día anterior.

DC (Drought Code) o Código de Sequía: Denominado también índice de sequía, se relaciona con el contenido de humedad de la capa más profunda del suelo, es indicador de la cantidad de partículas gruesas susceptibles de poder ser consumidas por el fuego. La fórmula general para calcularlo es la presentada en la ecuación 10. Sin embargo, este índice también depende de las condiciones meteorológicas:

$$DC = 400 \times \ln(800/mr) \quad \text{Ecuación 10.}$$

Si llueve por encima de 2,8mm:

$$mr = m_0 + 3,937r_e \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

- r_e : la cantidad de lluvia efectiva ($0,83r - 1,27$) (mm)
- r : cantidad de lluvia total (mm)
- m_0 : humedad del día anterior (%)
- mr : es la humedad corregida (%)

Si la precipitación es inferior a 2,8mm:

$$DC = DC_0 + 0,5V \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

- DC: índice de sequía.
- DC₀: índice del día anterior.
- V: tasa de evapotranspiración (mm/día).

ISI (Initial Spread Index) o Índice de Propagación Inicial: Describe la velocidad de propagación del fuego a partir de la combinación del FFMC y del viento (es independiente de la cantidad de combustible, es decir, depende de la humedad de los primeros cm de suelo y la velocidad del viento).

$$ISI = 0,208ff' \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

$$f' = (91,9 e^{-1386m}) \times \left(1 + \frac{m^{5,81}}{4,93 \times 10^7}\right)$$

$$f = e^{0,05339W}$$

Siendo:

- W: velocidad del viento (km/h)
- m: humedad del FFCM.

BUI (Build-Up Index) o Índice de Combustible Disponible: Determina la cantidad de combustible del que se dispone para la combustión, calculado a partir de los índices DCM y DC. La fórmula para obtenerlo es la siguiente:

$$BUI = \frac{0,8 \times DMC \times DC}{DMC + 0,4DC} \quad \text{Ecuación 14.}$$

FWI (Fire Weather Index) o Índice Meteorológico de Incendios Forestales: Resultante de la combinación de los índices ISI y BUI. Constituye una buena medida de la probabilidad de ignición, relacionada, a su vez, con el contenido de humedad de los combustibles. Representa la intensidad de propagación del fuego; puede ser considerado como un índice de comportamiento del fuego.

Se debe aplicar un factor de corrección al BUI para los siguientes casos:

- BUI_c = 0,626 * BUI 0,809 + 2; si BUI ≤ 80
- BUI_c = 1000 / (25 + 108,64e - 0,02BUI); si BUI > 80

Para el cálculo del FWI se emplean las siguientes fórmulas:

$$FWI' = 0,1 \times ISI \times BUI_c \quad \text{Ecuación 15.}$$

$$\ln FWI = 2,72(0,434 \times \ln BUI_c)^{0,647} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

- BUIc: es el BUI adaptado para la fórmula del FWI
- BUI: es el valor obtenido del índice
- FWI': Es el valor inicial de FWI
- FWI: es el valor final en escala del FWI

DSR (Daily Severity Rating) o Índice de Severidad Diaria: Se trata de un subíndice posterior, que se obtiene mediante una función exponencial del FWI. Se considera una medida de la dificultad existente para controlar un incendio.

Normalmente el valor del índice FWI se halla dentro del rango (0 - 100) aunque en la práctica se estratifica en cinco clases de riesgo (INE, 2022). Para este caso las clases empleadas y los valores son los siguientes:

Clase 1: Riesgo Bajo (< 10). La humedad de los combustibles superficiales no mantiene los incendios que puedan iniciarse. La ignición puede tener lugar cerca de intensas y prolongadas fuentes de calor, y en general, el fuego resultante no se propaga lejos del punto de origen; si lo hace, se consigue el control con facilidad. Con suficiente déficit de humedad, el combustible puede arder lentamente sin llamas, bajo las cenizas.

Clase 2: Riesgo Moderado (10-20). Los combustibles pueden sostener la ignición y la combustión de los tizones inflamados y no inflamados. El avance del fuego en superficie será lento. El control de este tipo de incendios es relativamente fácil, pero pueden causar problemas al personal de extinción y producir pérdidas cuantiosas.

Clase 3: Riesgo Alto (20-30). Es muy probable que se produzcan incendios de rápido y vigoroso avance y que el control del incendio se haga gradualmente más difícil si no se ataja en su comienzo.

Clase 4: Riesgo Muy Alto (30-40). Las condiciones del incendio son críticas y puede observarse una intensa superficie con árboles ardiendo, incluso en las copas.

Clase 5: Riesgo Extremo (>40). La situación es explosiva o supercrítica, con incendios violentos (elevada velocidad de propagación, incendios en copas de árboles, focos secundarios, pavesas, columnas de convección y grandes paredes de llamas).

Los valores de FWI obtenidos para una determinada localización por sí solos no tienen valor. Es necesario determinar el nivel de riesgo que implica un cierto valor de FWI en una determinada zona.

Aunque en la actualidad hay un gran número de estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para los cálculos se emplearán las de Sotillo de la Adrada, Naval Moral de la Mata y Talavera. Se trata de tres estaciones completas que tienen registros históricos fácilmente accesibles y están próximas a la zona de estudio. Se ha descartado la estación completa de Navarredonda de Gredos y Ávila por quedar al otro lado (cara norte de la sierra) y ser un clima diferente al de la zona del Valle del Tiétar (variables disponibles en las tablas 4, 5 y 6 del Anexo). Es conveniente mencionar que no se guardan registros de humedad, por lo que se darán valores aproximados correspondientes a la media en la zona en época de verano. Para el año 2022 se ha decidido no calcularlo pues se establecieron los valores de riesgo muy alto y riesgo

extremo casi en toda la península debido a las altas (y extremas) temperaturas y la ausencia de precipitación desde el mes de mayo (habiendo pasado ya en el mes de junio la primera ola de calor del verano).

Para obtener los resultados se empleará un programa Excel facilitado por el British Columbia Government (Canada) en el que se introducirán las variables climáticas con los valores extremos para cada día (ver figura 8). Es decir, temperatura máxima registrada, velocidad máxima del viento (y dirección).

Date	WX Type	Temp.	RH	Wind Dir.	Wind Act Factor [2]	Obs Wind Speed	24hr. Rain	FFCM	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR
01-Jul-07	A = actl F = fcst				100%			85.0	6	15				
02-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
03-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
04-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
05-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
06-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
07-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
08-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
09-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
10-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
11-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
12-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
13-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
14-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
15-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
16-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
17-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
18-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
19-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
20-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
21-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
22-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
23-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
24-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
25-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
26-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00
27-Jul-07						0.0		0.0	0	0	0.0	0	0.0	0.00

Figura 8: Programa de Excel facilitado para el cálculo del FWI y los índices asociados. Fuente: British Columbia Government (Canada).

Probabilidad de propagación

El riesgo o probabilidad de propagación se centra en la estimación de su recorrido basándose en las características que se va encontrando a su paso. La velocidad de avance del fuego está relacionada con el concepto de probabilidad de propagación y se puede calcular mediante el análisis de las características del combustible, las condiciones meteorológicas y la topografía. Aunque la predicción de estas es difícil también intervienen en la evolución del fuego ya que modifican su propagación natural. Para el cálculo de la probabilidad de propagación se emplea la fórmula del índice BR propuesta por Chuvieco y Martín (2004):

$$BR = (5 * V) + (4 * S) + (3 * A) - E - FB \quad \text{Ecuación 17.}$$

Siendo V el modelo de combustible, S la pendiente, A la orientación, E la altitud y FB la existencia de algún tipo de cortafuegos y aspectos de relacionados con la mitigación de la propagación del fuego (estaciones de bomberos, embalses y masas de agua etc.).

Para la elaboración de este índice se deben establecer para cada componente de la ecuación una serie de variables cuantitativas para poder medir el riesgo. Para este estudio se ha decidido establecer una ponderación clásica, del 1 al 10, en dos tipos de variables: peligrosidad (a mayor puntuación más afectan a la propagación del incendio) y mitigación (cuando afectan de forma negativa a la propagación de este).

Se comenzará presentando las variables de peligrosidad:

1. Modelo de combustible: Coberturas

Después de consultar diferentes publicaciones sobre la combustibilidad de la vegetación (en su mayoría enfocadas a diferentes zonas o tipos de vegetación propios de las zonas) se ha decidido usar el modelo de Rothermell (1972) y Albini (1976), disponible en la tabla 7. Este modelo establece cuatro grandes grupos básicos de combustibles: herbáceas, matorrales, hojarasca bajo arbolado y desechos o restos de cortas. La combinación de cada tipo hace que se puedan cubrir, de primeras, todos los sistemas forestales. Es importante señalar que este modelo es específico para EE. UU., pero se puede adaptar bastante bien a las superficies estudiadas en el Valle del Tiétar, como se verá a continuación.

Tabla 7. Modelo de combustibilidad de coberturas forestales de Rothermell y Albini.

Grupo	Modelo	Descripción
Pastos	1	Pasto fino seco y bajo, que recubre completamente el suelo. El matorral o el arbolado cubren menos de 1/3 de la superficie. El fuego se propaga rápidamente por el pasto seco. Cantidad de combustible (materia seca): 1 - 2 t/ha.
	2	Pastizal con presencia de matorral o arbolado claro que cubren entre 1/3 y 2/3 de la superficie. El combustible está formado por el pasto seco, la hojarasca y ramillas caídas de la vegetación leñosa. El fuego se propaga rápidamente por el pasto seco. Cantidad de combustible (materia seca): 5 - 10 t/ha.
	3	Pastizal espeso y alto (> 1 metro). Es el modelo típico de las sábanas. Los campos de cereales son representativos de este modelo. Los incendios son rápidos y de alta intensidad. Cantidad de combustible (materia seca): 4-6 t/ha.
Matorral	4	Matorral o arbolado joven muy denso de unos 2 metros de altura. Existe continuidad horizontal y vertical del combustible. También hay abundancia de combustible leñoso muerto (ramas) sobre plantas vivas. El fuego se propaga rápidamente sobre las copas del matorral con gran intensidad y llamas grandes. La humedad del combustible vivo tiene gran influencia en el comportamiento del fuego. Cantidad de combustible (materia seca): 25 - 35 t/ha.
	5	Matorral denso y joven de menos de 1 metro de altura. Poco material muerto. Cantidad de combustible (materia seca): 5 - 8 t/ha.
	6	Matorral similar al modelo 5 pero con alturas superiores a 1 metro o con restos de frondosas. Cantidad de combustible (materia seca): 10 - 15 t/ha.
	7	Matorrales de especies muy inflamables con alturas de menos de 2 metros o pinares de sotobosque. Cantidad de combustible (materia seca): 10 - 15 t/ha.
Hojarasca bajo arbolado	8	Hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas; la hojarasca forma una capa compacta al estar formada por acículas cortas o por hojas planas no muy grandes. Cantidad de combustible (materia seca): 10 - 12 t/ha.

	9	Hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas, que se diferencia del modelo 8 en que forma una capa poco compacta, con mucho aire interpuesto. Está formada por acículas largas, como en masas de <i>Pinus pinaster</i> , o por hojas grandes y rizadas como las de <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Castanea sativa</i> , etc. Cantidad de combustible (materia seca): 10 - 12 t/ha.
	10	Restos leñosos originados naturalmente, incluyendo leña gruesa caída como consecuencia de vendavales o excesiva madurez de la masa boscosa, con presencia de vegetación herbácea y matorral que crece entre los restos leñosos. Cantidad de combustible (materia seca): 30 - 35 t/ha.
Restos de operaciones silvícolas	11	Bosque claro o aclarado con restos ligeros (diámetro menor a 7,5 cm.) recientes, de tratamientos silvícolas o de aprovechamientos, formando una capa poco compacta de escasa altura (alrededor de unos 30 cm.). Cantidad de combustible (materia seca): 30 - 35 t/ha.
	12	Predominio de restos sobre el arbolado, más pesados que en el modelo 11, formando una capa continua de mayor altura (hasta 60 cm.). Más de la mitad de las hojas están aún adheridas a las ramas sin haberse secado completamente. Cantidad de combustible (materia seca): 50 - 80 t/ha.
	13	Grandes acumulaciones de restos gruesos (diámetro mayor a 7,5 cm) y pesados, cubriendo todo el suelo. Cantidad de combustible (materia seca): 100 - 150 t/ha.

Teniendo en cuenta esta clasificación de combustible vegetal se combina con las dos capas de coberturas que se han presentado en este trabajo: 2005 y 2021. Asimismo, se les asigna un valor de peligrosidad del 0 al 10 basado en los conocimientos de la zona y en su equivalencia con los modelos de Rothermel y Albini (ver tablas 8 y 9). Estos valores asignados son graduales, siendo 0 ausencia de modelo y peligrosidad y 10 máxima peligrosidad por cantidad de combustible y facilidad de propagación del fuego.

Tabla 8. Peligrosidad asociada al tipo de cobertura, para el año 2005, basada en los modelos de Rothermel y Albini.

Cobertura	Descripción	Modelo	Peligrosidad (Valor 1-10)
Casco urbano	Términos municipales de los pueblos	Sin modelo	0
Antropizado	Aquellas zonas industriales o de servicios, así como vertederos y otras instalaciones.	Sin modelo	0
Carreteras	Vías de comunicación	Sin modelo	0
Cultivos	Generalmente se trata de cultivos de herbáceas (cereal, heno etc.).	2	8
Olivares	Se trata de una zona con gran cantidad de olivares. Fincas donde predominan estos árboles.	6	7
Fincas agrícolas y/o ganaderas	Se trata de fincas más o menos grandes dedicadas a los cultivos y/o a la ganadería extensiva (avícola, ovina y bovina).	2	8
Fincas de cultivo con vegetación	Fincas de pequeños cultivos (viñedos en algunos casos, pues también es una zona donde hay gran cultivo de uvas) en las que se puede encontrar	6-2	8

	vegetación esclerófila típica. Se incluyen también fincas de zonas adhesionadas.		
Pastizales o herbazales	Se incluyen en esta categoría las zonas de alta montaña con pastos y praderas y las zonas próximas al río Tiétar con grandes extensiones de herbáceas.	1	7
Matorral y herbazal	Zonas principalmente de alta montaña con matorrales típicos mediterráneos de montaña (jara y escobas).	2	9
Matorral y Matorral boscoso	Zonas de transición con especies mediterráneas.	4-7	10
Mosaicos	En esta categoría se han incluido las zonas de dehesa que no se corresponden a fincas y zonas boscosas con claros; no se pueden clasificar como bosque, pastizal o matorral boscoso.	6-2	8
Bosque de coníferas	Pinos mediterráneos como el <i>Pinus nigra</i> , <i>Pinus pinea</i> y <i>Pinus pinaster</i> (por las explotaciones de resina).	8-10	10
Bosque de frondosas	Alcornocales, castaños, robles.	8-10	10
Bosques mixtos	Bosque mediterráneo en sí mismo, combinación de pies de coníferas y frondosas.	9-10	10
Roquedo, suelo y zonas de escasa vegetación	Zonas de alta montaña, sin apenas vegetación o a las afueras de los pueblos.	1	5
Masas de agua	Lagos, lagunas, pantanos, embalses, piscinas naturales, ríos etc.	Sin modelo	0

Tabla 9. Peligrosidad asociada al tipo de cobertura, para el año 2021, basada en los modelos de Rothermel y Albini.

Cobertura (agrupación de clases del mapa 2021)	Valor
Cultivos de secano, cultivos de regadío	8
Agricultura con vegetación	8
Pastizales/herbazales	7
Matorral	9
Árboles frutales	7
Bosque de ribera	6
Bosques de coníferas, frondosas y mixtos	10
Roquedos y zonas de escasa vegetación	6
Construcciones y zonas urbanas	0
Masas de agua	0

En la figura 3 del anexo se puede ver la representación gráfica del peligro de propagación de los incendios en el Valle del Tiétar asociado al tipo de cobertura sin apenas variación en los dos años estudiados.

2. Pendiente

La pendiente es un factor clave en la propagación del fuego, no solo porque las cubiertas terrestres más propensas al fuego se asocian con pendientes más pronunciadas sino, también, por el efecto físico de la pendiente en el comportamiento del fuego. La propagación del fuego aumenta en zonas con pendientes más pronunciadas independientemente del tipo de cobertura que presenten (Carmo et al., 2011). No obstante, cuando la pendiente es muy elevada la vegetación desaparece casi por completo (por ser muy

difícil su desarrollo). En el presente estudio se han valorado pendientes de 0 a 45°; por encima de 45 se ha otorgado un valor de 3 (ver tabla 10). Para este caso no se ha asignado ningún valor por debajo del 2 porque en superficie siempre va a haber riesgo de dispersión del fuego aunque la pendiente sea nula.

Tabla 10. Peligrosidad en la propagación del fuego asociada a la pendiente. Representación gráfica disponible en la figura 4 del Anexo. Fuente: Elaboración propia.

Pendiente (°)	Valor de peligrosidad
0-5	2
5-10	3
10-15	4
15-20	5
20-25	6
25-30	7
30-35	8
35-40	9
40-45	10
> 45	2

3. Viento

Se considera viento al aire en movimiento por la superficie terrestre. Es, junto con la pendiente y el tipo de combustible, el factor que más influye en la propagación de los incendios forestales y el que más peligrosa puede hacer las labores de extinción. Se estudiarán las dos componentes del viento: velocidad y dirección. En las tablas 11 y 12 se muestran las características de ambos componentes.

Tabla 11. Escala Beaufort de los vientos. Fuente: (*Jaque Recha & Águirre de Cárcer, 2002*).

Grado Beaufort	Tipo	Vel. Hasta 6 m de altura (Km/h)	Especificaciones para el suelo
0	Calma	< 1	El humo sube verticalmente.
1	Ventolina	1-6	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas.
2	Brisa muy débil	7-12	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas.
3	Brisa débil	13-17	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas.
4	Brisa moderada	18-26	Se levanta polvo y papeles pequeños.
5	Brisa fresca	27-35	Se mueven los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
6	Brisa fuerte	36-44	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	Viento fuerte	45-55	Todos los árboles se mueven. Es difícil andar contra el viento
8	Duro	56-66	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.
9	Muy duro	67-77	Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados.

10	Temporal	78-90	Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.
11	Borrasca	91-104	Observada muy rara vez. Ocasiona destrozos en todas partes.
12	Huracán	>104	Destrucción total

Tabla 12. Direcciones del viento. Fuente: Elaboración propia.

Dirección		Grados
N	Norte	0°
NNE	Norte-Nordeste	22.5°
NE	Nordeste	45°
ENE	Este-Nordeste	67.5°
E	este	90°
ESE	Este-Sudeste	112.5°
SE	Sudeste	135°
SSE	Sur-Sudeste	157.5°
S	Sur	180°
SSW	Sur-Sudoeste	202.5°
SW	Sudoeste	225°
WSW	Oeste-Sudoeste	247.5°
W	Oeste	270°
WNW	Oeste-Noroeste	292.5°
NW	noroeste	315°
NNW	Norte-Noroeste	337.5°

En este estudio se va a realizar una interpolación IDW entre los datos de las estaciones de Sotillo de la Adrada, Ávila, Navarredondilla de Gredos (las tres de Ávila), Talavera de la Reina (Toledo), Navalmoral de la Mata (Cáceres) y Robledo de Chabela (Madrid). Para el año 2005 se tendrán en cuenta las condiciones de viento del día en que dio comienzo el incendio (6 de agosto). Para el riesgo asociado al viento se emplearán la dirección y la velocidad media diaria (al contrario que para el FWI que se ha empleado el valor de velocidad más alta registrada). En la figura 9 se muestra el proceso de obtención de la capa de velocidad y dirección del viento.



Figura 9. Metodología de obtención de las capas de viento (velocidad y dirección).

Teniendo en cuenta los datos extraídos para el año 2005 y los actuales se puede establecer la siguiente valoración:

Tabla 13. Velocidades del viento presentes en los días estudiados y valor de peligrosidad. Fuente: Elaboración propia a partir de los tipos de Beaufort obtenidos de Jaque Recha & Águirre de Cárcer (2002).

Tipo y velocidades de Beaufort	Valor
Calma (0 a 1 Km/h)	1
Ventolina (1 a 6 Km/h)	2
Brisa muy débil (7 a 12 Km/h)	3
Brisa débil (13 a 17 Km/h)	4

Por último, la peligrosidad asociada a la dirección y teniendo en cuenta la orografía, se valorará como más peligrosos los vientos de componente norte, nordeste y nordoeste pues estarían a favor de las pendientes de la zona. Estas condiciones se dieron en el año 2005. Para los datos recogidos en 2022 se dieron las condiciones opuestas:

Tabla 14. Direcciones del viento presentes en los días estudiados y valor de peligrosidad. Fuente: Elaboración propia.

Dirección		Grados	Valor
N	Norte	0°	8
NNE	Norte-Nordeste	22.5°	9
NE	Nordeste	45°	9
S	Sur	180°	6
SSW	Sur-Sudoeste	202.5°	6
SW	Sudoeste	225°	6
WSW	Oeste-Sudoeste	247.5°	7
W	Oeste	270°	8
WNW	Oeste-Noroeste	292.5°	8

Se puede ver su representación gráfica para el día 6 de agosto de ambos años (2005 y 2022) en las figuras 9 y 10 del Anexo respectivamente.

4. Orientación

Se entiende por orientación la dirección hacia la que mira una pendiente. Si la pendiente mira hacia el norte, se dice que es la ladera umbría (la vegetación suele ser más abundante; si mira hacia el sur se dice que la ladera es de solana. Las laderas que miran al sur son las más afectadas por los rayos del sol, al igual que las laderas que miran al suroeste, ya que estos rayos inciden en ellas en las horas más cálidas del día. En la tabla 15 se muestran las direcciones de la orientación y su peligrosidad asociada.

Tabla 15. Orientaciones y peligrosidad asociada. Fuente: Elaboración propia.

Intervalo (°)	Orientación	Peligro
337,5-360/0-22,5	Norte	6
22,5-67,5	Noreste	7
67,5-112,5	Este	9
112,5-157,5	Sureste	9
157,5-202,5	Sur	10
202,5-247,5	Suroeste	10
247,5-292,5	Oeste	7
292,5-337,5	Noroeste	5
-1	Plano	8

Una vez presentados los factores de peligrosidad y sus valores se muestran los de mitigación:

1. Humedad

La humedad de la atmósfera interviene en el proceso de absorción directa del vapor de agua en los combustibles muertos y en la pérdida de humedad en el combustible vivo mediante evapotranspiración. La higroscopia es una propiedad de los combustibles muertos que les permite absorber o evaporar la humedad del aire hasta conseguir un equilibrio con las condiciones ambientales. Asimismo, a mayor humedad en el ambiente, menos disponibilidad de oxígeno. La media, tanto en 2005 como en 2022 está entre el 15 y el 55% diario (siendo una media real diaria del 10-25% en 2022 por ser temperaturas extremadamente altas y meses muy secos). Como se ha explicado para la metodología del índice FWI no se ha encontrado un registro histórico de los datos de humedad, por tanto, los valores disponibles para el año 2005 son aproximaciones (datos climáticos disponibles en tablas 4, 5, 6 y 7 de Anexos).

Tabla 16. Valores empleados como mitigación para los datos de humedad.

Valor medio de humedad (%)	Mitigación
10-55%	5 y 3 (2022)

2. Altitud

Generalmente, a mayor altitud se tienen temperaturas más bajas. Con esta menor temperatura del aire, es mayor el contenido de humedad del combustible (Körner & Paulsen, 2004). Por ello, podemos esperar que los combustibles, a mayor altitud, tarden más tiempo en alcanzar la temperatura de ignición (influye también el hecho de que, en este caso, son zonas que gran parte del año tienen agua del deshielo). Son a su vez zonas con menos vegetación, de alta montaña (pastizales, matorrales etc.). Es por ello por lo que se puede decir, de manera muy general, que a mayor altitud la incidencia de incendios es menor. Además, el período en el que ocurren incendios más graves es más corto cuando aumenta la altitud, ya que la estación seca es más corta (Departamento de mediambiente de Aragón, 2012).

Se dará una ponderación de mitigación de 5 por encima de los 1200m. Se ofrece este valor porque, por lo general, en el Valle del Tiétar las alturas máximas no son muy elevadas y a partir de 1200 ya se puede apreciar cambios notables en la vegetación (pasando de bosque mixto o de coníferas a zonas de matorrales y pastizales). Asimismo,

el valor de mitigación no es más alto por el estado de esos matorrales. Se trata de especies de matorral mediterráneo, siendo el principal el *Cystus multiflorus* (Escoba), con mucha densidad.

*Nota: En el caso del incendio estudiado (y otros incendios mencionados en el trabajo: Gavilanes, Mijares) se tratan de incendios que afectan a altitudes por encima de los 900m.

3. Otros factores de mitigación

Se emplearán las distancias euclídeas a las masas de agua (embalses, pantanos y lagos) y las distancias a los parques de bomberos y helipuertos/aeródromos de la zona (ver figuras 7 y 8 del Anexo).

Asimismo, se deben considerar los cortafuegos (que son cortes longitudinales sobre la vegetación para la reducción de combustible y evitar la expansión de los incendios forestales) que tienen que ser de al menos 15 metros en zonas arboladas y de 10 metros en zonas de matorral. Ante la ausencia de cortafuegos se disponen de vías de comunicación (carreteras regionales y pistas forestales) que hacen un efecto similar (dependiendo del estado en que se encuentren y los restos de combustible que haya) y por otro lado la hidrología. Sin embargo, en la zona, los cursos de agua son arroyos en su mayoría (afluentes del río Tiétar) y apenas poseen unos metros de ancho; y las carreteras y pistas, como ya se ha mencionado, depende mucho del estado en que se encuentren, por lo que ambos factores son muy poco relevantes en la mitigación (se les asignará un valor de 3 en el caso de caminos y carreteras y 4 en cursos de agua). Por último, se ha de indicar que cada pueblo tiene sus cuadrillas de retenes (con conocimientos de la zona y distribuidos por distintos puntos del monte). Si bien estos suponen un punto a favor muy importante, su número es escaso y el equipamiento en épocas con menor riesgo es ínfimo, lo que no ayuda en la prevención. Se le asignará un valor de 5 (a cada pueblo) ya que, de manera general, suponen una primera barrera eficaz contra la lucha y prevención de incendios.

Aplicación

Importante: En este estudio se integrarán a la fórmula tanto la dirección como la velocidad del viento aplicándose mayor porcentaje a la velocidad ya que contribuye a una propagación mucho más rápida. Por lo tanto, la fórmula con sus respectivas ponderaciones queda de esta forma:

$$BR = 5 * [\text{Combustible}] + 4 * [(\text{Pendiente} + (0,25 * \text{Dirección del Viento} + 0,75 * \text{Velocidad})) / 2] + 3 * [\text{Orientación}] - [\text{Altitud}] - \{[(\text{Carreteras y pistas} + \text{Hidrología} + \text{Distancia a masas de agua} + \text{Distancia bomberos} + \text{Retenes}) / 5] + [\text{Humedad}] / 2\}.$$

Resultados y discusión

A continuación, se van a exponer los resultados obtenidos de los distintos análisis realizados para evaluar y delimitar el incendio de Casavieja de agosto de 2005 y para establecer un índice de riesgo del valle del Tiétar a sufrir un incendio y la dispersión que este pudiera tener.

Zona afectada por el incendio

El primer índice aplicado para estimar la superficie real del incendio ha sido el NDVI. Se obtienen los índices NDVI para las imágenes del 24 de mayo y el 28 de agosto y con ellos se obtiene el dNDVI (ver figuras 10 y 11).

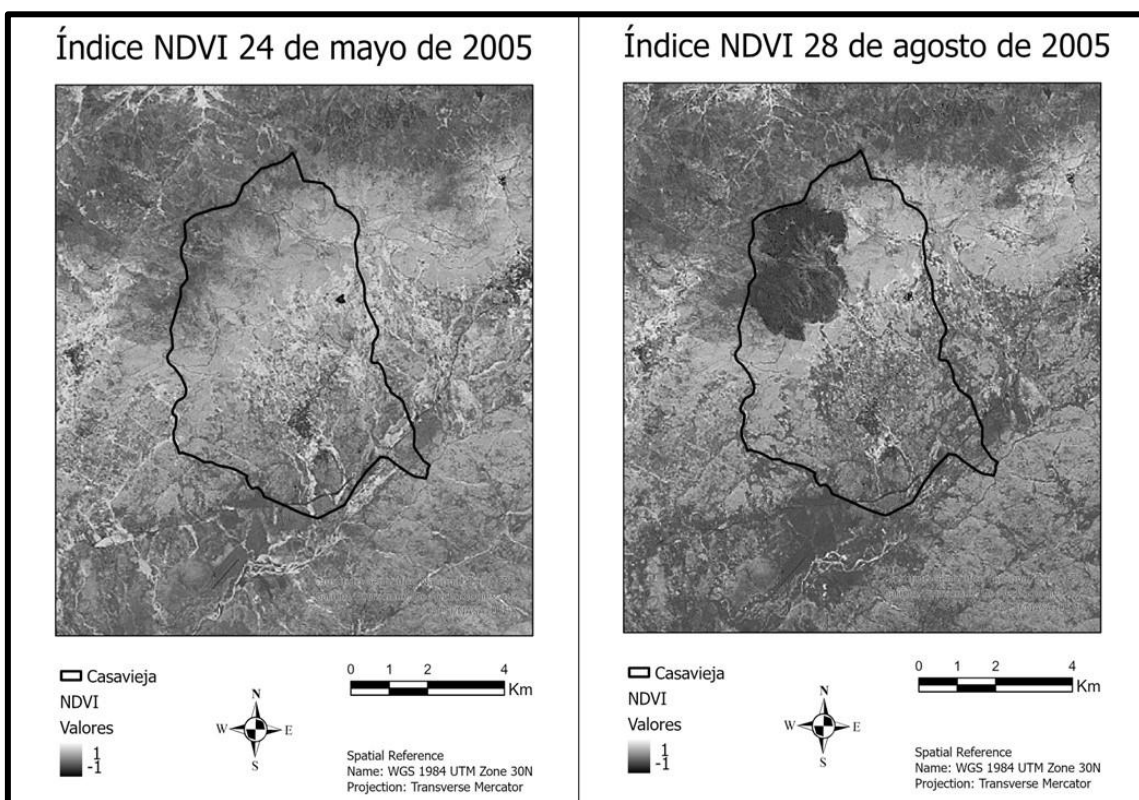


Figura 10. Índices NDVI calculados para las imágenes Landsat del 24 de mayo y 28 de agosto de 2005.

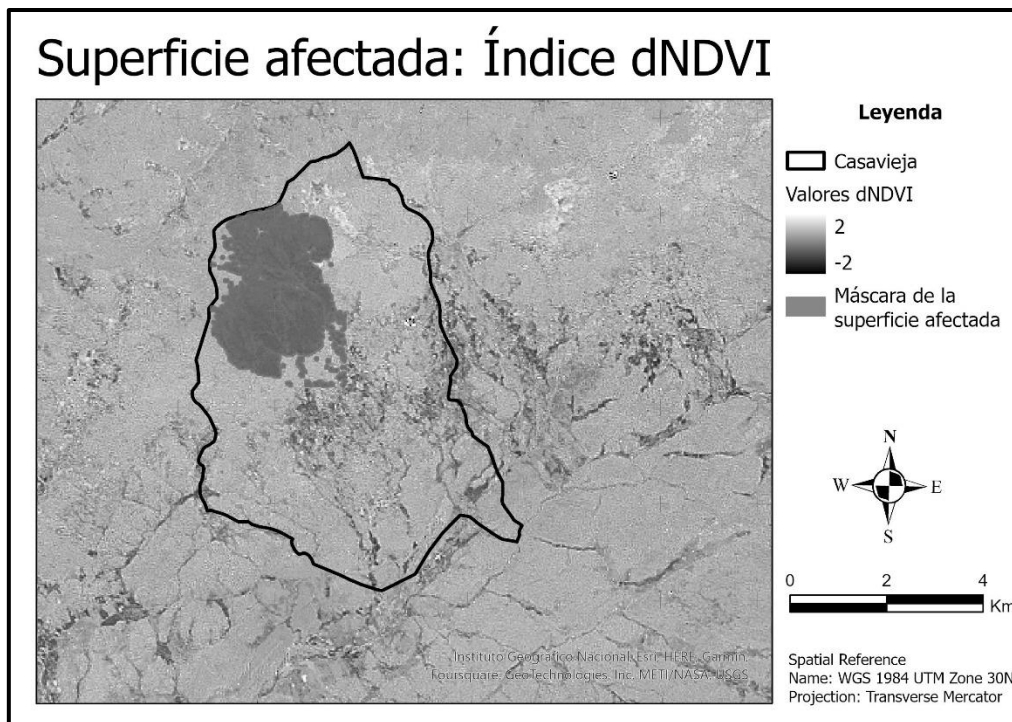


Figura 11. Índice dNDVI con la máscara de la superficie quemada por el incendio de acuerdo con los valores umbrales de Bastarrika et al. (2011).

A continuación, en la figura 12, se muestra el resultado del índice NBR calculado para la imagen del 28 de agosto de 2005 (NBR-post) con la máscara que cubre la superficie quemada, de acuerdo con los valores umbrales establecidos.

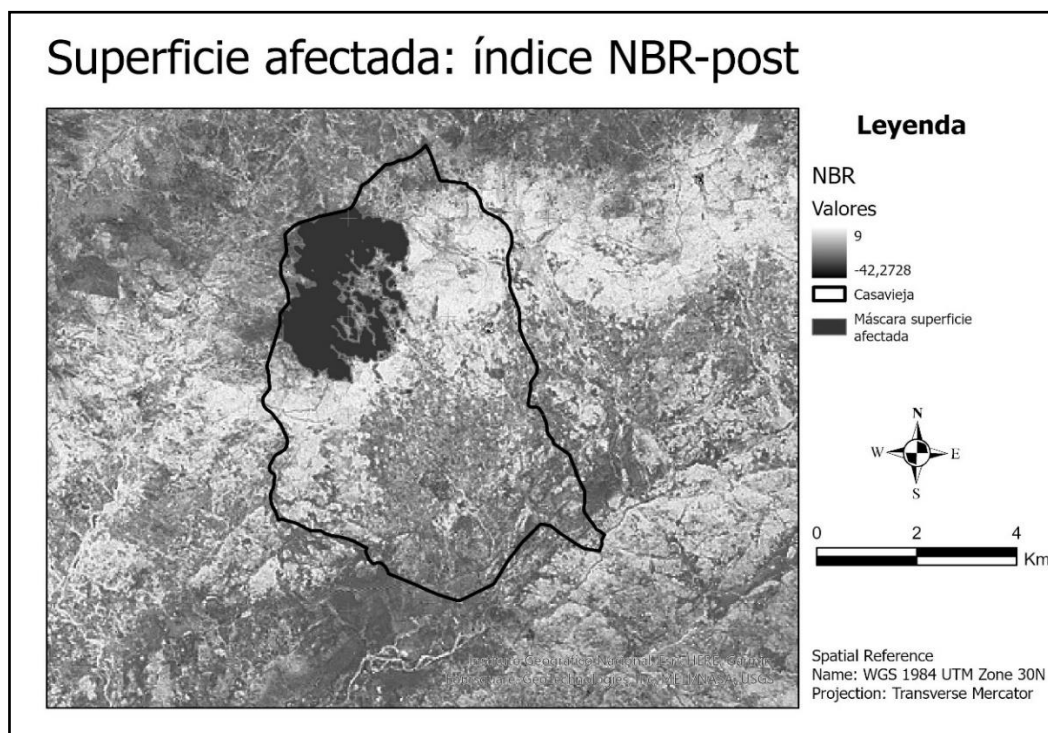


Figura 12. Índice NBR-post con la máscara de la superficie quemada por el incendio de acuerdo con los valores umbrales de Bastarrika et al. (2011).

Por último, se muestran los resultados de los índices BAI pre y post incendio y el dBAI con el que se delimitará la superficie afectada (figuras 13 y 14).

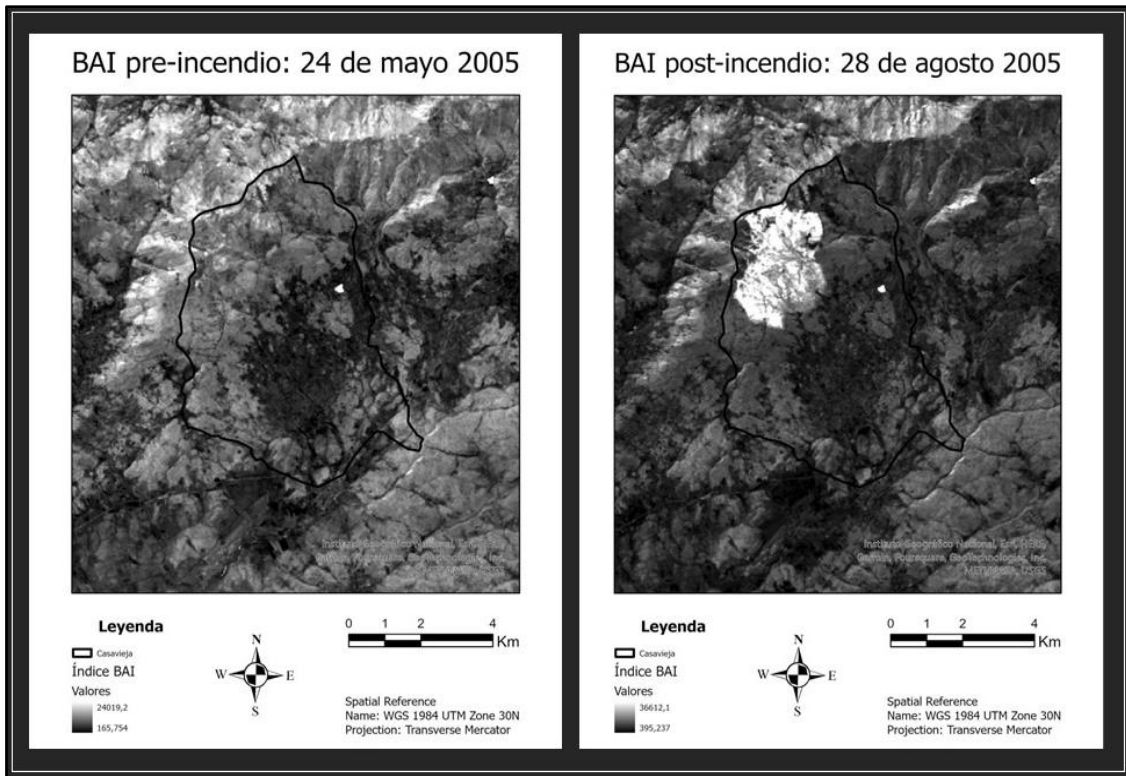


Figura 13. Índices BAI calculados para las imágenes Landsat del 24 de mayo y 28 de agosto de 2005.

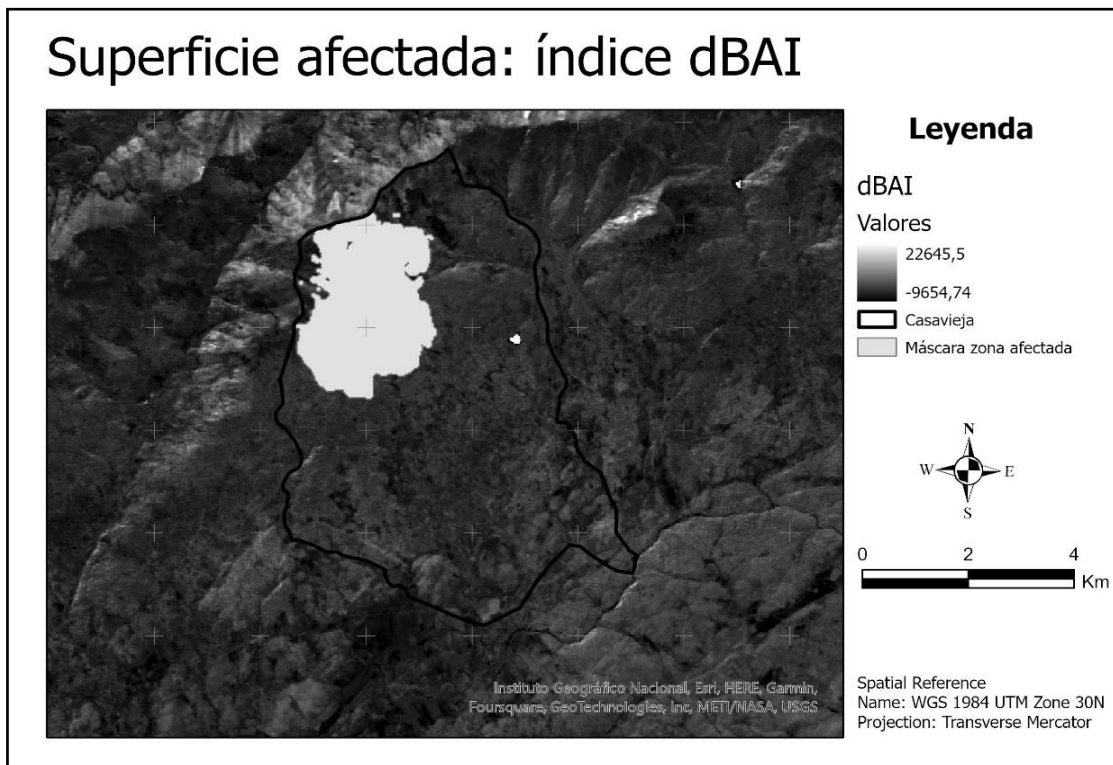


Figura 14. Índice BAI con la máscara de la superficie quemada por el incendio de acuerdo con los valores umbrales de Bastarrika et al. (2011).

Al medir la superficie afectada, con la diferencia de los índices NDVI se obtienen 722,07 ha; con el índice NBR-post se obtienen 533,89 ha afectadas y, por último, con la diferencia de los índices BAI se obtiene una superficie de 687,41 ha afectadas.

A continuación, se observa en la tabla 17 cuál de los índices ha resultado más preciso a la hora de evaluar el incendio.

Tabla 17. Evaluación de la precisión por separabilidad de la zona afectada de los índices estudiados mediante el método de Chuvieco y Bastarrika (2006).

Índice	Categoría	Media	STD	M
dNDVI	Quemado	0,92	0,27	1,75
	No quemado	0,06	0,23	
dBAI	Quemado	0,99	0,11	4,13
	No quemado	0,02	0,12	
NBR-post	Quemado	0,95	0,21	0,77
	No quemado	0,41	0,49	

De las 3 metodologías (índices espectrales) para obtener la superficie afectada por el incendio la que mejor resultado da en cuanto a discriminar zonas quemadas y no quemadas es la del índice BAI (diferencial). Con esta metodología se obtienen 687,41 ha de superficie quemada, y será con la que se haga el resto del estudio (análisis de severidad y regeneración). El índice NDVI obtiene también un valor bueno de separabilidad de zonas quemadas, sin embargo, observando las cartografías obtenidas (figuras 14 y 11) siendo parecidas, con el NDVI se ven islas fuera de la superficie quemada. Por último, el que peor resultado da a la hora de discriminar los dos tipos de superficie es el NBR-post incendio.

No obstante, la sensibilidad de los índices espectrales depende de cada zona de estudio, habiéndose aplicado inicialmente umbrales correspondientes a otro trabajo en las mismas condiciones, por tanto, se debería evaluar el resultado mediante algún otro procedimiento, como pudiera ser, en caso de disponer de datos o alguna capa oficial, la evaluación de la precisión, sensibilidad y especificidad mediante índices estadísticos y una matriz de confusión.

Daños, severidad y regeneración

De las 687,41 ha resultantes con el índice dBAI, el 100% se encuentran dentro de zona catalogada como monte público perteneciente al ayuntamiento de Casavieja. Dentro de las coberturas afectadas, en la figura 15 se muestra la relación porcentual respecto al total de lo quemado para cada tipo.

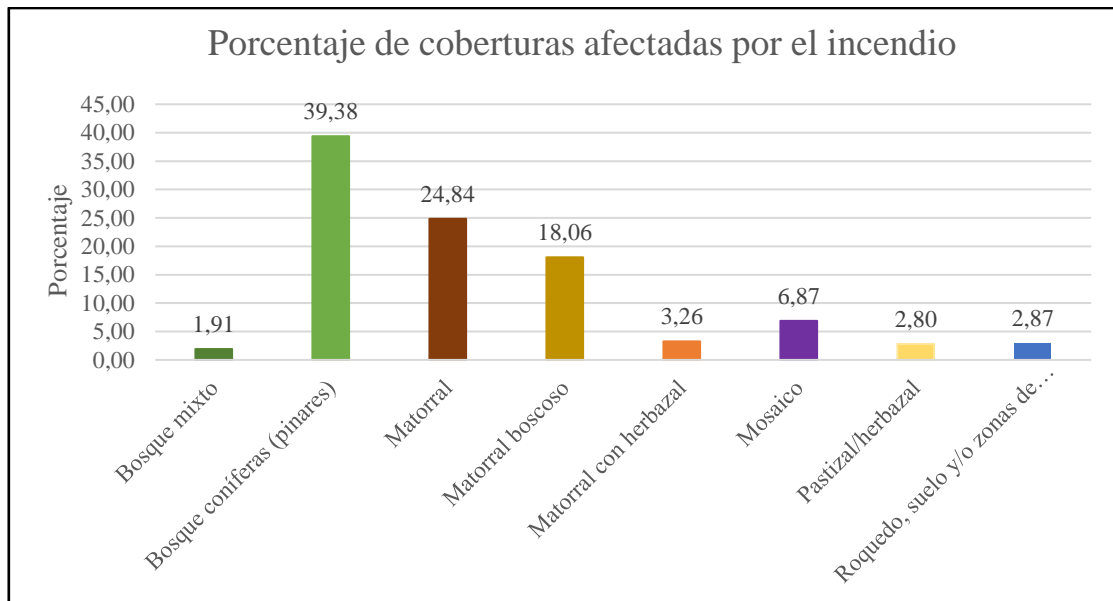


Figura 15. Porcentaje de los tipos de coberturas afectados dentro de la superficie quemada.

La mayor parte de las superficies afectadas fueron pinarés, pinar con abundantes matorrales pirófitos (jara pringosa, zarzas etc.). Hacer hincapié en ese 1,91% de bosque mixto donde se perdieron árboles centenarios y de gran importancia (como castaños y robles). Resaltar también el hecho de que el incendio llegó a zonas de transición y de alta montaña, afectando a pastos y escobas. En la figura 16 se muestran algunas imágenes, tomadas sobre el terreno días y meses después, de las superficies afectadas.



Figura 16. Daños provocados por el incendio. Primera foto (arriba a la derecha) tomada en marzo de 2006 muestra un plano frontal de cómo quedó la sierra. El resto de las fotos fueron tomadas días después de darse oficialmente por extinto y se pueden ver los daños en las distintas superficies descritas. Fuente: José Rollón, vecino de Casavieja y trabajador del ayuntamiento (agosto de 2005 y marzo de 2006).

Una vez conocidas las superficies afectadas se realiza un estudio de la severidad. Los resultados al estudiar los índices dNBR (2004 – 2006 ver figura 2 del Anexo) y RdNBR son los mostrados en la figura 17, y analizados en las figuras 18 y 19. Para el cálculo de las estadísticas se han tenido en cuenta 7679 píxeles comprendidos en la superficie afectada.

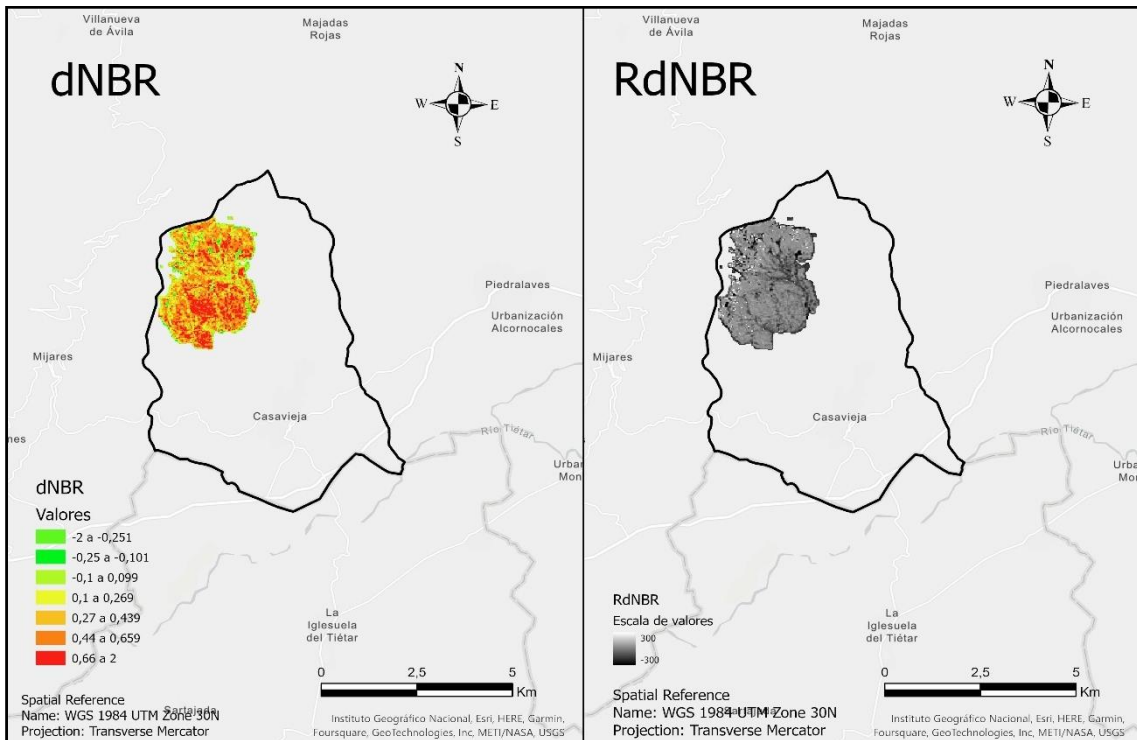


Figura 17. Índices dNBR y RdNBR para la zona quemada. El dNBR dividido en las clases propuestas por Key y Benson (2006) disponibles en la tabla 6.

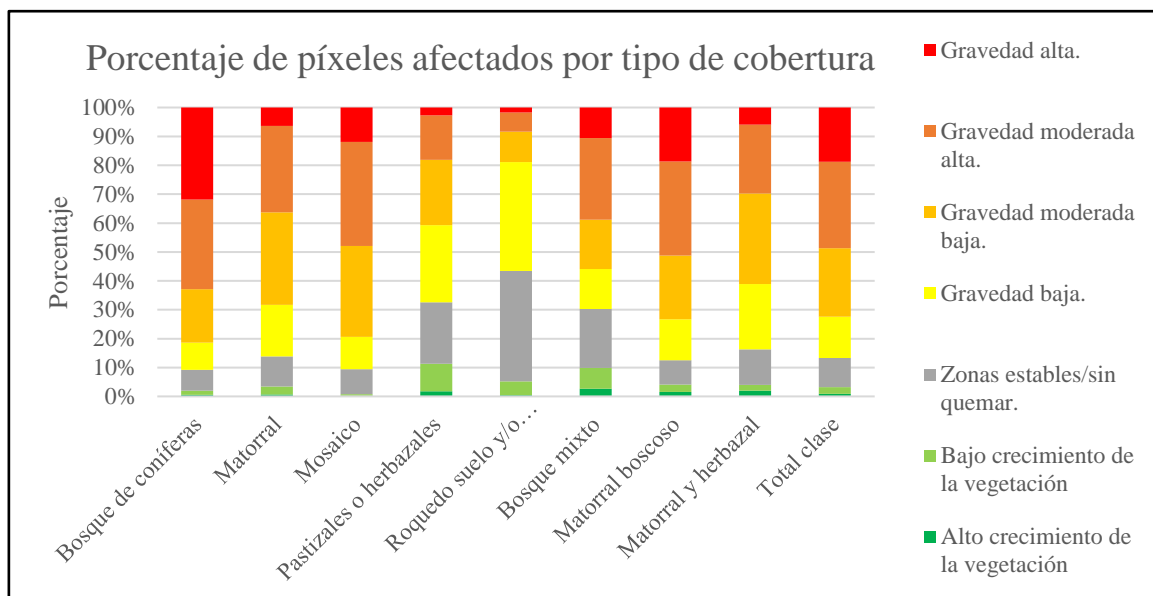


Figura 18. Estudio de la severidad del incendio en los píxeles afectados por tipo de cobertura mediante la estadística del porcentaje de las clases propuestas por Key y Benson (2006) respecto al total de píxeles para cada cobertura afectada.

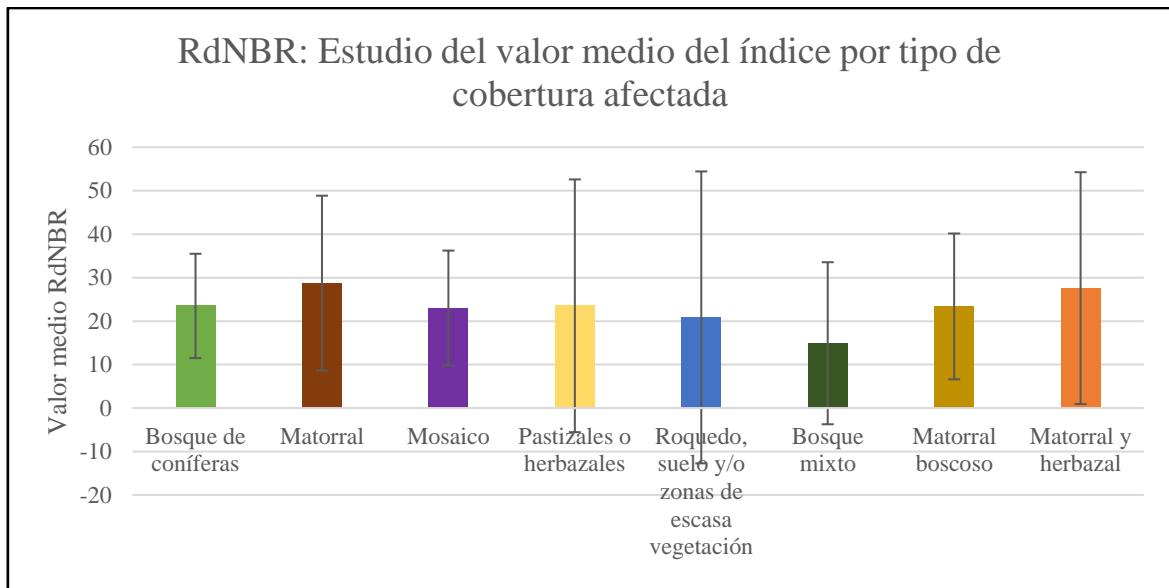


Figura 19. Valor medio del índice RdNBR de los píxeles afectados por cada tipo de cobertura.

Con la figura 17 se puede ver de manera numérica algo que, de manera visual con la figura 16, ya se intuía. La mayor parte de la superficie afectada se corresponde con las clases de severidad alta. Por tipo de cobertura las que más daños sufrieron, ya no solo por la superficie total afectada (estudiada en la figura 15), fueron los pinares (bosque de coníferas), bosque mixto y las zonas de bosque con abundantes matorrales. Este análisis se refuerza al observar en la figura 19 la media del índice RdNBR. Recordar que datos mayores que 0 indican que se ha perdido cobertura vegetal (a mayor valor mayores pérdidas en los píxeles estudiados). Se puede observar que, en todos los tipos de coberturas, como era de esperar, los valores son positivos, sin embargo, en este punto hay que considerar las desviaciones respecto a la media. Analizando este factor se puede ver que las coberturas de alta montaña poseen valores más altos de diferencia, pero también, valores inferiores a 0, que indican crecimiento de anuales y recuperación a un año del incendio.

Por otro lado, se analizarán los resultados de los índices NDVI para los años 2006, 2010 y 2015 (1, 5 y 10 años después del incendio) con los que se verá la recuperación de la zona afectada teniendo como referencia mayo de 2005. En la figura 20 se puede ver la representación y evolución de manera visual, que se analizan en las gráficas de las figuras 21, 22, 23 y 24.

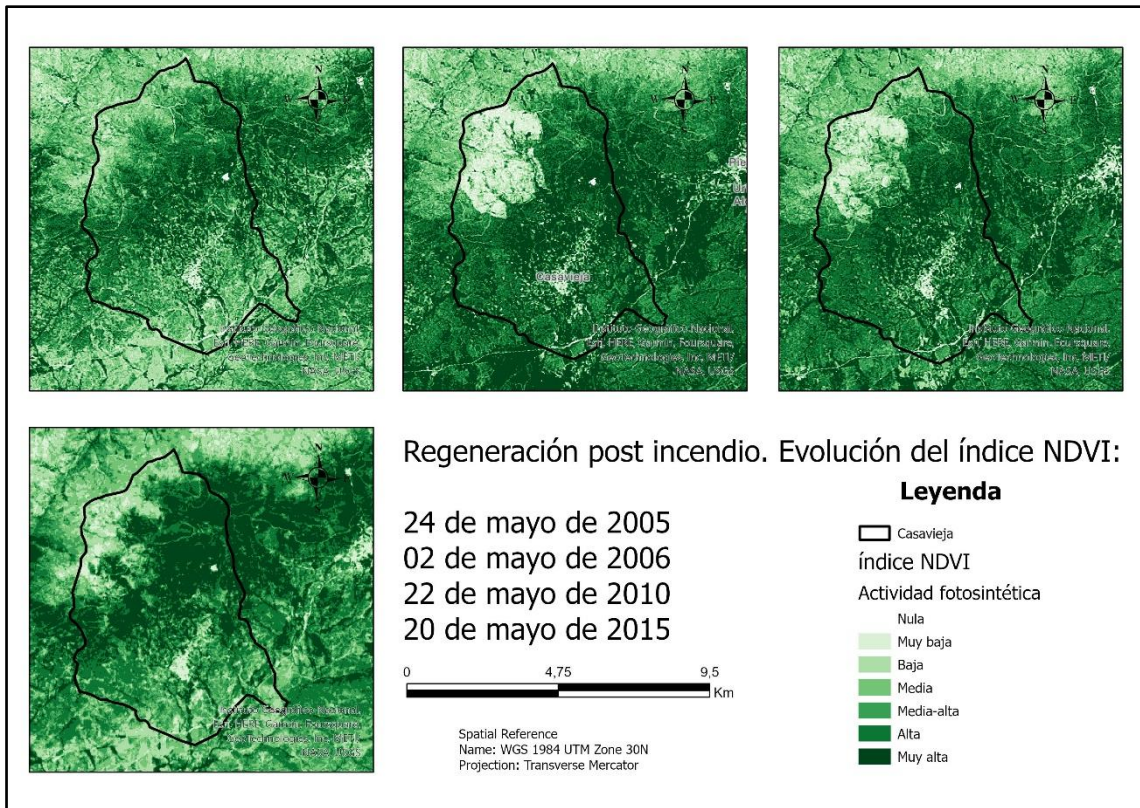


Figura 20. Evolución de los índices NDVI desde mayo de 2005 (pre-incendio) hasta mayo 2015 con los valores intermedios de 2006 y 2010 (1 y 5 años después).

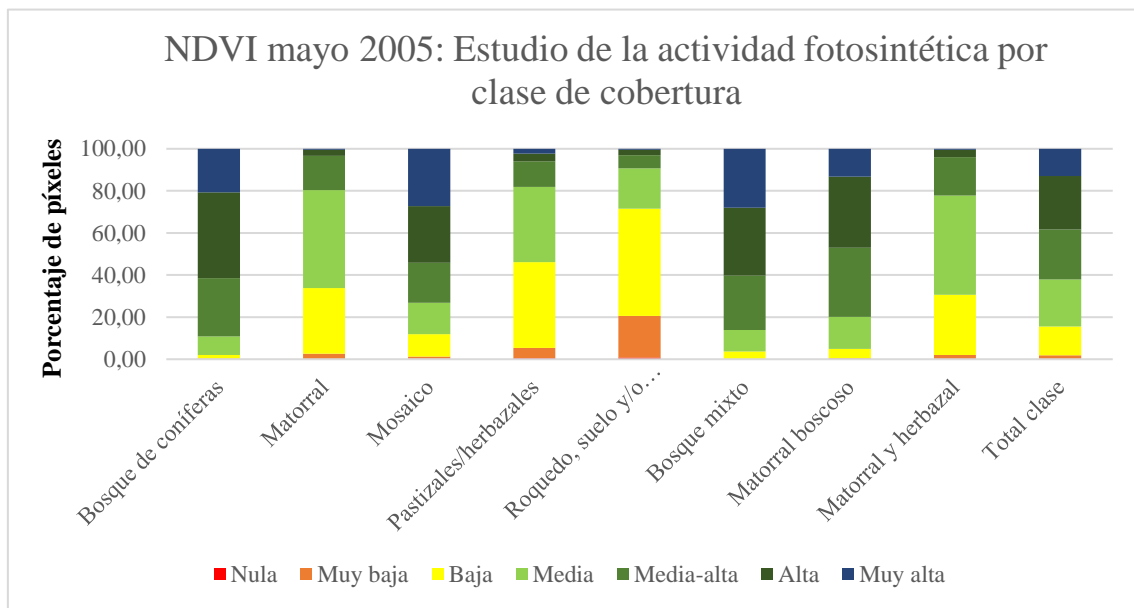


Figura 21. Análisis del índice NDVI pre-incendio, estudio de la actividad fotosintética mediante el cálculo del porcentaje de número de píxeles correspondiente a cada clase, por tipo de cobertura. Las clases empleadas son las descritas por Duncan et al. (1993).

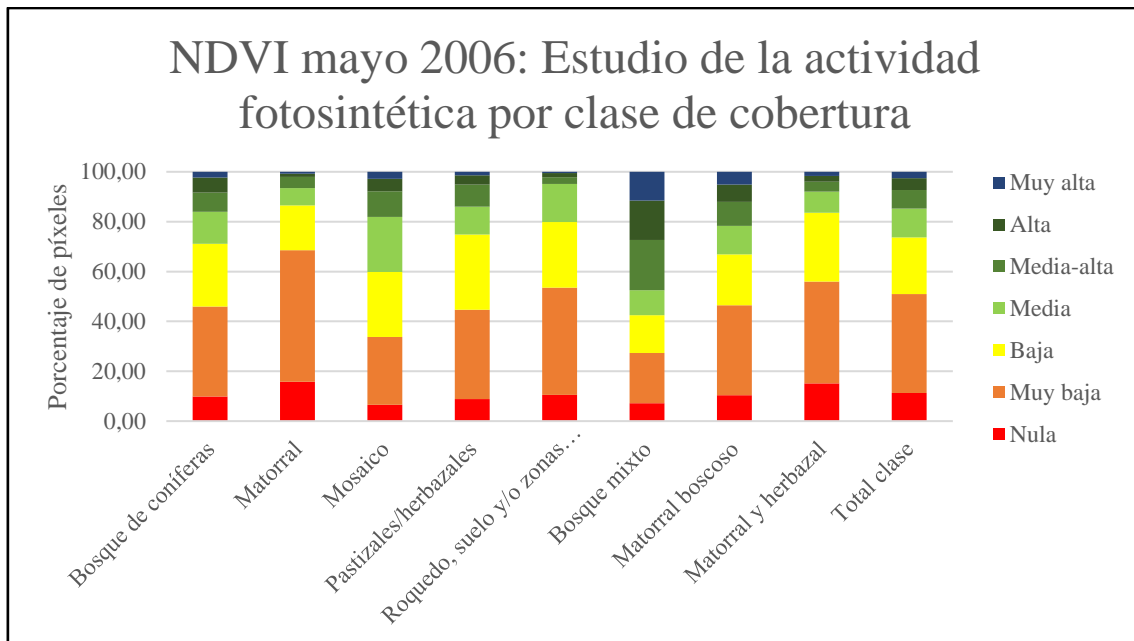


Figura 22. Análisis del índice NDVI post-incendio (2006), estudio de la actividad fotosintética mediante el cálculo del porcentaje de número de píxeles correspondiente a cada clase, por tipo de cobertura. Las clases empleadas son las descritas por Duncan et al. (1993).

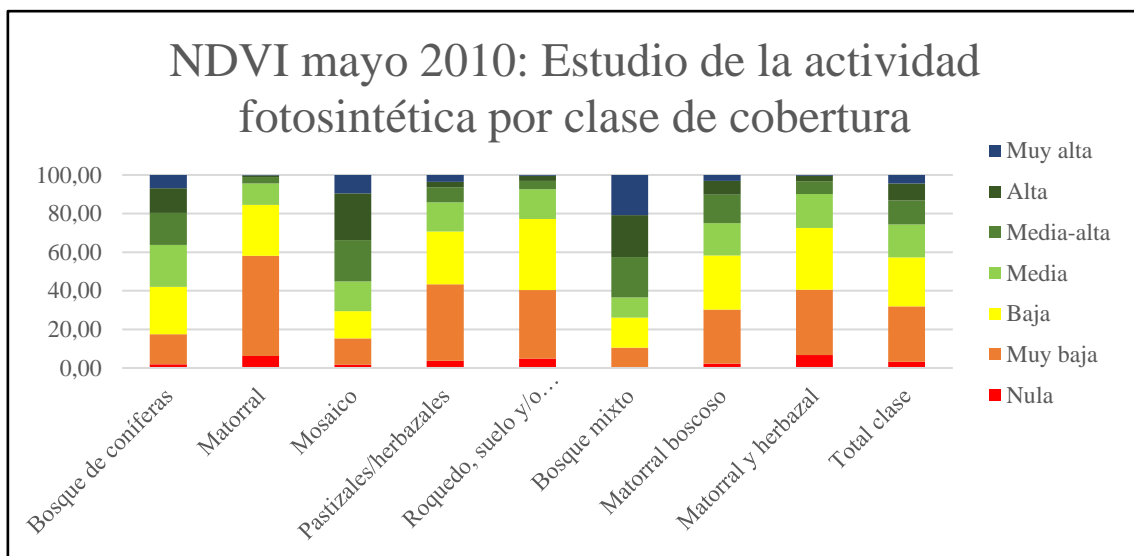


Figura 23. Análisis del índice NDVI post-incendio (2010), estudio de la actividad fotosintética mediante el cálculo del porcentaje de número de píxeles correspondiente a cada clase, por tipo de cobertura. Las clases empleadas son las descritas por Duncan et al. (1993).

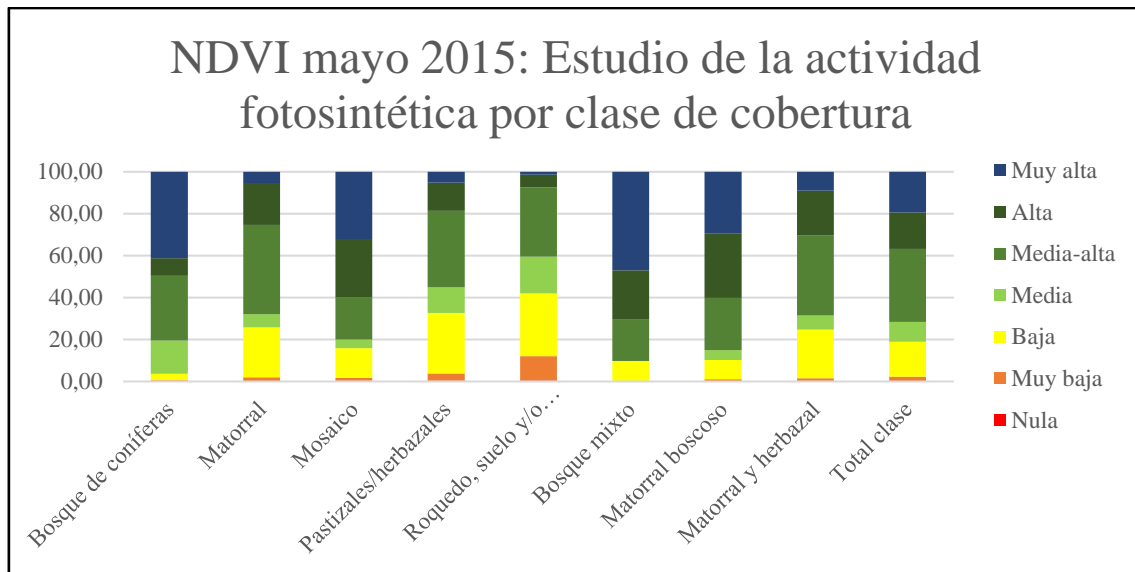


Figura 24. Análisis del índice NDVI post-incendio (2015), estudio de la actividad fotosintética mediante el cálculo del porcentaje de número de píxeles correspondiente a cada clase, por tipo de cobertura. Las clases empleadas son las descritas por Duncan et al. (1993).

A la hora de evaluar la recuperación es necesario considerar que las distintas especies vegetales responden de forma diferente al fuego. Como se ha visto en el apartado anterior donde se ha valorado la severidad, el salto de mayo de 2005 a mayo de 2006 en cuanto a actividad fotosintética de la zona afectada, es muy significativo. La actividad fotosintética es muy baja o baja y los primeros signos de recuperación de actividad eran debidos al crecimiento de anuales y de los pies que se salvaron del incendio o no se vieron 100% afectados. Se ven valores extrañamente altos en la superficie de bosque mixto afectada entendible si se tiene en cuenta que se trataba de zonas con mayor humedad y en la que, a pesar de que las pérdidas fueron pocas e importantes, fue una zona que esquivó los daños más severos. No puede decirse lo mismo de los distintos pinares y las zonas de transición y praderas. Los incendios eliminan la vegetación aérea y comienza la sucesión secundaria post-incendio (ver figura 26), clásica de en ambientes mediterráneos (Walker & del Moral, 2003). En el año 2010 sí que se aprecian ya ciertos signos de recuperación. La zona de bosque mixto recupera casi los niveles pre-incendio (naturalmente la zona afectada sigue dando valores de actividad muy baja) y en el resto de las coberturas afectadas van desapareciendo los píxeles con actividad nula y se van sustituyendo por actividad media baja (las zonas de pinares con “calvas”, praderas que, por la erosión, el crecimiento de pastos o matorral se viera reducido etc.). en un periodo de 5 años, y con una buena limpieza posterior al incendio (ver figura 25), ya se empiezan a desarrollar las plantas pirrófitas (matorral) e incluso los pinos de repoblamiento que se plantaron. Por último, en el año 2015 se ven valores de actividad iguales o superiores a los que había en mayo de 2005. Los repoblamientos con pinos, el cambiar de actividad (favorecer la recogida de resina a las cortas), y, también hay que decirlo, el abandono progresivo de la limpieza del monte y la ganadería extensiva contribuyen a un crecimiento de poblaciones de matorrales y anuales, que sumado al paso de los años (con el crecimiento de los pies repoblados y el asentamiento de los que sobrevivieron) se consigue que los valores de actividad fotosintética queden más o menos restablecidos.



Figura 25. Labores de limpieza de los pies afectados. Fuente: José Rollón, vecino y trabajador del ayuntamiento de Casavieja (abril de 2006).

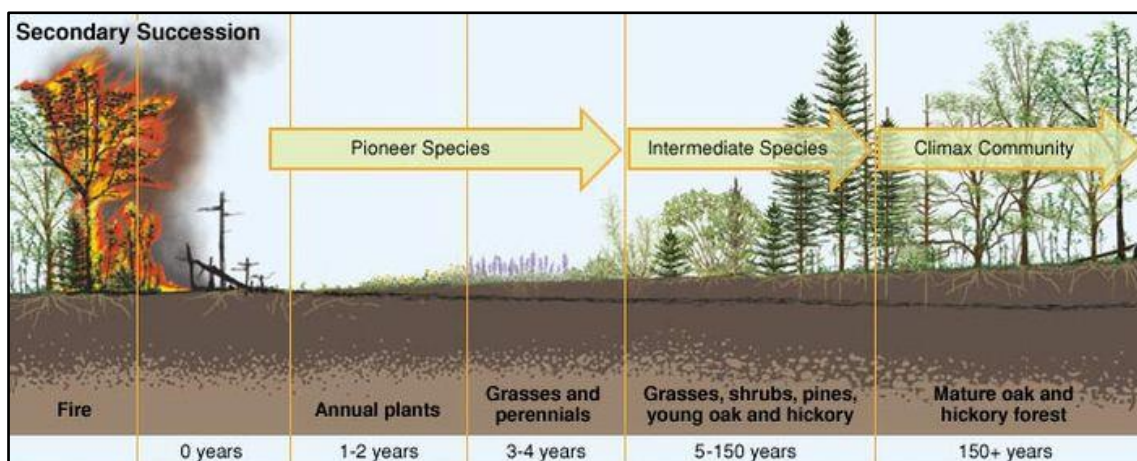


Figura 26. Esquema de una sucesión secundaria post-incendio. Fuente: imagen obtenida de naturalezacantabrica.es⁷ y perteneciente a la Encyclopedia Britannica (2006) ©.

Riesgo de incendio y probabilidad de propagación

Una vez presentada la superficie del incendio, los daños y un análisis de la recuperación, hasta diez años después, se presentan los resultados del riesgo de incendio y propagación para todo el valle del Tiétar el día 6 de agosto de 2005 y conocer cuál es la situación actual (con el riesgo de propagación el 6 de agosto de 2022). De este modo quedarían abordados todos los objetivos planteados en el trabajo.

Año 2005: Incendio.

En primer lugar, se mostrarán los resultados de riesgo de incendio y propagación para el 6 de agosto de 2005. En las figuras 27, 28 y 29 se presentan los valores del índice FWI (y los índices asociados) para las 3 estaciones estudiadas en el año 2005 (Talavera, al sur,

⁷ Disponible en: <http://www.naturalezacantabrica.es/2016/11/el-maldito-matorral.html>.

Navalmoral de la mata al Oeste y Sotillo de la Adrada, en el propio Valle del Tiétar, en la zona occidental).

Enter Station Name:		Sotillo de la Adrada							Click here to Add or Edit WX Information OR Simply enter data directly in table below						
				Wind adj Factor (%)		100%									
Date	WX Type	Temp.	RH	Wind Dir.	Adj. Wind Speed	Obs Wind Speed	24hr. Rain	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR	
24-jul-05	A = actl F = fcst	Start -up Values ----->							96,0	19	33				
25-jul-05	A	31,1	15	22	10	10,0	0,0	96,3	25	42	17,2	25	23,4	7,20	
26-jul-05	A	32,4	15	23	9	8,6	0,0	96,5	32	52	16,4	32	25,3	8,29	
27-jul-05	A	29,0	15	24	10	10,3	0,0	96,6	38	61	18,0	38	29,2	10,70	
28-jul-05	A	28,0	15	23	10	10,3	0,0	96,6	44	70	18,2	44	31,4	12,15	
29-jul-05	A	29,2	15	19	9	9,4	0,0	96,7	50	78	17,5	50	32,6	12,94	
30-jul-05	A	31,6	15	34	8	8,1	0,0	96,7	57	88	16,5	56	33,2	13,40	
31-jul-05	A	33,9	15	8	10	9,7	0,0	96,8	63	98	18,0	63	37,2	16,38	
01-ago-05	A	32,1	15	35	17	17,2	0,0	96,8	69	106	26,4	69	49,6	27,24	
02-ago-05	A	30,2	15	1	14	13,9	0,0	96,9	75	115	22,5	74	46,5	24,28	
03-ago-05	A	33,9	15	28	11	11,4	0,0	96,9	81	124	20,0	81	44,7	22,66	
04-ago-05	A	36,0	15	8	10	10,3	0,0	97,1	87	133	19,3	87	45,3	23,22	
05-ago-05	A	38,8	10	7	8	8,1	0,0	98,5	95	143	20,8	94	49,4	27,05	
06-ago-05	A	40,2	10	23	9	8,9	0,0	98,7	103	154	22,4	102	53,4	31,04	
07-ago-05	A	41,4	10	24	10	10,0	0,0	98,9	110	164	24,1	110	57,7	35,62	
08-ago-05	A	36,5	10	23	10	9,7	0,0	98,9	117	174	23,9	117	58,8	36,82	
09-ago-05	A	34,2	15	25	12	11,7	0,6	96,8	124	183	19,9	123	53,4	31,08	
10-ago-05	A	23,5	25	28	7	7,2	9,4	73,9	65	170	1,0	67	3,8	0,29	

Figura 27. Cálculo del índice de riesgo de incendio FWI y sus subíndices con los datos de la estación de Sotillo de la Adrada mediante el programa Excel del British Columbia Government (Canada).

Enter Station Name:		Navalmoral de la Mata							Click here to Add or Edit WX Information OR Simply enter data directly in table below						
				Wind adj Factor (%)		100%									
Date	WX Type	Temp.	RH	Wind Dir.	Adj. Wind Speed	Obs Wind Speed	24hr. Rain	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR	
24-jul-05	A = actl F = fcst	Start -up Values ----->							95,0	13	25				
25-jul-05	A	32,2	15	26,0	10,3	10,3	0,0	96,4	20	35	17,6	19	21,2	6,05	
26-jul-05	A	33,1	15	24,0	9,4	9,4	0,0	96,6	26	44	17,4	26	24,0	7,55	
27-jul-05	A	30,8	15	24,0	11,7	11,7	0,0	96,7	33	53	19,6	33	28,9	10,48	
28-jul-05	A	30,0	15	25,0	13,1	13,1	0,0	96,7	39	63	21,2	39	33,0	13,24	
29-jul-05	A	29,0	15	24,0	11,9	11,9	0,0	96,8	45	71	20,1	45	34,0	14,00	
30-jul-05	A	32,0	15	25,0	5,6	5,6	0,0	96,8	52	81	14,7	51	29,5	10,87	
31-jul-05	A	34,8	10	29,0	9,4	9,4	0,0	98,0	59	91	20,8	59	39,5	18,24	
01-ago-05	A	35,4	10	9,0	5,6	5,6	0,0	98,1	66	100	17,4	66	37,1	16,34	
02-ago-05	A	32,1	10	8,0	8,6	8,6	0,0	98,2	72	109	20,4	72	42,9	21,10	
03-ago-05	A	34,5	10	7,0	8,3	8,3	0,0	98,2	79	118	20,3	78	44,5	22,49	
04-ago-05	A	37,1	10	6,0	9,4	9,4	0,0	98,3	86	128	21,8	85	48,4	26,15	
05-ago-05	A	40,2	10	11,0	7,2	7,2	0,0	98,7	94	138	20,5	93	48,6	26,26	
06-ago-05	A	42,0	10	10,0	8,9	8,9	0,0	99,0	102	149	23,1	101	54,2	31,88	
07-ago-05	A	42,3	10	10,0	7,5	7,5	0,0	99,0	110	159	21,6	109	53,8	31,45	
08-ago-05	A	37,6	10	26,0	7,8	7,8	0,0	99,1	117	169	22,1	116	55,9	33,68	
09-ago-05	A	33,9	15	25,0	12,2	12,2	0,0	98,5	123	178	25,5	122	62,2	40,69	
10-ago-05	A	24,7	20	26,0	9,2	9,2	5,5	81,5	74	176	2,1	74	8,3	1,15	

Figura 28. Cálculo del índice de riesgo de incendio FWI y sus subíndices con los datos de la estación Navalmoral de la Mata mediante el programa Excel del British Columbia Government (Canada).

Enter Station Name:		Talavera de la Reina						Click here to Add or Edit WX Information OR Simply enter data directly in table below								
Date	WX Type	Temp.	RH	Wind Dir.	Wind adj Factor (%)	100%	Obs Wind Speed	24hr. Rain	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR	
24-jul-05	A = actl F = fcst	Start -up Values ----->>>							94,0	13	24					
25-jul-05	A	31,8	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,0	20	33	10,0	19	13,8	2,83	
26-jul-05	A	33,1	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,6	26	43	10,7	26	16,9	4,05	
27-jul-05	A	30,3	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,6	33	52	10,8	32	18,9	4,93	
28-jul-05	A	30,0	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,7	39	61	10,8	39	20,7	5,80	
29-jul-05	A	28,5	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,7	45	70	10,9	44	22,3	6,63	
30-jul-05	A	31,1	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,8	51	79	11,0	51	24,0	7,54	
31-jul-05	A	34,4	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,8	58	89	11,1	58	25,8	8,57	
01-ago-05	A	32,5	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,9	64	98	11,2	64	27,2	9,42	
02-ago-05	A	31,0	15	36,0	1,7	1,7	0,0	0,0	96,9	70	107	12,3	69	30,2	11,34	
03-ago-05	A	33,2	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,0	76	116	11,3	75	29,9	11,10	
04-ago-05	A	35,2	10	36,0	2,8	2,8	0,0	0,0	98,0	83	125	14,9	82	37,4	16,53	
05-ago-05	A	38,5	10	36,0	2,5	2,5	0,0	0,0	98,5	90	135	15,7	89	40,2	18,79	
06-ago-05	A	39,0	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,6	97	145	14,0	97	38,7	17,60	
07-ago-05	A	41,6	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,9	105	156	14,6	105	41,2	19,65	
08-ago-05	A	36,8	10	36,0	2,2	2,2	0,0	0,0	99,0	112	165	16,4	112	45,7	23,56	
09-ago-05	A	34,0	30	0,0	0,0	0,0	3,7	81,1	80	169	1,3	80	5,5	0,55		
10-ago-05	A	22,6	30	0,0	0,0	0,0	2,6	73,1	68	176	0,7	69	2,4	0,13		

Figura 29. Cálculo del índice de riesgo de incendio FWI y sus subíndices con los datos de la estación de Talavera de la Reina mediante el programa Excel del British Columbia Government (Canada).

A simple vista, del índice FWI se puede indicar que para los datos de las tres estaciones se repite el mismo patrón, el FWI va aumentando progresivamente y alcanza su máximo punto los días 6, 7, 8 y 9 donde el riesgo de incendio es o muy alto o extremo y caen los valores a partir del 9 gracias a las tormentas y lluvias que tuvieron lugar. Resaltar también que, en Navalmoral y Sotillo, zonas que mejor representan lo que serían las condiciones reales del Valle aquellos días, el valor del FWI es superior a 50 en esos días. Ello a pesar de que no había apenas rachas de viento elevadas (los valores de los índices ISI son bajos) y para la actualidad las temperaturas no eran del todo elevadas, si no más bien típicas de los meses de verano mediterráneos. Sin embargo, los valores del índice BUI (cantidad de combustible, que depende del DC y FFMC) son muy altos; estando por encima de 100 en los días del incendio (6-9 de agosto). Por último, hay que destacar el valor del DSR (que mide la dificultad para controlar el incendio) con los datos de Sotillo y Navalmoral para los días 6, 7, 8 y 9; se encuentra entre los 30 y los 40 (valores más altos en las fechas estudiadas), haciendo que esos días las labores de extinción fuesen más complicadas.

Una vez presentadas las tablas de los índices FWI se presenta en la figura 30 el índice BR asociado a la propagación del fuego en el Valle del Tiétar para el día 6 de agosto.

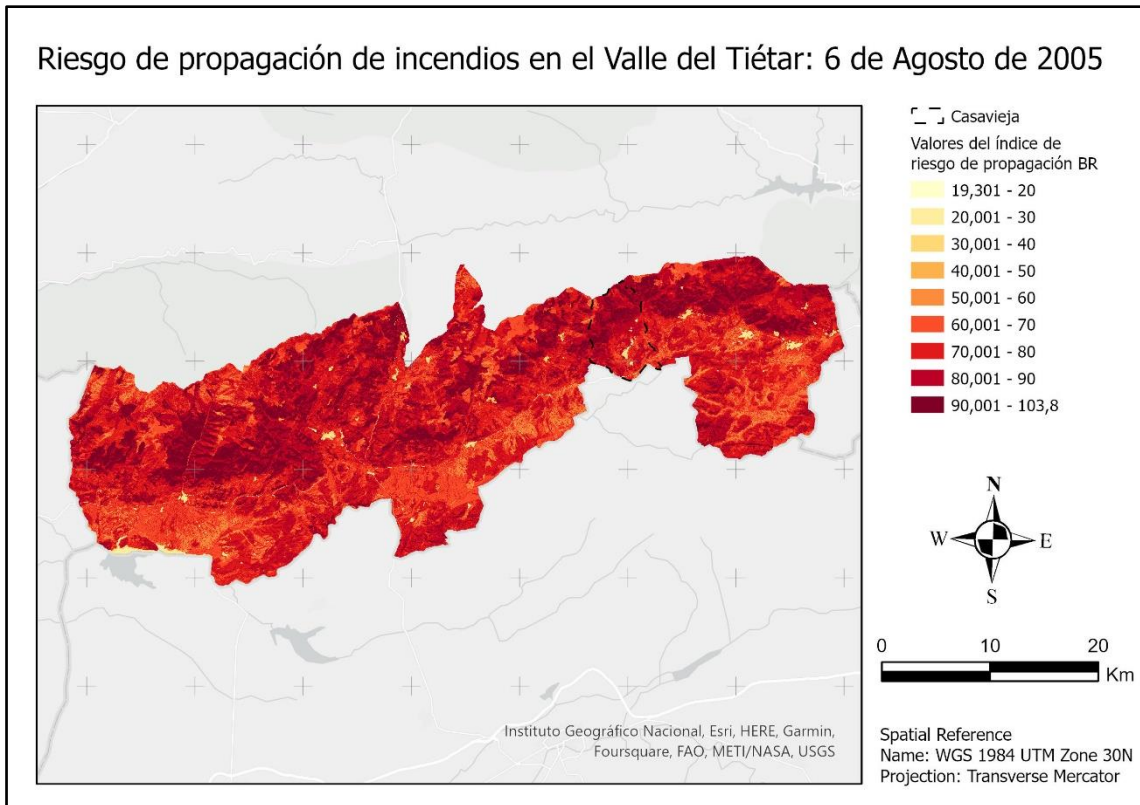


Figura 30. Representación del cálculo del índice de propagación de incendios BR en el valle del Tiétar el 6 de agosto de 2005.

Como se puede apreciar con la primera impresión, el riesgo de propagación es alto. En concreto, si se presta atención a la zona de Casavieja se ve que, exceptuando la zona del pueblo y la presa, el riesgo de propagación está por encima de 70 quedando la zona afectada por el incendio con valores por encima de los 80 y 90. Esto a pesar de que los valores del viento, que tienen un gran peso en la fórmula no son muy elevados. Pero hay que tener en cuenta las condiciones, que ya se han ido mencionando en la metodología al explicar cada factor de la fórmula empleada: la hidrografía se compone de pequeños arroyos que desembocan en el río Tiétar (al sur, que además corresponde con zonas de fincas de cultivos y praderas donde se suaviza el riesgo de propagación), las pistas forestales estaban en mejores condiciones que en la actualidad, pero no aportan una gran mitigación, las cuadrillas de retenes estaban un poco mejor que en la actualidad pero, igualmente, faltos de equipo, las coberturas predominantes son pinares, bosques mixtos y pinares con matorral abundante etc. Todo ello hace que los valores sean elevados.

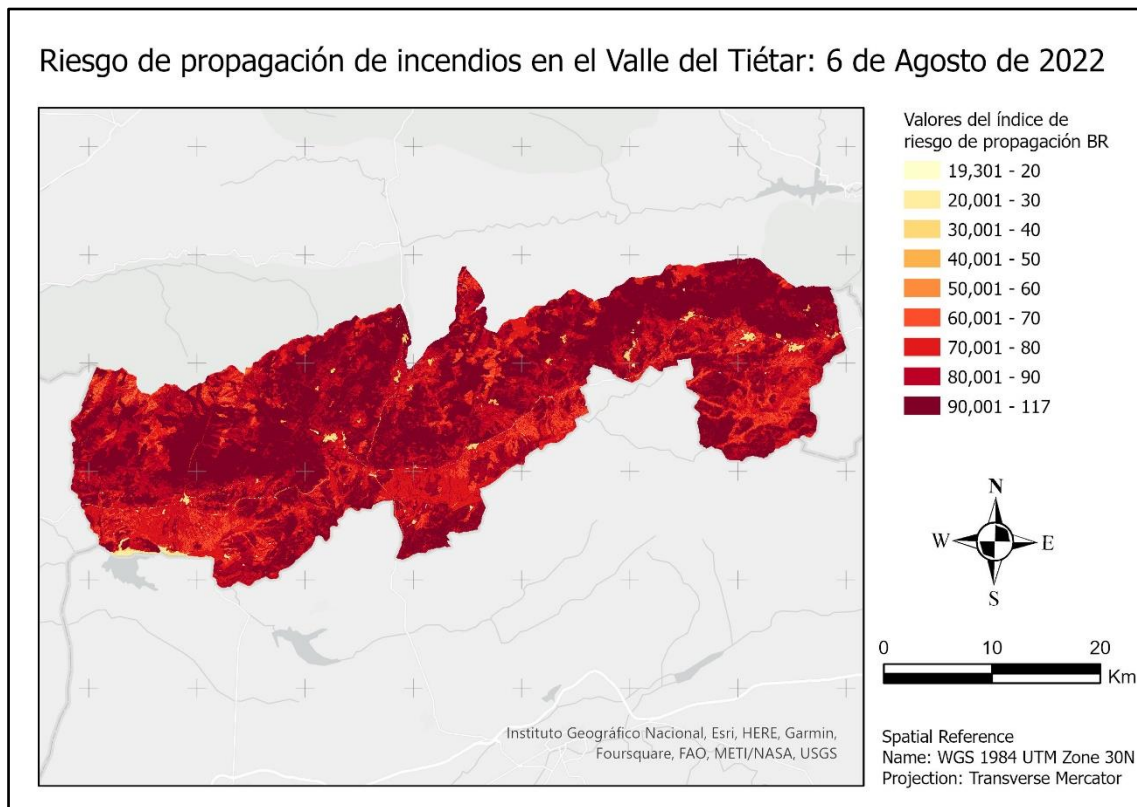


Figura 31. Representación del cálculo del índice de propagación de incendios BR en el valle del Tiétar el 6 de agosto de 2022.

En la figura 31 se muestra el riesgo de propagación (BR) en el valle el día 6 de agosto de 2022. Para este caso se ha prescindido del cálculo del índice FWI por ser conocido y de riesgo extremo para toda la región. El verano de 2022 se ha caracterizado por ser el más cálido desde que hay registros y el más seco. Se han alcanzado temperaturas superiores a los 35 grados (llegando a superar los 40 en muchos puntos del valle durante varios días) desde mediados de junio y mínimas por encima de los 25 grados. Además de la temperatura no se han registrado precipitaciones desde el mes de mayo hasta el 10 de agosto. Volviendo a la figura 31, los valores del índice BR tanto los mínimos como los máximos son superiores a los de 2005. Hay que tener en cuenta el factor de la humedad del ambiente, mucho más seco (afectando a los arroyos de la hidrografía), la limpieza del monte y de los caminos (ver Figura 32), la velocidad media del aire (cálido) también ha sido superior a la registrada en 2005.



Figura 32. Limpieza de la sierra de Casavieja. Fotografías personales tomadas en mayo 2022.

Conclusiones

Como se ha podido observar en este trabajo, emplear técnicas de teledetección y herramientas SIG (con los índices espectrales) para el análisis de los incendios puede jugar un papel importante, ya no sólo para la detección de los incendios y su comprensión una vez ocurridos, sino que, es capaz de predecir la probabilidad de que ocurra un incendio o la probabilidad de propagación por el territorio en caso de que se produzca. Además de que, entender la dinámica y el comportamiento de incendios pasados puede suponer una importante baza a la hora y prevenir y gestionar los futuros. No obstante, en estudios como el presente trabajo se hace indispensable contrastar a nivel de campo la información obtenida.

La acción antrópica es la principal responsable de los incendios forestales, bien sea por acciones deliberadas (quemados de superficies para reutilizar el terreno), acciones dolosas, imprudencias, negligencias etc.

Al no haber datos oficiales disponibles del incendio de Casavieja, este trabajo puede considerarse una aproximación a la hora de establecer cuántas hectáreas ardieron y cómo ha sido la recuperación de la zona.

A la hora de delimitar la superficie afectada se han empleado 3 índices espectrales: BAI (dBAI), NDVI (dNDVI) y NBRpost. Para este caso el índice BAI ha mostrado una mayor sensibilidad al separar superficie quemada de la superficie no quemada. Sin embargo, no se puede establecer como patrón pues depende de la zona en la que haya ocurrido el incendio (de las características que posea).

Para establecer el riesgo de incendio se ha utilizado el índice meteorológico o FWI, que hoy en día es el más extendido a nivel mundial. Este índice se basa en cuatro variables meteorológicas: viento, temperatura, humedad y precipitación. A partir de estas variables se calculan índices como son el FFMC, el DMC y el DC de los cuales se derivan otros dos: ISI y BUI (con los cuales se obtiene el FWI final). Tras el cálculo realizado para diferentes estaciones meteorológicas que dan una visión completa del Valle del Tiétar ha quedado claro que el riesgo el día del incendio estudiado (6 de agosto de 2005) en la región del Valle del Tiétar era extremo. El índice FWI para este año, 2022, no ha sido necesario calcularlo, dadas las condiciones extremas ha sido de dominio público y ampliamente mostrado en medios de información.

Además del riesgo de incendio se ha llevado a cabo el cálculo del índice BR, de probabilidad propagación del incendio, en base a los factores que intervienen en un incendio tanto a favor de este como en contra. Se ha podido observar que las especies arbóreas, concretamente los pinares (bosques de coníferas) tienen un índice de propagación mucho más alto que el resto de las especies. Es importante mencionar, también, las especies de matorrales pirófitos y la escasa limpieza, que abunda en los montes como factores que influyen de manera especial en la propagación de estos. En este caso, el 100% de la superficie afectada por el incendio se correspondía a monte público perteneciente al ayuntamiento de Casavieja; pero es importante que se facilite también la labor en las fincas privadas (pequeñas y grandes), que constituyen una parte importante de la superficie de monte del Valle.

Sobre la obtención de datos climáticos comentar la dificultad de encontrarlos en unas condiciones óptimas para poder trabajar con ellos. Se debe invertir y mejorar estos servicios, pues para casos como los incendios forestales, disponer de esta información de la manera más fiable posible es esencial.

Por último, una serie de observaciones particulares extraídas a la hora de llevar a cabo el trabajo:

1. Es imprescindible una buena limpieza del monte, independientemente de si zonas de monte público como en fincas privadas. Las empresas contratadas deben mantener las zonas públicas en unas condiciones óptimas (se puede lograr una gestión del monte como recurso a la par que mantenerlo en buenas condiciones después de las cortas y demás actividades). Del mismo modo, se ha de revisar la ley para que los propietarios de fincas que están consideradas monte puedan tener una limpieza apropiada (labor muy difícil hoy día por el riesgo de multas ante cualquier tipo de alteración de las zonas de monte).
2. No sirve de nada establecer zonas de protección si no se respeta el punto 1. El riesgo de incendios sigue estando ahí.
3. Es importante invertir en prevención, ya no solo en limpieza; los meses de invierno y sobre todo los de verano se han de mantener las cuadrillas de retenes y el material empleado en perfectas condiciones. Sería conveniente que los ayuntamientos (coordinados desde la administración general de la Comunidad Autónoma) formaran a la gente en materia de prevención. Antaño eran siempre los habitantes de las zonas donde se iniciaban los fuegos los primeros en actuar contra la propagación de las llamas, pues sabían cómo y dónde actuar.
4. El cambio climático es, sin duda, el principal responsable de que cada vez se produzcan incendios con mayor frecuencia y virulencia, pero hay que tener en cuenta también los cambios en el paradigma social: abandono de tierras de cultivo y pastoreo de ganadería extensiva (con lo que, indirectamente se vuelve al punto 1), empleo de los montes como recurso (obtención de madera y resina) primando especies de pino que, se ha visto, son más propensas a arder que las especies tradicionales.
5. Por último, en cuanto a las actuaciones llevadas a cabo a la hora de repoblar las zonas afectadas por un incendio. Se está primando, como se ha mencionado en el punto 4 las especies de las cuales se puede obtener beneficio en un periodo de tiempo “corto” en lugar de primar una sucesión lógica que culmine en un bosque autóctono. Se consiguen tiempos de recuperación inferiores, pero se mantiene un riesgo elevado de incendio a posteriori.

Referencias

- 20 Minutos. (22 de 01 de 2020). El de Gavilanes (Ávila) fue el sexto mayor incendio de 2019 en toda España, con 1.414 hectáreas quemadas. Gavilanes, Ávila, Castilla y León, España.
- 20Minutos. (07 de 08 de 2005). *El incendio de Ávila arrasa más de 700 hectáreas y se dirige hacia Piedralaves*. Casavieja, Ávila, España.
- Albini, F. A. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. *USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station*.
- Bajocco, S., & Ricotta, C. (2008). Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): Which land-cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology*, 23(2), 241 - 248. doi:10.1007/s10980-007-9176-5
- Bastarrika, A., Chuvieco, E., & Martín, M. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 1003–1012.
- Carmo, M., Moreira, F., Casimiro, P., & Vaz, P. (2011). Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 100, 169-176.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel: Barcelona.
- Chuvieco, E., & Huete, A. (2009). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. Boca Raton: CRC Press.
- Chuvieco, E., & Martín, M. (2004). *Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- datosclima.es*. (10 de 6 de 2022). Obtenido de base de datos meteorológica: <https://datosclima.es/>
- Departamento de mediambiente de Aragón. (2012). *manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*. Gobierno de Aragón.
- Duncan, J., Stow, D., Franklin, J., & Hope, A. (1993). Assessing the relationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, New Mexico. *Remote Sensing*, 14(18), 3395-3416.
- EEA. (2019). *CLC 2018 Technical guidelines*. Copenhage, Denmark: European Environment Agency.
- El Mundo. (30 de 07 de 2009). 5.000 hectáreas arrasadas en el Tiétar. Ávila, Castilla y León, España. Obtenido de <https://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/30/castillayleon/1248960554.html>

- El País. (6 de 08 de 2005). *Dos muertos en las labores de extinción de sendos fuegos en Ávila y Ourense*. Casavieja, Ávila, España.
- Enriquez, E., & Del Moral, L. (2012). *Los Incendios Forestales en España decenio 2001-2010*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., & Lampin, C. (2013). A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. *Environmental Management*, 51, 651–662. doi: 10.1007/s00267-012-9961-z
- GloVIS. (10 de 5 de 2022). Obtenido de USGS: <https://glovis.usgs.gov/app>
- Henderson, M., Kalabokidis, K., Marmaras, E., Konstantinidis, P., & Marangudakis, M. (2005). Fire and society: a comparative analysis of wildfire in Greece and the United States. *Human Ecology Review*, 12(2), 169 - 182.
- Heyerdahl, E. K., Brubaker, L. B., & Agee, J. K. (2001). Spatial controls of historical fire regimes: A multiscale example from the interior west, USA. *Ecology*, 82(3), 660 - 678. doi:10.1890/0012-9658(2001)082[0660:SCOHFR]2.0.CO;2
- Hudak, A. T., & Brockett, B. H. (2004). Mapping fire scars in a southern African savannah using landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3231 - 3243. doi:10.1080/01431160310001632666
- Hunt, E., & Rock, B. (1989). Detection of changes in leaf water content using near and middleinfrared. *Remote Sensing of Environment*, 30, 43-54.
- IGN. (18 de 5 de 2022). Obtenido de Centro de descargas: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>
- INE. (20 de 5 de 2022). Obtenido de Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero de 2021: <https://www.ine.es>
- INE. (10 de 6 de 2022). *Estadística del índice meteorológico del riesgo de incendio*. Agencia Estatal de Meteorología.
- Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León*. (1 de 6 de 2022). Obtenido de Catálogo de información geográfica: <https://idecyl.jcyl.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>
- Instituto Geográfico Nacional*. (7 de 05 de 2022). Obtenido de Plan Nacional de Observación del Territorio: SIOSE: <http://www.siose.es/web/guest/documentacion/>
- Jaque Recha, F., & Águirre de Cárcer, Í. (2002). *Bases de la física medioambiental*. Barcelona: Ariel.

- Junta de Castilla y León*. (18 de 06 de 2022). Obtenido de Instituto Tecnológico y Agrario: Mapa de Cultivos y Superficies Naturales de Castilla y León: <https://mcsncyl.itacyl.es/>
- Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G., & Rundel, P. W. (2012). Fire in the mediterranean Basim. En *Fire in Mediterranean Ecosystems. Ecology, Evolution and Management*. (págs. 83-113). Cambridge University Press.
- Kerr, J. T., & Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18(6), 299-305. doi:doi:10.1016/S0169-5347(03)00071-5
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA). En D. C. Lutens, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, & L. J. Gangi, *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system* (págs. 1-55). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD.
- Körner, C., & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31(5), 713–732. doi:10.1111/j.1365-2699.2003.01043.x
- Marlon J.R., B. P. (2008). Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. *Nature Geoscience*, 1(10), 697–702. doi:10.1038/ngeo313
- Martín, M. (1998). *Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR*. Alcalá de Henares: Ph.D. dissertation Universidad de Alcalá.
- Martín, M. d., Chuvieco, E., Gómez, I., & Ventura, G. (2004). Evaluación de métodos de composición multitemporal para la cartografía de área quemada con imágenes Terra-MODIS. En C. Conesa García, Y. Álvarez Rogel, & J. B. Martínez Guevara, *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección*. (Vol. 2, págs. 247-263). Murcia: Servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Mermoz, M., Kitzberger, T., & Veblen, T. T. (2005). Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in patagonian forests and shrublands. *Ecology*, 86(10), 2705 - 2715. doi:10.1890/04-1850
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66-80. doi:10.1016/j.rse.2006.12.006
- Millington, J., Romero-Calcerrada, R., Wainwright, J., & Perry, G. (2008). An agent-based model of mediterranean agricultural land-use/cover change for examining wildfire risk. *JASSS*, 11(4).

- Mitri, G. H., & Gitas, I. Z. (2004). A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 13(3), 367 - 376. doi:10.1071/WF03079
- Pausas, J. G., & Keely, J. E. (2009). Burning story: the role of fire in the history of life. *Bioscience*, 59(7), 593–601. doi:10.1525/bio.2009.59.7.10
- Pérez-Cabello, F., Montorio, R., García-Martín, A., & De la Riva, J. (2007). Evolution of dNBRextended in terms of different fire-severity levels and plant communities in wildfires areas of the Pre-Pyrenees (Spain). En *TOWARDS AN OPERATIONAL USE OF REMOTE SENSING IN FOREST FIRE MANAGEMENT* (pág. 242).
- Romero-Calcerrada, R., Novillo, C., Millington, J. A., & Gómez-Jiménez, I. (2008). GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). *Landscape Ecol*, 23, 341–354. doi:10.1007/s10980-008-9190-2
- Rosenqvist, Å., Milne, A., Lucas, R., Imhoff, M., & Dobson, C. (2003). A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. *Environmental Science and Policy*, 6(5), 441 - 455. doi:10.1016/S1462-9011(03)00070-4
- Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station*.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., & Harlan, J. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. *Greenbelt, MD. USA: NASA/GSFC*.
- San Miguel-Ayanz, J., Ravail, N., Kelha, V., & Ollero, A. (2005). Active Fire Detection for Fire Emergency Management: Potential and Limitations for the Operational Use of Remote Sensing. *Natural Hazards*, 35, 361–376. doi:10.1007/s11069-004-1797-2
- Troitiño, M., & Troitiño, L. (2019). Los desajustes entre la organización político-administrativa y las realidades territoriales: La articulación funcional del Valle del Tiétar Abulense. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 39(1), 201-222. doi:10.5209/aguc.64683
- USGS. (10 de 6 de 2022). Obtenido de Landsat 7 & 8 Data Users Handbook: Mission Information: <https://www.usgs.gov/>
- Van Wagner, C. E. (1987). *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Headquarters, Ottawa: Canadian Forestry Service. Forestry Technical Report 35. 35 p.
- Van Wagner, C. E., & Pickett, T. L. (1985). *Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Chalk River, Ontario: Canadian

Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute. Forestry Technical Report 33. 18 p.

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., & Matsinos, I. (2009). Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards*, 50(1), 125 - 143. doi:10.1007/s11069-008-9326-3

Vázquez, A., & Moreno, J. M. (2001). Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management*, 147(1), 55-65. doi:10.1016/S0378-1127(00)00436-9

Visor del Atlas Climático. (11 de 06 de 2022). Obtenido de AEMET:
<http://agroclimap.aemet.es/#>

Walker, L. R., & del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press.

Anexos

Tablas

Tabla 1. Municipios que componen el Valle del Tiétar

Municipio	Habitantes	Superficie (Km ²)
La Adrada	2757	58,66
El Arenal	943	27,08
Arenas de San Pedro	6434	194,61
Candeleda	5049	213,32
Casavieja	1422	39,23
Casillas	646	11,98
Cuevas del Valle	514	19,17
Fresnedilla	110	24,52
Gavilanes	576	29,15
Guisando	522	38,32
Higuera de las Dueñas	266	35,00
El Hornillo	281	23,27
Lanzahíta	815	33,67
Mijares	743	46,95
Mombeltrán	934	49,91
Pedro Bernardo	807	69,00
Piedralaves	2136	55,24
Poyales del Hoyo	428	3,38
San Esteban del Valle	736	39,34
Santa Cruz del Valle	324	29,62
Santa María del Tiétar	484	11,97
Sotillo de la Adrada	4721	43,18
Villarejo del Valle	332	41,59

Tabla 2. Niveles del Corine Land Cover. Fuente: (EEA, 2019).

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
1. Superficies artificiales	1.1 Tejido urbano	1.1.1 Tejido urbano continuo	
		1.1.2 tejido urbano discontinuo	
	1.2 Zonas industriales, comerciales y de transportes	1.2.1 Zonas industriales o comerciales	
		1.2.2 Redes de carreteras y ferrocarril	
		1.2.3 Puertos	
		1.2.4 Aeropuertos	
	1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	1.3.1 Minas	
		1.3.2 Escombreras y vertederos	
		1.3.3 Zonas de construcción	
	1.4 Zonas verdes artificiales, no agrícolas	1.4.1 Zonas verdes urbanas	
		1.4.2 Instalaciones deportivas	
	2. Zonas Agrícolas	2.1 Tierras de Labor	2.1.1 Tierras de labor en secano
			2.1.2 Terrenos regados permanentemente
2.1.3 Arrozales			
2.2 Cultivos permanentes		2.2.1 Viñedos	
		2.2.2 Frutales	
		2.2.3 Olivares	
2.3 Praderas		2.3.1 Praderas	
2.4 Zonas agrícolas heterogéneas		2.4.1 Cultivos anuales con permanentes	
		2.4.2 Mosaico	
		2.4.3 terrenos agrícolas con parte natural	
		2.4.4 Sistemas agroforestales	
3. Zonas forestales, con vegetación natural y espacios abiertos		3.1 Bosques	3.1.1 Frondosas
			3.1.2 Coníferas
	3.1.3 Mixto		
	3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.1 Pastizales	
		3.2.2 Matorrales	
		3.2.3 Vegetación esclerófila	
		3.2.4 Matorral boscoso de transición	
	3.3 Espacios abiertos con poca vegetación	3.3.1 Playas, dunas y arenales	
		3.3.2 Roquedo	
		3.3.3 Espacios de escasa vegetación	
		3.3.4 Zonas quemadas	
		3.3.5 Glaciares/nieves permanentes	

4. Zonas húmedas	4.1 Zonas húmedas continentales	4.1.1 Humedales y zonas pantanosas
		4.1.2 Turberas
	4.2 Zonas húmedas litorales	4.2.1 Marismas
		4.2.2 Salinas
4.2.3 Llanuras intermareales		
5. Superficies de agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Cursos de agua
		5.1.2 Láminas de agua
	5.2 Aguas marinas	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Estuarios
		5.2.3 Mares y océanos

Tabla 3. Informe climático Valle del Tiétar 2021. Fuente: (Visor del Atlas Climático, 2022).

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Unidades	STD
Días con mínimas T°C>20° en verano	8,2	29,6	16,9	días	3,4
Días con mínimas T°C<0° en invierno	16,0	155,4	55,6	días	29,2
Días con máximas T°C>25° en verano	68,9	87,8	81,7	días	3,6
Días con máximas T°C>25°; anual	92,8	150,4	131,2	días	10,2
Media de las mínimas en Diciembre	-5,4	4,6	1,9	°C	2,0
Media de las máximas en Diciembre	3,4	13,3	10,3	°C	1,9
Media de las mínimas en Noviembre	-3,5	7,2	4	°C	2,1
Media de las máximas en Noviembre	6,8	17,5	14,1	°C	2,1
Media de las mínimas en Octubre	0,0	11,6	8,3	°C	2,3
Media de las máximas en Octubre	12,4	23,4	20,2	°C	2,2
Media de las mínimas en Septiembre	4,1	12,6	12,5	°C	2,4
Media de las máximas en Septiembre	21,5	31,1	28,1	°C	2,0
Media de las mínimas en Agosto	7,2	18,7	15,4	°C	2,3
Media de las máximas en Agosto	27,8	35,5	33	°C	1,7
Media de las mínimas en Julio	7,5	18,7	15,5	°C	2,3
Media de las máximas en Julio	28,1	35,5	33,2	°C	1,7
Media de las mínimas en Junio	4,3	15,4	12,4	°C	2,3
Media de las máximas en Junio	21,4	30,9	27,9	°C	2,1
Media de las mínimas en Mayo	0,6	11,4	8,4	°C	2,2
Media de las máximas en Mayo	14,1	25,1	21,5	°C	2,3
Media de las mínimas en Abril	-2,9	8,1	5	°C	2,3
Media de las máximas en Abril	8,8	20,6	17,3	°C	2,4
Media de las mínimas en Marzo	-4,1	6,4	3,4	°C	2,2
Media de las máximas en Marzo	7,5	19,0	15,5	°C	2,3
Media de las mínimas en Febrero	-5,7	4,9	1,7	°C	2,1
Media de las máximas en Febrero	4,1	15,3	11,8	°C	2,2
Media de las mínimas Enero	-6,5	3,5	0,7	°C	2,0
Media de las máximas en Enero	2,5	12,9	9,8	°C	2,2
Número medio de días con precipitación>10mm; anual	24,0	47,8	33,6	días	4,6
Número medio de días con precipitación>1 mm; verano	5,0	13,0	7,9	días	1,7
Precipitación media anual	696,0	1779,0	1078	mm	219,0
Precipitación media en Diciembre	109,0	306,0	185	mm	38,0
Precipitación media en Noviembre	87,0	248,0	145	mm	31,0
Precipitación media en Octubre	72,0	204,0	124	mm	28,0
Precipitación media en Septiembre	30,0	81,0	48	mm	10,0
Precipitación media en Agosto	8,0	22,0	13	mm	3,0
Precipitación media en Julio	8,0	33,0	16	mm	5,0
Precipitación media en Junio	23,0	71,0	40	mm	9,0
Precipitación media en Mayo	68,0	164,0	96	mm	20,0
Precipitación media en Abril	68,0	180,0	103	mm	22,0
Precipitación media en Marzo	41,0	108,0	65	mm	12,0
Precipitación media en Febrero	62,0	160,0	101	mm	21,0
Precipitación media en Enero	82,0	220,0	134	mm	27,0

Tabla 4. Datos meteorológicos de la estación de Sotillo para el año 2005 (última semana de julio y primeros 10 días de agosto).

Día	Temp máx. (°C)	Temp mín. (°C)	Temp media (°C)	Precip. (l/m ²)	Humedad atm. (%)	Vel. máx viento (m/s)	Vel. media viento (m/s)	Dirección viento(°)
25 de julio	31,1	18,9	25,0	0,0	10 a 40	10,0	2,2	22,0
26 de julio	32,4	15,9	24,2	0,0	10 a 40	8,6	1,9	23,0
27 de julio	29,0	19,3	24,2	0,3	10 a 45	10,3	2,2	24,0
28 de julio	28,0	17,7	22,9	0,0	10 a 40	10,3	1,9	23,0
29 de julio	29,2	15,2	22,2	0,0	10 a 40	9,4	2,5	19,0
30 de julio	31,6	13,0	22,3	0,0	10 a 40	8,1	1,1	34,0
31 de julio	33,9	16,5	25,2	0,0	10 a 40	9,7	2,8	8,0
1 de agosto	32,1	16,3	24,2	0,0	10 a 40	17,2	1,7	35,0
2 de agosto	30,2	16,7	23,5	0,0	10 a 40	13,9	2,8	1,0
3 de agosto	33,9	17,1	25,5	0,0	10 a 40	11,4	1,9	28,0
4 de agosto	36,0	20,8	28,4	0,0	10 a 40	10,3	2,5	8,0
5 de agosto	38,8	23,1	31,0	0,0	10 a 40	8,1	2,5	7,0
6 de agosto	40,2	19,5	29,9	0,0	10 a 40	8,9	1,4	23,0
7 de agosto	41,4	21,2	31,3	0,0	10 a 40	10,0	2,5	24,0
8 de agosto	36,5	19,1	27,8	0,0	10 a 40	9,7	1,4	23,0
9 de agosto	34,2	16,1	25,2	0,6	10 a 45	11,7	2,5	25,0
10 de agosto	23,5	16,9	20,2	9,4	50 al 60	7,2	1,4	28,0

Tabla 5. Datos meteorológicos de la estación de Talavera de la Reina para el año 2005 (última semana de julio y primeros 10 días de agosto).

Día	Temp máx. (°C)	Temp mín. (°C)	Temp media (°C)	Precip. (l/m ²)	Humedad atm. (%)	Vel. máx viento (m/s)	Vel. Media viento (m/s)	Dirección viento (°)
25 de julio	31,8	19,3	25,6	0,0	15 a 35	0,0	0,0	0,0
26 de julio	33,1	16,8	25,0	0,0	15 a 35	0,0	0,0	0,0
27 de julio	30,3	20,3	25,3	0,0	15 a 35	0,0	0,0	0,0
28 de julio	30,0	18,5	24,3	0,0	15 a 40	0,0	0,0	0,0
29 de julio	28,5	14,9	21,7	0,0	15 a 40	0,0	0,0	0,0
30 de julio	31,1	12,1	21,6	0,0	15 a 40	0,0	0,0	0,0
31 de julio	34,4	15,2	24,8	0,0	10 a 35	0,0	0,0	0,0
1 de agosto	32,5	15,7	24,1	0,0	15 a 35	0,0	0,0	0,0
2 de agosto	31,0	17,2	24,1	0,0	15 a 35	1,7	0,0	36,0
3 de agosto	33,2	17,6	25,4	0,0	15 a 35	0,0	0,0	0,0
4 de agosto	35,2	17,3	26,3	0,0	10 a 35	2,8	0,0	36,0
5 de agosto	38,5	18,7	28,6	0,0	10 a 35	2,5	0,0	36,0
6 de agosto	39,0	19,0	29,0	0,0	10 a 30	0,0	0,0	0,0
7 de agosto	41,6	20,2	30,9	0,0	10 a 30	0,0	0,0	0,0
8 de agosto	36,8	18,2	27,5	0,0	10 a 30	2,2	0,0	36,0
9 de agosto	34,0	14,6	24,3	3,7	30 a 60	0,0	0,0	0,0
10 de agosto	22,6	17,6	20,1	2,6	30 a 60	0,0	0,0	0,0

Tabla 6. Datos meteorológicos de la estación Navalморal de la Mata para el año 2005 (última semana de julio y primeros 10 días de agosto).

Día	Temp máx. (°C)	Temp mín. (°C)	Temp media (°C)	Precip. (l/m ²)	Humedad atm. (%)	Vel. Máx viento (m/s)	Vel. Media viento (m/s)	Dirección viento (°)
25 de julio	32,2	18,7	25,5	0,0	15 a 35	10,3	3,1	26,0
26 de julio	33,1	18,9	26,0	0,0	15 a 35	9,4	2,2	24,0
27 de julio	30,8	19,4	25,1	0,0	15 a 35	11,7	3,3	24,0
28 de julio	30,0	18,5	24,3	0,0	15 a 40	13,1	3,3	25,0
29 de julio	29,0	16,1	22,6	0,0	15 a 50	11,9	4,7	24,0
30 de julio	32,0	13,4	22,7	0,0	15 a 50	5,6	1,7	25,0
31 de julio	34,8	14,5	24,7	0,0	10 a 45	9,4	1,4	29,0
1 de agosto	35,4	16,0	25,7	0,0	10 a 40	5,6	1,1	9,0
2 de agosto	32,1	18,4	25,3	0,0	10 a 40	8,6	1,9	8,0
3 de agosto	34,5	16,4	25,5	0,0	10 a 40	8,3	3,1	7,0
4 de agosto	37,1	15,9	26,5	0,0	10 a 45	9,4	2,8	6,0
5 de agosto	40,2	20,0	30,1	0,0	10 a 35	7,2	1,9	11,0
6 de agosto	42,0	19,1	30,6	0,0	10 a 35	8,9	2,2	10,0
7 de agosto	42,3	20,9	31,6	0,0	10 a 35	7,5	1,9	10,0
8 de agosto	37,6	22,5	30,1	0,0	10 a 35	7,8	2,2	26,0
9 de agosto	33,9	15,6	24,8	0,0	15 a 45	12,2	3,3	25,0
10 de agosto	24,7	18,5	21,6	5,5	20 a 60	9,2	1,7	26,0

Tabla 7. Datos climáticos del día 6 de agosto de 2022 en los municipios del Valle del Tiétar.

Municipios del Tiétar	Temp máx. (°C)	Temp mín. (°C)	Temp media (°C)	Precip. (l/m2)	Humedad atm. (%)	Vel. Media viento (m/s)	Dirección viento(°)
La Adrada	38	22	30,0	0,0	15 a 55	10	220
El Arenal	34	16	25,0	0,0	15 a 65	10	205
Arenas de San Pedro	37	19	28,0	0,0	15 a 40	5	212
Candeleda	39	20	29,5	0,0	15 a 45	5	212
Casavieja	38	20	29,0	0,0	15 a 55	5	225
Casillas	36	20	28,0	0,0	15 a 60	15	229
Cuevas del Valle	35	13	24,0	0,0	15 a 45	10	183
Fresnedilla	37	22	29,5	0,0	15 a 55	5	232
Gavilanes	36	19	27,5	0,0	15 a 60	10	212
Guisando	34	17	25,5	0,0	15 a 65	10	205
Higuera de las Dueñas	37	22	29,5	0,0	15 a 55	5	252
El Hornillo	34	16	25,0	0,0	15 a 65	10	205
Lanzahíta	38	20	29,0	0,0	15 a 45	10	220
Mijares	34	17	25,5	0,0	15 a 60	10	212
Mombeltrán	36	17	26,5	0,0	15 a 50	10	205
Pedro Bernardo	35	17	26,0	0,0	15 a 55	10	230
Piedralaves	36	20	28,0	0,0	15 a 55	5	220
Poyales del Hoyo	37	19	28,0	0,0	15 a 45	10	205
San Esteban del Valle	36	15	25,5	0,0	15 a 55	10	212
Santa Cruz del Valle	36	17	26,5	0,0	15 a 55	10	212
Santa María del Tiétar	36	22	29,0	0,0	15 a 55	5	232
Sotillo de la Adrada	38	22	30,0	0,0	15 a 55	10	229
Villarejo del Valle	35	14	24,5	0,0	15 a 50	10	183

Figuras

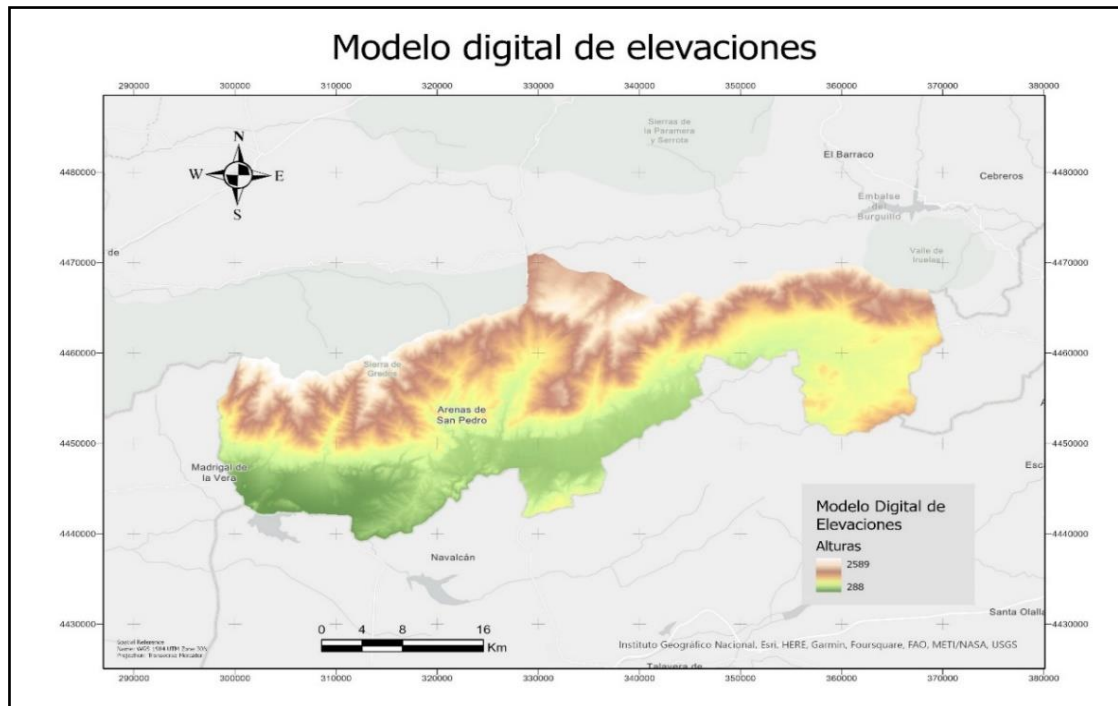


Figura 1. Modelo Digital de Elevaciones del Valle del Tiétar.

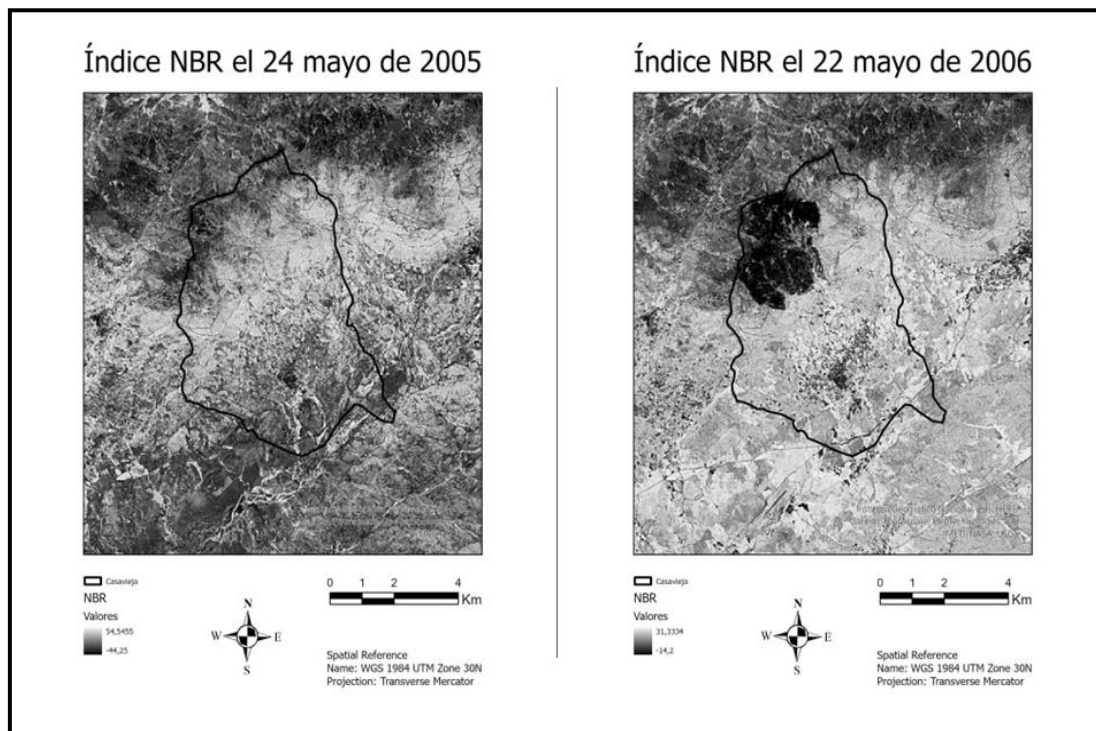


Figura 2. Índices NBR empleados para los cálculos de los índices de severidad en Casavieja.

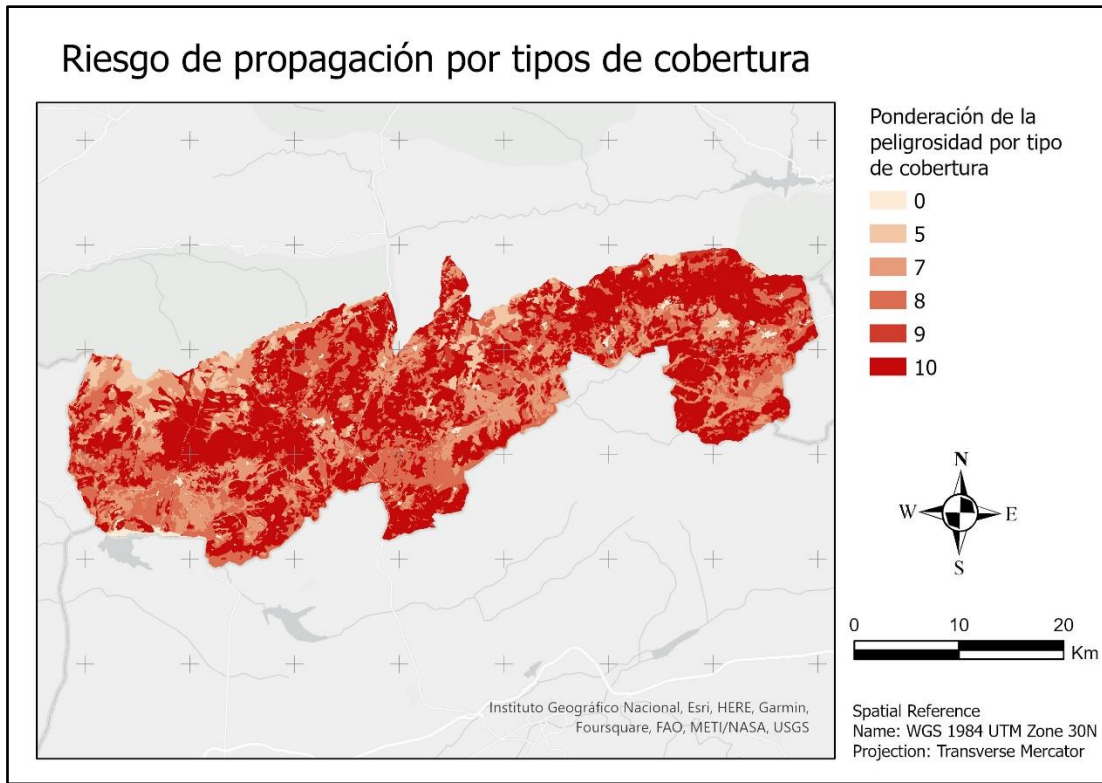


Figura 3. Riesgo de propagación de incendios en el Valle del Tiétar asociado al tipo de superficie del suelo.

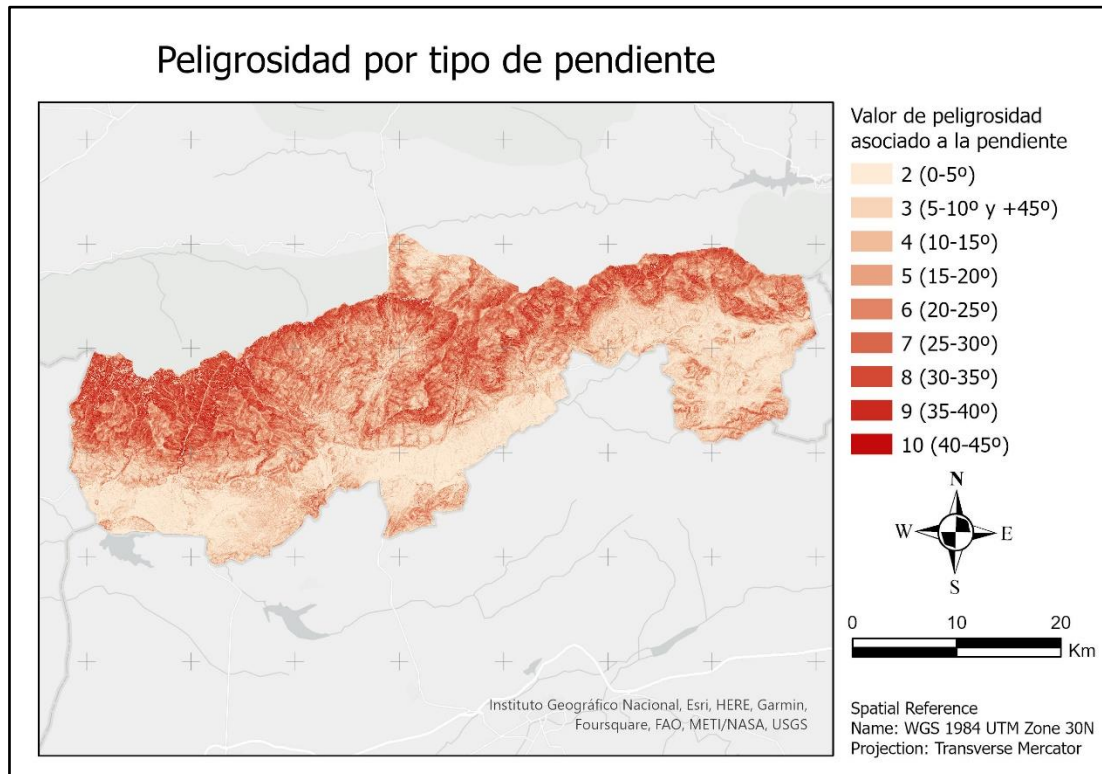


Figura 4. Riesgo de propagación de incendios en el Valle del Tiétar asociado a la pendiente.

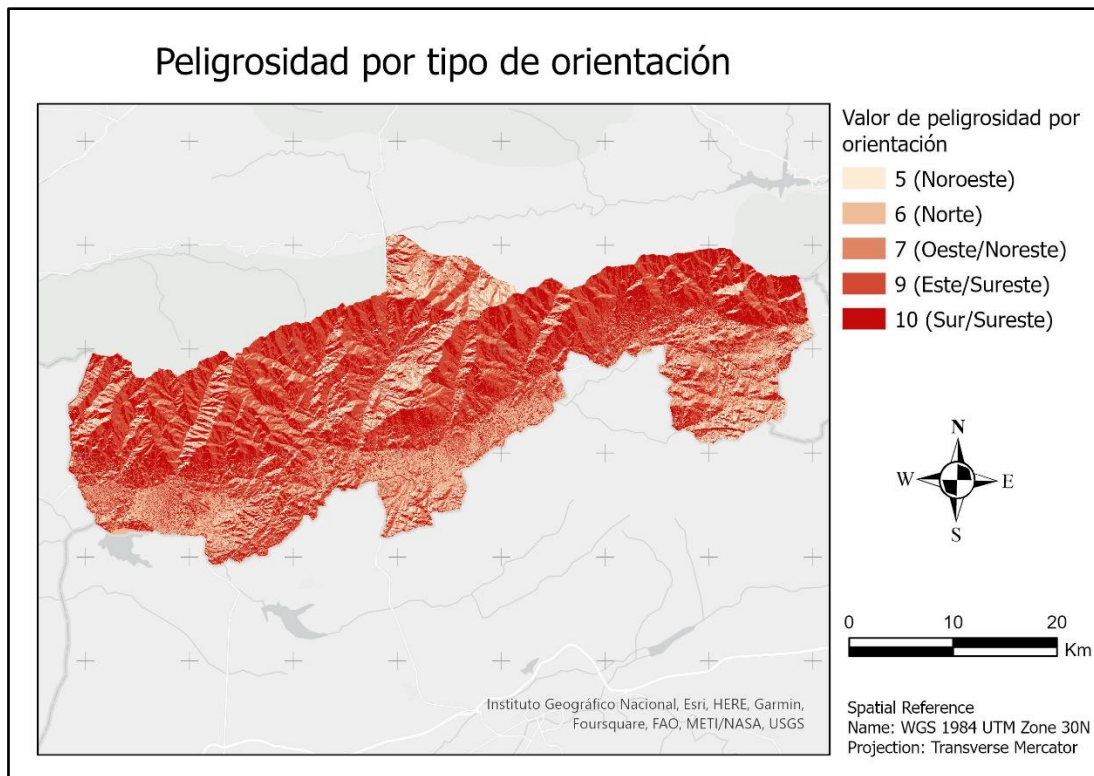


Figura 5. Riesgo de propagación de incendios en el Valle del Tiétar asociado a la orientación.

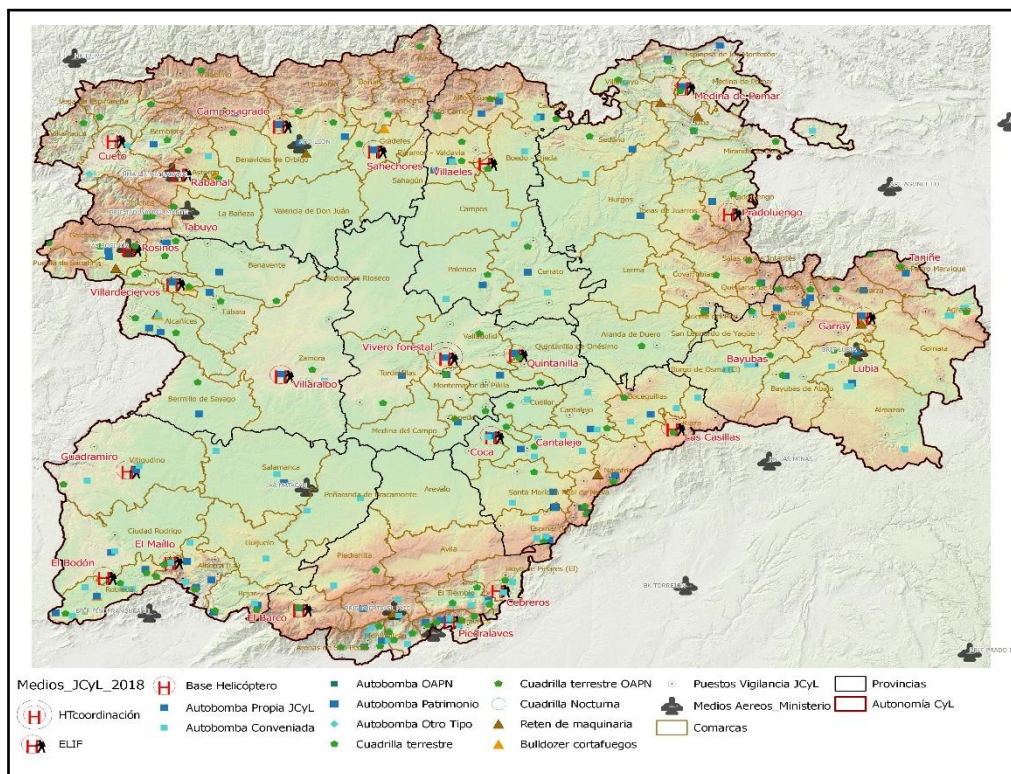


Figura 6. Mapa con la infraestructura de Castilla y León en la lucha contra incendios. Fuente Junta de Castilla y León (2022).

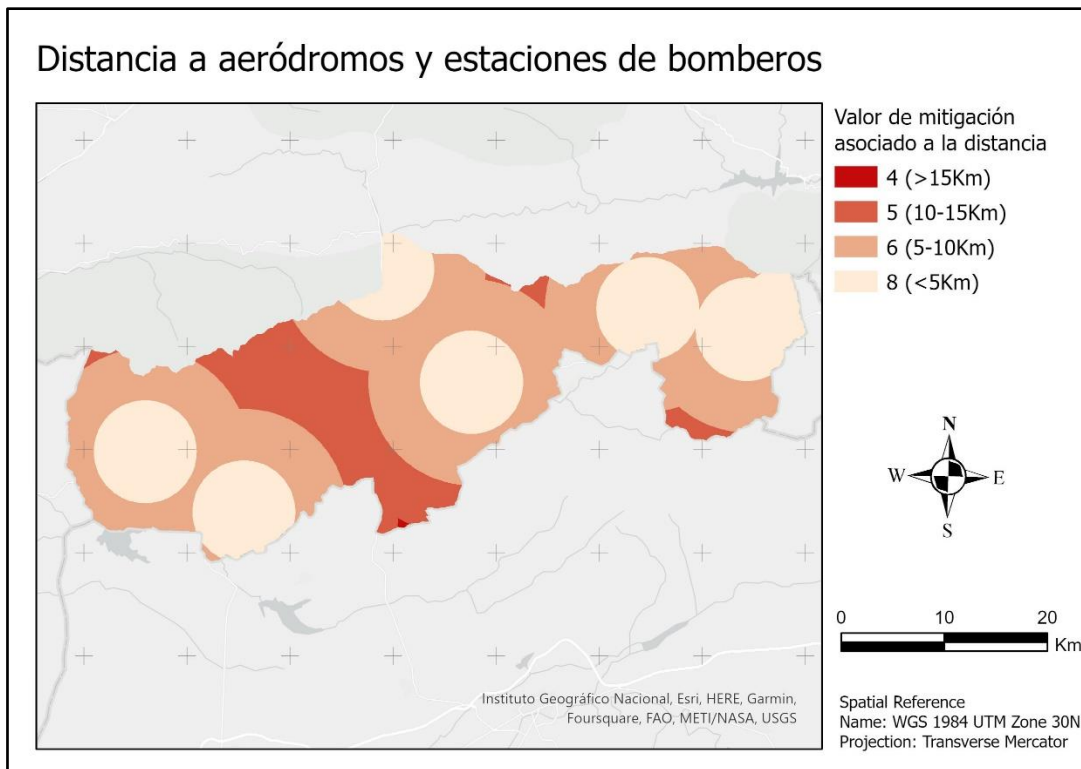


Figura 7. Distancias, y ponderación de mitigación, a los aeropuertos con medios aéreos para la lucha contra incendios y estaciones de bomberos.

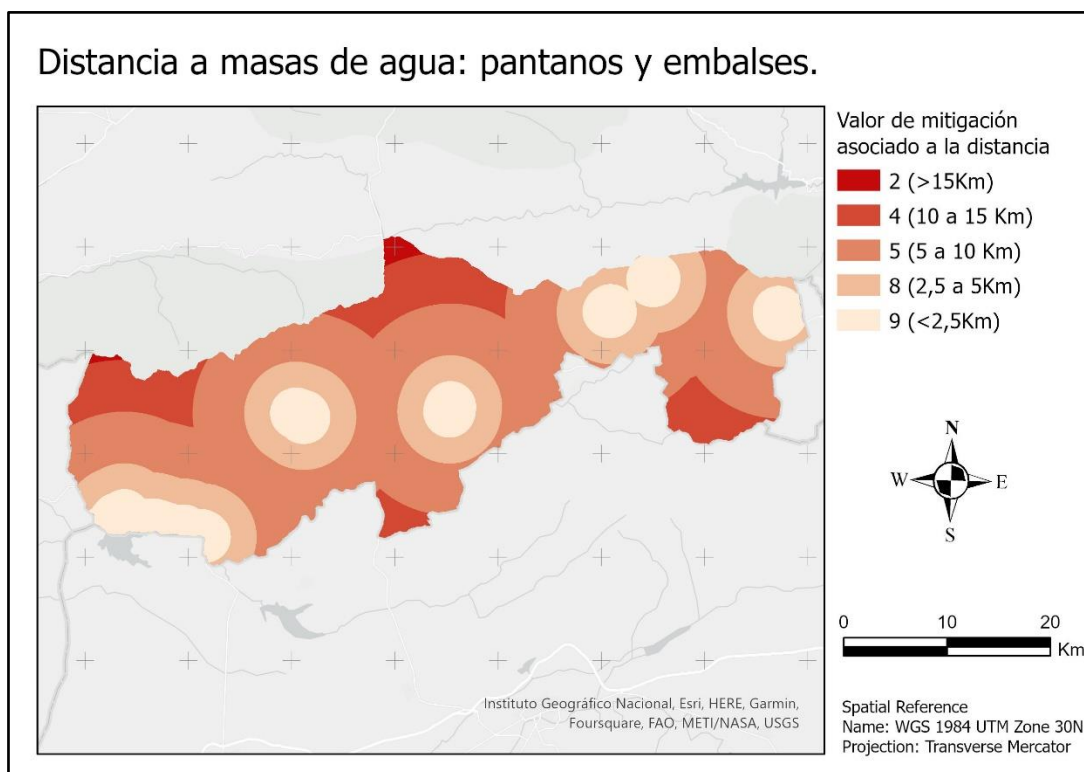


Figura 8. Distancias a embalses y ponderación de mitigación.

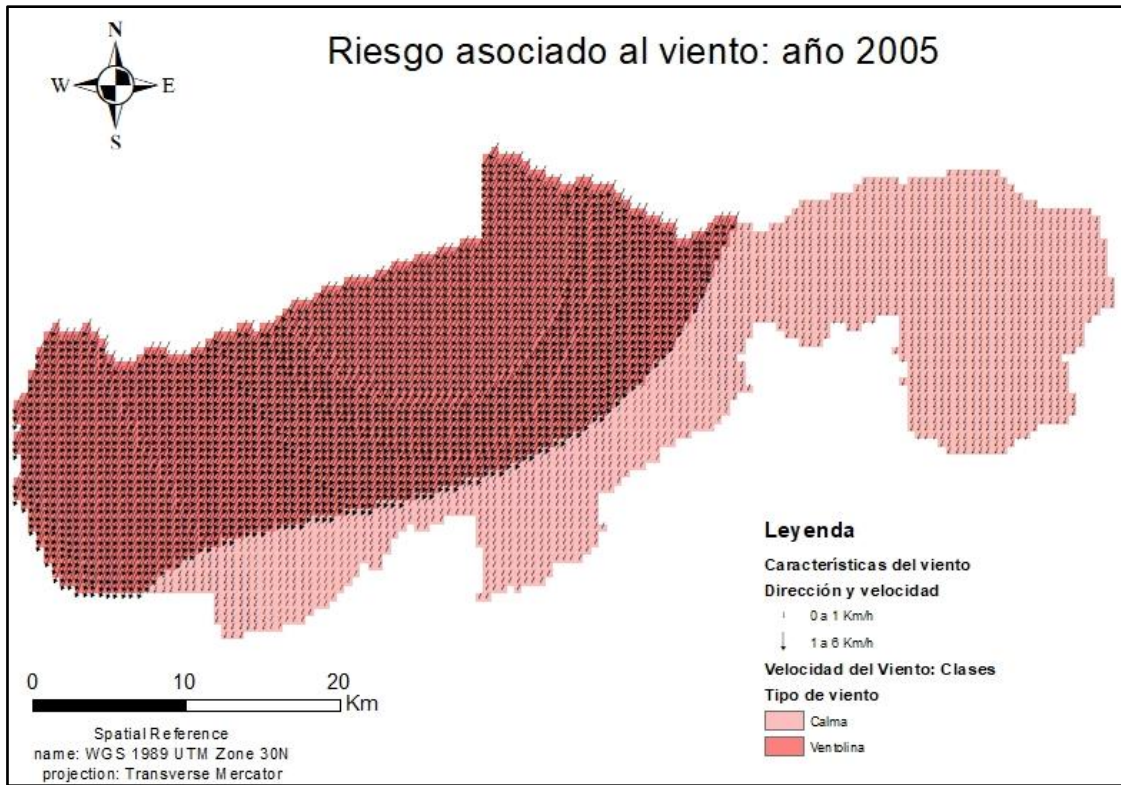


Figura 9. Riesgo asociado a la velocidad y dirección del viento en el Valle del Tiétar el 6 de agosto de 2005.

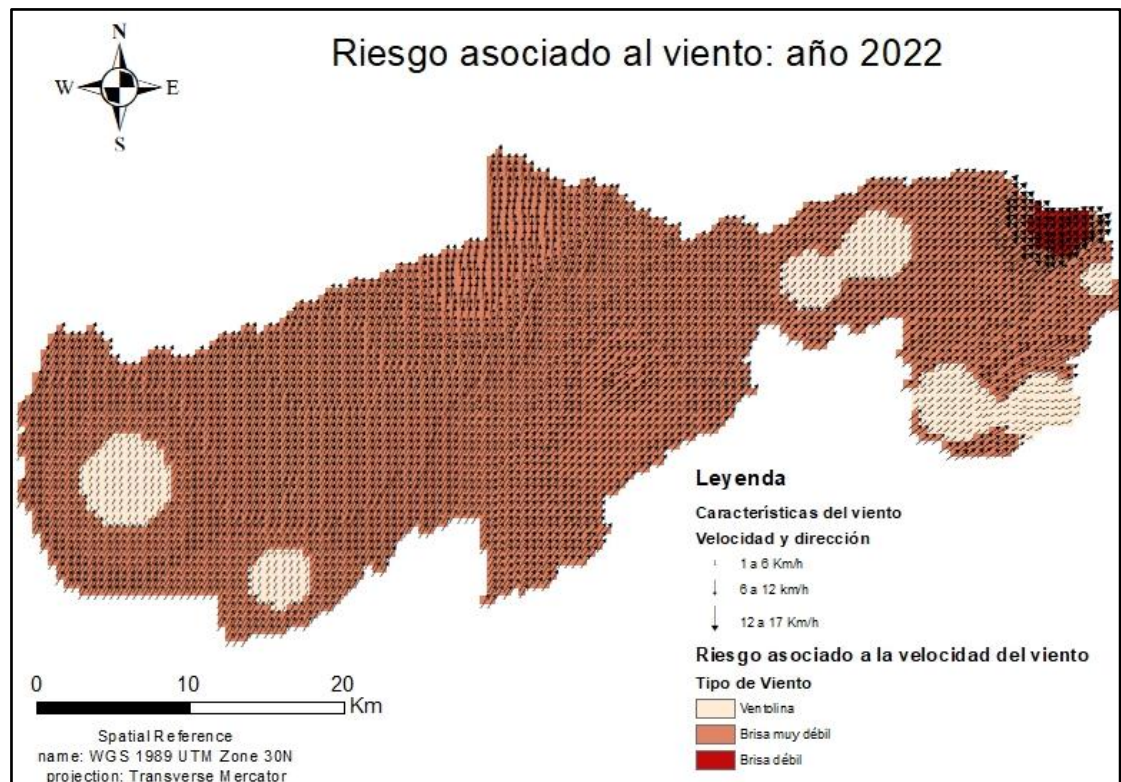


Figura 10. Riesgo asociado a la velocidad y dirección del viento en el Valle del Tiétar el 6 de agosto de 2022.