



universidad
de león

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

**TIPIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN
LA CABRERA (LEÓN) EMPLEANDO SENSORES
REMOTOS Y SIG**

**FOREST FIRES CLASSIFICATION IN LA CABRERA
(LEÓN) USING REMOTE SENSING AND GIS**

Inés Pereira Rodríguez

Tutores: Flor Álvarez Taboada y Fernando Castedo Dorado
Tutor externo: Roberto López Álvarez

Ponferrada, febrero 2021

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

**TIPIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN
LA CABRERA (LEÓN) EMPLEANDO SENSORES
REMOTOS Y SIG**

**FOREST FIRES CLASSIFICATION IN LA CABRERA
(LEÓN) USING REMOTE SENSING AND GIS**

Alumno: Inés Pereira Rodríguez

Firma

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and a horizontal line extending to the right.

Ponferrada, febrero 2021

AGRADECIMIENTOS

A Fernando y Flor, mis tutores, por su dedicación y paciencia

A Roberto, mi tutor externo, por su gran apoyo

A mi familia, por su implicación y estar siempre ahí

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Tipificación de incendios forestales.....	12
2.- OBJETIVOS.....	16
3.- ÁREA DE ESTUDIO	17
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1 Materiales.....	27
4.1.1 Datos sobre incendios ocurridos en el periodo 1990-2018.....	27
4.1.2 Perímetro de los incendios ocurridos en el periodo 2007-2018	27
4.1.3 Delimitación del perímetro de los incendios del periodo 1990-2006..	27
4.1.4 Datos meteorológicos y situaciones sinópticas	30
4.2 Metodología	32
4.2.1 Creación de la base de datos de incendios.....	32
4.2.2 Delimitación del perímetro de los incendios del periodo 1990-2006..	33
4.2.3 Clasificación de situaciones meteorológicas sinópticas	35
4.2.4 Información fisiográfica.....	35
4.2.5 Clasificación de los incendios	36
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1 Caracterización general de los incendios forestales de más de 50 ha.	39
5.2 Perimetración de incendios.....	42
5.3 Clasificación de los incendios según la situación sinóptica.....	51
5.4 Clasificación de los incendios según “incendios tipo”	54
5.5 Caracterización de la tipología de incendios según variables oroográficas y meteorológica	65
5.6 “Incendios tipo” por municipios.....	73
5.6.1 Truchas	73

5.6.2 Encinedo.....	75
5.6.3 Castrillo de Cabrera	77
5.6.4 Benuza	79
6.- CONCLUSIONES.....	82
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Ejemplos de trabajos de las diferentes metodologías de perimetración de incendios empleando sensores remotos.....	9
Tabla 1.2. Principales características de los sensores con mayor uso en la determinación de superficies quemadas por incendios forestales.....	11
Tabla 1.3: Principales patrones de propagación de incendios forestales. Fuente: Costa et al., 2011.	12
Tabla 1.4: Situaciones atmosféricas sinópticas habituales en España. Fuente: Vide, 2005.	15
Tabla 4.1: Resolución espectral y espacial de las bandas del sensor TM. Fuente: USGS, 2019.	28
Tabla 4.2: Relación de imágenes Landsat 5 utilizadas en la perimetración de los incendios correspondientes al periodo 1990-2006.....	29
Tabla 4.3: Clases de pendientes y exposiciones en las que se clasificaron las superficies quemadas por los incendios.....	36
Tabla 5.1: Porcentaje de superficie afectado por exposición y clase de pendiente.....	42
Tabla 5.2: Relación de algunas características de los incendios superiores a 50 ha para el periodo 1990-2018.....	43
Tabla 5.3: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2012240127..	56
Tabla 5.4: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2010240135.	58
Tabla 5.5: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2007240260.	60
Tabla 5.6: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2016240280.	62
Tabla 5.7: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2011240403	64

Tabla 5.8: Prueba de normalidad de los datos por Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para los incendios topográficos de ladera, valle y de viento.	65
Tabla 5.9: Resultado de comparación por parejas mediante el test de Kruskal-Wallis de la superficie de los incendios topográficos de ladera, valle y viento.	66
Tabla 5.10: Resultado de comparación por parejas mediante el test de Kruskal-Wallis de la superficie en pendientes superiores al 30 % en los incendios topográficos de ladera, valle y viento.	67
Tabla 5.11: Resultado de comparación por parejas mediante el test de Kruskal-Wallis de la duración de incendios topográficos de ladera, valle y viento.	67
Tabla 5.12: ANOVA para los incendios de ladera y viento en función de la velocidad de los incendios.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolución de los siniestros y superficies quemadas desde 1968 hasta 2015 en España. Fuente: MAPA, 2015.....	2
Figura 1.2: Mapa de frecuencia de incendios para el periodo 2001-2014 en la provincia de León. En verde se destaca la comarca forestal de Truchas. Fuente: MITECO, 2016.....	3
Figura 1.3: Curva espectral de la vegetación sana (verde) y vegetación quemada (rojo). Fuente: Keely, 2009.	10
Figura 3.1. Localización de la comarca forestal de Truchas dentro de la provincia de León.	17
Figura 3.2: Mapa de pendientes de la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia a partir del MDT25 del PNOA (IGN, 2015).	18
Figura 3.3: Modelo hipsométrico de la comarca forestal de Truchas Fuente: elaboración propia a partir del MDT25 del PNOA (IGN, 2015).	19
Figura 3.4: Distribución espacial de la temperatura media estival en la comarca forestal de Truchas. Fuente: Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafría <i>et al.</i> , 2013).....	20
Figura 3.5 : Distribución espacial de la precipitación media anual de la comarca forestal de Truchas. Fuente: Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafría <i>et al.</i> , 2013)......	21
Figura 3.6: Rosa de los Vientos correspondiente a la estación de Ponferrada Fuente: Meteoblue, 2020.	22
Figura 3.7: Mapa de la ocupación del suelo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Corine 2018 (IGN, 2018)......	23
Figura 3.8: Mapa de las áreas cultivadas en 2011 (izquierda) y 2020 (derecha) Fuente: elaboración propia a partir de datos del Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafría <i>et al.</i> , 2013, ITACyL-AEMET, 2020).	23
Figura 3.9: Zonas ZEPA y LIC de Red Natura 2000 situadas dentro de la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia a partir de	

datos de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente (Junta de CyL, 2008).	24
Figura 3.10: Distribución de la cabaña ganadera por municipios y años. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Servicio Territorial de Medio Ambiente (Junta de CyL, 2019).	25
Figura 4.1: Diagrama de la metodología utilizada.	26
Figura 4.2: Bandas del sensor TM para la identificación de incendios superpuestas con las curvas espectrales de vegetación sana y vegetación en zonas quemadas. Fuente: Modificado de Keely, 2009.	28
Figura 4.3: Ejemplo de mapas de presión en superficie y a 500 hPa (arriba) y de presión a 850hPa (abajo) para un incendio ocurrido el día 11 de septiembre de 1990. Se incluye el día de inicio (columna de la derecha) y los dos días anteriores (columnas de la izquierda). Fuente: Wetterzentrale, 2020.	31
Figura 4.4: Comparación entre una composición RGB (7-5-4) anterior (izquierda) y posterior (derecha) a un incendio. En la imagen de la izquierda los colores azules generalizados indican que el área no ha sufrido ninguna perturbación reciente, mientras que en la de la derecha se puede observar una zona de color marrón correspondiente al área quemada.....	33
Figura 4.5: Distribución de los incendios de más de 50 ha de forma mensual para el periodo 1990-2018.....	34
Figura 5.1: Evolución del número de incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.....	39
Figura 5.2: Evolución de la superficie quemada por los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.....	40
Figura 5.3: Distribución mensual de los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.....	40
Figura 5.4: Causas y motivos de los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.....	41

Figura 5.5: Distribución anual del número y superficie quemada por los GIFs para el periodo 1990-2018.....	42
Figura 5.6: Perímetros de los incendios de más 50 ha en amarillo para el periodo 1990-2006 y naranja para el periodo 2007-2018	43
Figura 5.7: Comparación entre las superficies quemadas recogidas en los partes de incendio y medidas a partir del perímetro digitalizado para los años 1990-2006.....	48
Figura 5.8: Superposición de los perímetros de dos incendios (1997247039 y 2009240698) ocurridos en los años 1997 y 2009, respectivamente..	49
Figura 5.9: Número de veces que ha sido quemada una misma superficie en la comarca forestal de Truchas.....	50
Figura 5.10: Distribución espacial de la recurrencia de incendios superiores a 50ha.....	50
Figura 5.11: Distribución del número de incendios y de la superficie quemada según situaciones sinópticas.	51
Figura 5.12: Rosa de los Vientos correspondiente a los incendios de más de 50 ha desde 1990 hasta 2018 en la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia	52
Figura 5.13: Distribución espacial de los incendios superiores a 50 ha según las situaciones sinópticas en las que se originaron.	53
Figura 5.14: Distribución de los incendios y la superficie quemada según los principales patrones de propagación.	54
Figura 5.15: Distribución de los incendios topográficos de ladera según situaciones sinópticas.....	55
Figura 5.16: Ejemplo de incendio topográfico de ladera (nº de parte 2012240127).....	56
Figura 5.17: Distribución de los incendios topográficos de valle por situaciones sinópticas.....	57
Figura 5.18: Ejemplo de incendio topográfico de valle (nº de parte 2010240135).....	58

Figura 5.19: Distribución de los incendios de viento según situaciones sinópticas.....	59
Figura 5.20: Ejemplo de incendio de viento (nº de parte 2007240260).....	60
Figura 5.21: Distribución de los incendios de contraviento según situaciones sinópticas.....	61
Figura 5.22: Ejemplo de incendio de contraviento (nº de parte 2016240280).	62
Figura 5.23: Ejemplo de incendio convectivo (nº de parte 2011240403). ...	64
Figura 5.24: Distribución de la superficie afectada por incendios topográficos de ladera, valle y de viento.	66
Figura 5.25: Distribución de la duración de los siniestros en incendios topográficos de ladera, valle y viento	67
Figura 5.26: Relación entre la duración de los incendios y la superficie afectada.....	68
Figura 5.27: Distribución de la superficie afectada por incendios topográficos de ladera en las diferentes exposiciones	69
Figura 5.28: Distribución de la velocidad del viento en incendios por incendios topográficos de ladera, valle y viento.....	70
Figura 5.29: Distribución espacial de los incendios en la comarca Forestal de Truchas por “incendios tipo”.	71
Figura 5.30: Distribución por municipios de la superficie y número de incendios de más de 50 ha para el periodo de 1990-2018.	73
Figura 5.31: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Truchas por “incendios tipo”.	74
Figura 5.32: Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Truchas.....	74
Figura 5.33: Distribución temporal de los incendios en Truchas.	75
Figura 5.34 : Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Encinedo.....	76

Figura 5.35: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Encinedo por “incendios tipo”.	76
Figura 5.36: Distribución tempotal de los incendios en Encinedo.	77
Figura 5.37: Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Castrillo de Cabrera.	78
Figura 5.38: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Castrillo de Cabrera por “incendios tipo”.	78
Figura 5.39: Distribución temporal de los incendios en Castrillo de Cabrera	79
Figura 5.40: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Benuza por “incendios tipo”.	80
Figura 5.41: Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Benuza	80
Figura 5.42: Distribución temporal de los incendios en Benuza.	81

Resumen:

En España existe mucha información accesible sobre los incendios forestales ocurridos en las últimas décadas. Sin embargo, no siempre está accesible la información georeferenciada del área quemada, ni de las situaciones meteorológicas sinópticas de cada incendio. Actualmente, mediante teledetección es posible determinar los perímetros de incendios históricos y con análisis de bases de datos on-line determinar situaciones sinópticas de eventos pasados. A partir de esta información se pueden estudiar las interacciones entre los principales factores de propagación y los factores locales para definir tipologías de incendios y establecer espacialmente las áreas más propensas para cada uno de ellos.

El presente trabajo se ha centrado en la determinación de los perímetros y tipificación de los 203 incendios superiores a 50 ha ocurridos en la comarca forestal de Truchas desde 1990 hasta 2018. Para ello se partió de la base de datos de incendios de la zona y de los perímetros de 77 incendios ya digitalizados posteriores al año 2007. La cartografía de los 126 incendios anteriores a 2007 se realizó a partir de imágenes del satélite Landsat 5, comparando composiciones RGB pre y post incendio mediante una perimetración manual.

Tras la perimetración se realizó un análisis y tipificación de los incendios, mediante el estudio de las características topográficas, la situación meteorológica sinóptica en la que se desarrollaron, la situación meteorológica en superficie y la dirección de los ejes principales de propagación. En total se clasificaron 198 incendios, con los que se pudieron definir 5 grandes tipologías de incendio: topográficos de ladera, topográficos de valle, convectivos, de viento y de contraviento. Se observa una gran influencia de la propagación condicionada por la topografía en toda la comarca, destacando en número de siniestros los topográficos de ladera (45% del total) y en superficie afectada los topográficos de valle (38%). Los incendios de viento representaron un 25%, los de contraviento no superaron el 2% y únicamente se definió uno convectivo. En las cuencas hidrográficas de la comarca predominaron los topográficos de valle, los topográficos de ladera consumen una mayor superficie en las laderas de

exposición sur y este. Los incendios de viento, generalmente se localizan en terrenos poco abruptos y los de contraviento están asociados a grandes cadenas montañosas.

Esta clasificación pretende avanzar en la comprensión de los procesos controladores de grandes incendios forestales en esta comarca forestal y servir como metodología de referencia para su aplicación a otras zonas con problemática de incendios.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde el Plioceno los ecosistemas mediterráneos han evolucionado influenciados por el fuego. La historia del fuego a lo largo de los milenios ha estado estrechamente ligada a la presencia de vegetación, alterando la biogeografía de los paisajes, y jugando un papel muy importante en el mantenimiento de la biodiversidad, el reciclaje de los nutrientes y la composición y estructura de las masas forestales naturales. En la cuenca mediterránea, una vez domesticado por el hombre, el fuego ha sido principalmente utilizado en la apertura de claros en los bosques para favorecer la fauna cinegética, crear zonas para agricultura (Naveh, 1994; Vicente *et al.*, 2000) y para facilitar la entrada del ganado y controlar la extensión de vegetación arbustiva (Naveh, 1994).

Desde un punto de vista climático, los ecosistemas mediterráneos se caracterizan por encontrarse entre un régimen tropical seco y templado oceánico. De esta forma, el verano es la época de mayor riesgo de incendios, debido a los anticiclones subtropicales que se elevan a estas áreas en el periodo estival, y que sin embargo en invierno se desplazan a latitudes inferiores permitiendo el paso a borrascas atlánticas que vienen desde las zonas templadas (Naveh, 1994). A estas condiciones climáticas favorables para el inicio y la propagación hay que añadir en los últimos años un abandono rural generalizado, que ha provocado un aumento en el combustible disponible, incrementando así las probabilidades de grandes incendios y por tanto alterando el régimen histórico de incendios (Pausas y Fernández-Muñoz, 2012).

En España los incendios forestales son uno de los factores de modelización y renovación del paisaje más notables (FAO, 2007), pero al mismo tiempo uno de los mayores factores de amenaza para el patrimonio forestal, ocasionando daños tanto materiales como humanos (Acebron, 2017). Por otra parte, nuestro país tiene una de las bases de datos sobre incendios más completas y amplias del mundo, si bien no se dispone de un registro cartográfico asociado en la mayoría de los casos. La recolección de datos comenzó en 1955 con el Servicio de Defensa de los Montes contra los Incendios, pero no fue hasta 1967 cuando los partes de incendios fueron remodelados, para a partir de 1968 recoger la información sobre incendios de forma normalizada (MAPA, 2015). Gracias a

esta base de datos (denominada EGIF, Estadística General de Incendios Forestales) se sabe que, como promedio, un 96% de los incendios ocurridos en nuestro país son debidos a causas humanas (MAPA, 2019).

Anualmente en España ocurren, de media, más de 20000 incendios forestales que queman unas 100000 ha (**Figura 1.1**) (MAPA, 2015). La provincia de León, junto con Zamora y la Comunidad Autónoma de Galicia, es una de las zonas con mayor siniestralidad por incendios a nivel estatal (MITECO, 2016).

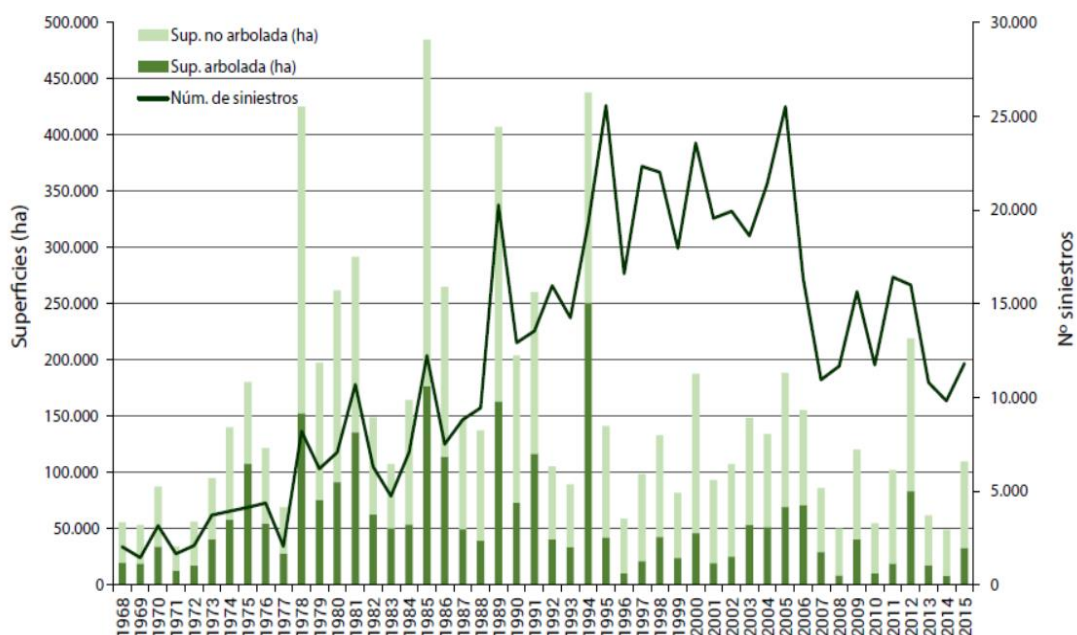


Figura 1.1: Evolución de los siniestros y superficies quemadas desde 1968 hasta 2015 en España. Fuente: MAPA, 2015.

Dentro de la provincia de León, destaca por su elevada frecuencia de incendios la zona oeste de la provincia y especialmente la comarca forestal de Truchas, en La Cabrera, que será objeto de este estudio. Tres de los cuatro municipios de esta comarca superaron la centena de incendios mayores a 1 ha en el periodo de 2001-2014 (**Figura 1.2**).

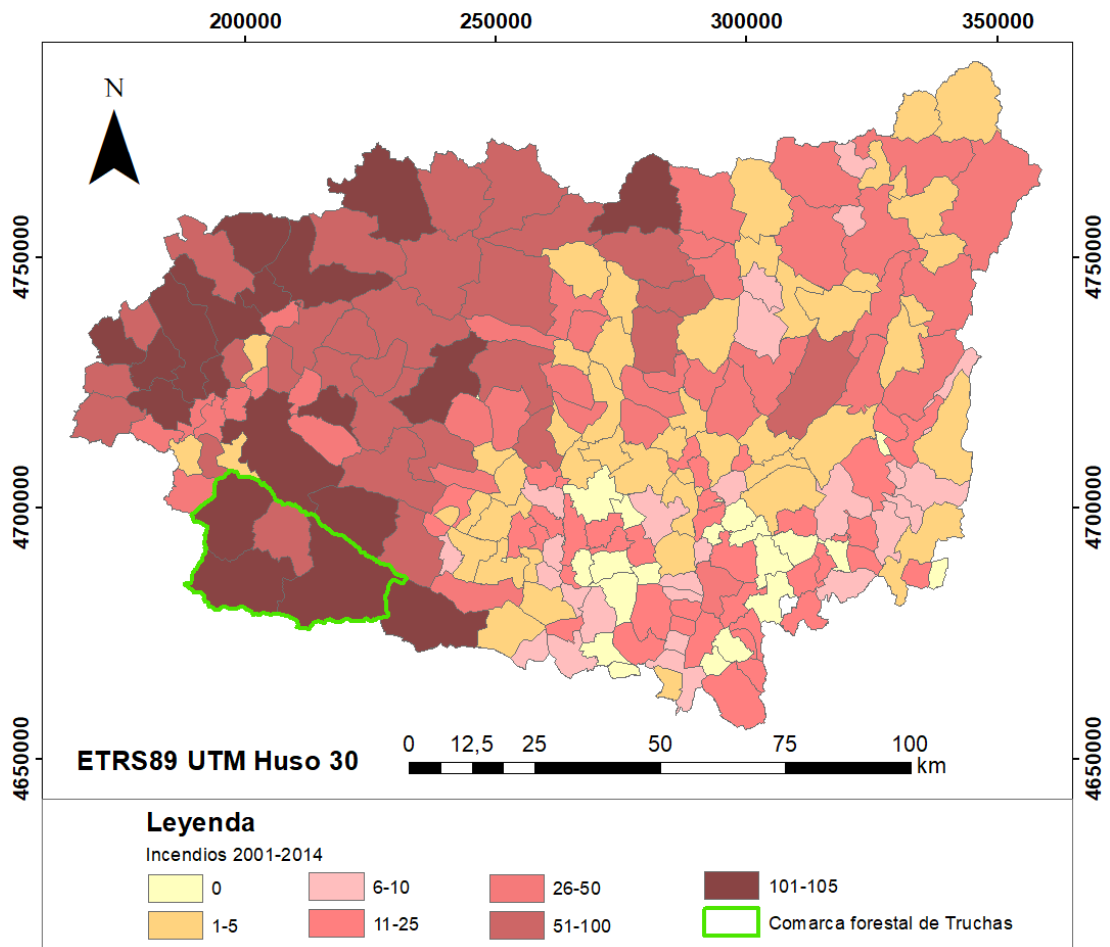


Figura 1.2: Mapa de frecuencia de incendios para el periodo 2001-2014 en la provincia de León. En verde se destaca la comarca forestal de Truchas. Fuente: MITECO, 2016.

A efectos estadísticos, en España se distinguen tres tipologías de siniestros en función de la extensión quemada. Aquellos que afectan a una superficie inferior a 1 hectárea, los denominados conatos; los que son iguales o superiores a 1 hectárea, denominados incendios y por último todos aquellos cuya área quemada es igual o superior a 500 hectáreas, denominados Grandes Incendios Forestales (GIFs) (MAPA, 2015). En la región mediterránea, los GIFs son los responsables de más del 75% de la superficie total quemada, aunque sólo representan el 2,6% del número total de incendios forestales (San-Miguel *et al.*, 2009; San-Miguel *et al.*, 2013). Los principales motivos del aumento de los GIFs en los últimos años son la acumulación de vegetación no gestionada, fruto del éxodo del medio rural, el abandono de cultivos y aprovechamientos forestales, las políticas de supresión total del fuego y el abandono del pastoreo, entre otras (Manrique *et al.*, 2018).

En definitiva, en la cuenca mediterránea en general, y en España en particular, los grandes incendios forestales se han convertido en uno de los principales problemas forestales en los últimos años por su frecuencia, extensión e intensidad, por lo que cada vez se hace más necesario contar con información detallada de cada siniestro (Doerr y Santín, 2016). Si bien las administraciones forestales estiman la superficie de todos los incendios de forma sistemática, el grado de precisión con que se hace esta estimación ha variado con el tiempo. Así, hasta hace pocos años los perímetros de los incendios no se georeferenciaban, desconociéndose, por tanto, la superficie quemada de una forma precisa, muchas veces incluyendo islas interiores no quemadas. Hoy en día la teledetección ofrece una alternativa fiable para cartografiar y evaluar las áreas quemadas, ya que permite una observación sistemática de grandes superficies, facilitando así la obtención de una base de datos cartográfica histórica de incendios, y en especial de los incendios más grandes.

Por otra parte, la mayoría de los grandes incendios ocurren con velocidades de propagación muy elevadas e intensidades que superan la capacidad de los sistemas de extinción. Para orientar la gestión forestal y como herramienta de planificación durante la extinción es imprescindible caracterizar el contexto espacio-temporal en que se desarrollan estos grandes incendios forestales y definir su comportamiento. Se sabe que la fisiografía, la meteorología y los combustibles son los factores decisivos en el desarrollo y propagación de los incendios (Naveh, 1994). Por tanto, tomando como base la cartografía de grandes incendios históricos, y usando otra información adicional sobre la meteorología y los combustibles, se pueden identificar las tipologías de incendios en función del factor dominante en la propagación, permitiendo así asignar zonas de actuación preferente, tanto en labores preventivas, como en la extinción.

Perimetración de zonas incendiadas mediante teledetección

La teledetección es la medición de la radiación electromagnética que es emitida por los distintos materiales en la superficie terrestre o la radiación solar electromagnética reflejada, en unas determinadas longitudes de onda que capta un sensor. En función de la procedencia de la energía se pueden diferenciar sensores remotos activos y pasivos. Los sensores activos son aquellos que emiten la energía que posteriormente interacciona con los elementos de la superficie terrestre y que posteriormente esos mismos sensores captan, mientras que los sensores pasivos registran la respuesta espectral de la energía electromagnética emitida por el sol o por los propios elementos objeto de estudio. El uso combinado de la teledetección y de Sistemas de Información Geográfica (SIG) representa una herramienta muy valiosa en la toma de decisiones, tanto antes, como durante o después de un incendio forestal (Dorrego y Álvarez, 2006).

Antes de la existencia del incendio las imágenes de satélite se pueden utilizar para valorar el peligro meteorológico a través de la estimación de variables meteorológicas o del contenido de humedad de la vegetación, permitiendo de esta forma estimar la probabilidad de ignición y por tanto zonificar el territorio en función del riesgo y planificar las medidas preventivas oportunas (Chuvieco, 2008).

Durante los incendios, las imágenes satelitales pueden proporcionar información de los hotspots o puntos calientes casi en tiempo real. Así, por ejemplo el Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos de la NASA (Fire Information for Resource Management System, FIRMS) permite conocer tanto la localización aproximada del siniestro como su desarrollo (NASA, 2019) a partir de datos de los sensores remotos MODIS y VIIRS.

En cuanto a su uso tras un incendio, las imágenes de satélite son útiles para determinar la extensión quemada de forma precisa, la severidad en el suelo y en la vegetación, valorar los daños económicos y ambientales y analizar la capacidad de regeneración del ecosistema, haciendo un seguimiento de la evolución del área afectada (Chuvieco *et al.*, 1998; Mancebo *et al.*, 2008). Toda

esta información es básica para llevar a cabo los planes de recuperación de la zona afectada, priorizando las áreas de intervención inmediata.

Una de las tareas esenciales para analizar los impactos y el comportamiento de los incendios es la determinación del perímetro, es decir delimitar el contorno del siniestro. La perimetración de los incendios permite conocer la superficie exacta que ha sido afectada y cual es la forma del incendio, para así conocer la propagación y comportamiento de los incendios.

Hasta hace unos años, los incendios forestales se perimetraban únicamente mediante la delimitación del contorno usando sistemas de posicionamiento global (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) a pie, en vehículo todoterreno o sobrevolando el área afectada (Illera *et al.*, 1995). Sin embargo, en los últimos años la teledetección (habitualmente mediante el uso de sensores pasivos) se ha erigido como una herramienta especialmente útil para la elaboración de cartografía de áreas quemadas. Así, la teledetección puede ser usada de forma complementaria con los sistemas tradicionales de perimetración o de forma exclusiva, destacando especialmente por su utilidad para perimetrar incendios que han quemado grandes superficies o incendios con múltiples islas interiores. De igual modo, la teledetección es especialmente útil para la reconstrucción de perímetros de incendios ocurridos hace años o incluso décadas, puesto que muchas veces ya no existen suficientes signos inequívocos en campo que permitan perimetrarlos en la actualidad.

Sin embargo, esta herramienta tiene algunas limitaciones. Así, la respuesta espectral de las masas de vegetación varía en función de la situación geográfica (pendiente, orientación o asociación con otras especies) (Viedma y Chuvieco, 2005) o la presencia de varios estratos de vegetación en la zona quemada. Uno de los casos más comunes es el de aquellos incendios que queman solo la vegetación existente bajo el arbolado, y en los que las copas apenas están afectadas, resultando en una subestimación de la superficie realmente quemada.

Para diferenciar la respuesta espectral de la vegetación afectada por un incendio se pueden utilizar dos estrategias. La primera consiste en registrar la respuesta espectral derivada de la deposición y formación de cenizas y carbón,

que es consecuencia de la combustión vegetal, pero que tiene una corta duración en el tiempo. La otra opción es registrar las alteraciones que se dan tanto en la estructura como en la cantidad de vegetación. Este tipo de respuestas son más estables en el tiempo y por tanto son aquellas que se utilizan con más frecuencia en la delimitación de perímetros históricos (Pereira *et al.*, 1999).

El proceso de perimetración empleando imágenes de sensores remotos puede realizarse de forma manual (por la digitalización manual de los límites) o de forma semi-automática/automática (mediante clasificaciones supervisadas o no supervisadas de las imágenes).

Para la digitalización manual de los perímetros el método utilizado es la comparación de imágenes previas y posteriores al incendio, mediante composiciones RGB e índices de vegetación (Manzo-Delgado y López-García, 2013). Las composiciones RGB son el resultado de visualizar la información espectral (bandas) en un cierto orden en los canales de luz (rojo, azul, verde) para así realzar ciertas zonas en función de su comportamiento electromagnético. En el caso de la diferenciación de zonas quemadas se emplean habitualmente las bandas del rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta. Además emplear la visualización de las bandas espectrales originales, la delimitación de perímetros de incendios se apoya en el uso de índices espectrales. Éstos índices se corresponden con la aplicación de una fórmula matemática píxel por píxel a partir de los valores de reflectancia o radiancia de dos o más bandas de una imagen de satélite. Así, es muy habitual el uso de índices de vegetación como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio) o TDII (Índice de Diferencia Temporal Infrarroja) (Rouse *et al.*, 1973; López y Caselles, 1991; Rodríguez-Moreno y Bullock, 2013). La digitalización manual de incendios es un método preciso y sencillo para la perimetración. Sin embargo, es muy laborioso para un gran número de incendios, pues requiere la perimetración manual de cada perímetro individualmente.

La delimitación de perímetros mediante clasificación supervisada se basa en unas áreas de entrenamiento identificadas en las imágenes post-incendio, con zonas quemadas y no quemadas. La clasificación se realiza a partir de la respuesta espectral de cada una de ellas, que se asocia con un área de entrenamiento lo más homogénea posible. Posteriormente el programa procesa la información y de forma automática genera una cartografía que diferencia aquellas áreas que han sufrido incendios de aquellas que no (Yankovich *et al.*, 2019). Se trata de un método rápido para el análisis de un gran número de incendios. No obstante, si en delimitación de las áreas de entrenamiento se elige un umbral muy exigente para las zonas quemadas, se puede generar un aumento de las áreas identificadas como no quemadas (error por comisión) y consecuentemente una reducción de las áreas que sí estaban quemadas (error por omisión), efecto especialmente notable en incendios que afectan a varios tipos de combustible o zonas con alta recurrencia de incendios (De Santis, 2009).

En cuanto a la clasificación no supervisada se fundamenta en una clasificación multivariable automática. Uno de los ejemplos más clásicos es el *clustering*, que en N pasos diferencia N categorías o *clusters* establecidos previamente. En cada paso selecciona los dos individuos más similares y hace una clase con ellos y son sustituidos por el centroide de la nueva clase. Cada paso analiza un individuo menos que el paso anterior, constituyendo nuevas clases que el usuario asignará con la cubierta correspondiente. Para incendios, los algoritmos más comunes para la clasificación son k-means e ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) ambos basados en un análisis *cluster* (Yankovich *et al.*, 2019). En este tipo de clasificación la intervención y supervisión del técnico se produce en la fase posterior al agrupamiento, cuando debe identificar qué clase se corresponde con las superficies quemadas. La fase de identificación de áreas de entrenamiento no existe, por lo que resulta un método menos laborioso que los supervisados. . Al emplear este método se debe tener en cuenta que la vegetación quemada no siempre se corresponde con una única clase, lo que puede requerir un agrupamiento posterior supervisado.

En la **Tabla 1.1** se recopilan algunos trabajos que han usado diferentes métodos para la perimetración de incendios forestales.

Tabla 1.1: Ejemplos de trabajos de las diferentes metodologías de perimetración de incendios empleando sensores remotos.

Título del trabajo	Método	Referencia	Satélite	Descripción
Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS		Martín <i>et al.</i> (2002)	NOAA, MODIS	Análisis de las mejores bandas para determinar áreas quemadas
Determination of spectral mixture analysis validity for estimating burned area using AVHRR data and multitemporal analysis	Composiciones RGB	Quintano <i>et al.</i> (2002)	NOAA	Estudio de las bandas con mayor reflectancia de áreas quemadas
Cartography of a large fire in Extremadura (Spain) in the summer 2003 using AVHRR, MODIS, BIRD & TM sensor		Calle <i>et al.</i> , (2005)	NOA, MODIS, BIRD, Landsat 7	Análisis combinaciones RGB para varios sensores en la cartografía de incendios
Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales sentinel-2.		Ávila (2020)	Sentinel 2	Combinación de índices radiométricos por canales RGB para una mejor identificación de áreas quemadas
Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya de Buñol (Valencia)		Viedma y Chuvieco (1994)	Landsat 5	Perimetración mediante comparación imágenes antes y después de un incendio por índices de vegetación
Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques?	Índices de vegetación	Merino-de-Miguel <i>et al.</i> (2005)	MODIS, SPOT5	Comparación de imágenes antes y después de un incendio por índices de vegetación
Identificación de áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Landsat 8		Mena (2017)	Landsat 8	Comparación de índices de vegetación para determinar superficies quemadas
Índices espectrales de vegetación para la detección de áreas quemadas		Reynosa (2018)	--	Recopilación y comparación de los mejores índices para la cartografía de incendios.
Mapping forest postfire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data	Clasificación supervisada y no supervisada	Miller y Yool (2002)	Landsat 5	Comparación de la clasificación supervisada y no supervisada de las bandas
Forest Fires in the European Mediterranean Region: Mapping and Analysis of Burned Areas		San-Miguel-Ayanz <i>et al.</i> , (2009)	MODIS	Clasificación no supervisada de áreas quemadas en el mediterráneo

Para realizar cartografía de incendios, además de elegir la técnica (perimetración manual o clasificación semi-automática), es preciso tener en cuenta las características que deben tener las imágenes para resultar útiles en la identificación y delimitación de las áreas quemadas. Por ello debe analizarse su resolución espacial, temporal, radiométrica y espectral. La resolución espacial condicionará la escala de trabajo y el área mínima cartografiable (tamaño mínimo que debe tener un incendio para que pueda ser cartografiado). La resolución temporal condicionará la disponibilidad de las imágenes en diferentes fechas, puesto que viene determinada por los días u horas entre dos capturas sucesivas. Además, para tener una información completa desde el punto de vista temporal, se necesitan sensores que permitan obtener series temporales largas (como por ejemplo los del programa Landsat o SPOT) y a ser posible densas (como Sentinel 2 MSI). La resolución radiométrica determinará la capacidad para discriminar las variaciones entre las cubiertas quemadas y no quemadas, y el grado de detalle con el que se podrán obtener los perímetros. Por último, los sensores deberán registrar la respuesta espectral en las regiones del infrarrojo corto y medio, que son aquellas en las que hay una mayor diferencia en la reflectancia entre la vegetación quemada y la no quemada, y que por tanto permiten diferenciar las zonas quemadas y no quemadas (**Figura 1.3**). Cuanto más estrechas y numerosas sean las bandas del sensor en esas regiones, más detallada será la firma espectral de las superficies quemadas y por ello más fácilmente diferenciable del resto de cubiertas.

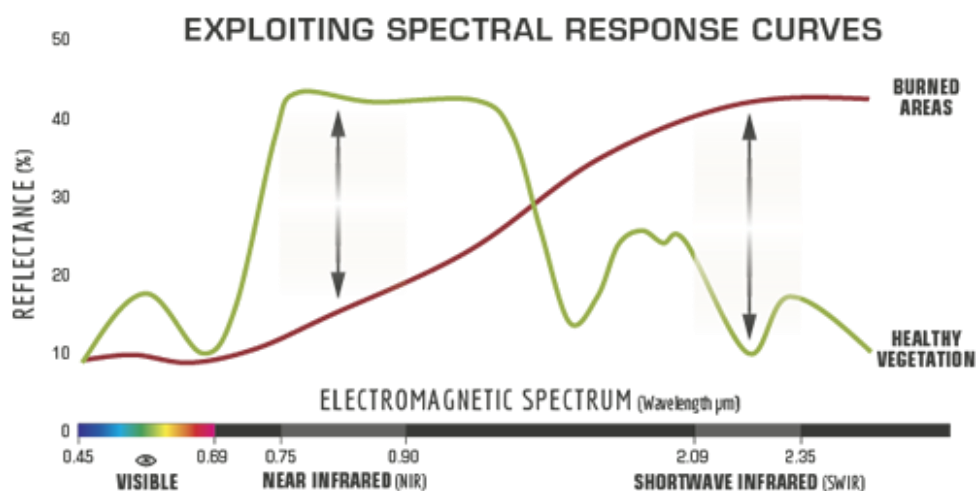


Figura 1.3: Curva espectral de la vegetación sana (verde) y vegetación quemada (rojo).

Fuente: Keely, 2009.

Los sensores más utilizados en la actualidad para la detección y seguimiento de incendios forestales son SEVIRI, MODIS, VIIRS, SPOT 6 y 7 NAOMI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI (**Tabla 1.2**). El sensor SEVIRI destaca en su resolución temporal de 15 minutos, sin embargo, la resolución espacial de hasta 1 km, puede ser insuficiente en algunos de los siniestros. El resto de sensores tienen unas resoluciones espaciales y espectrales más altas, especialmente MODIS en cuanto a resolución espectral y Sentinel 2 MSI y SPOT 6 y 7 NAOMI en resolución espacial (hasta 10 m y 6 m). Landsat 5 TM destaca por el gran número de imágenes registradas desde 1984 hasta 2013. Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIR forman parte de una misma misión por lo que su uso combinado disminuye la resolución temporal a 8 días. VIIRS permite obtener casi en tiempo real imágenes del visible y el infrarrojo que permiten la localización de focos activos de incendios. La resolución radiométrica para todos los sensores es apta para la discriminación de áreas quemadas, aunque los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ cuentan con un menor nivel de definición que el resto (8 bits) (Chuvieco, 2008; European Space Agency, 2019).

Tabla 1.2. Principales características de los sensores con mayor uso en la determinación de superficies quemadas por incendios forestales.

Sensor	Resolución temporal	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica (bits)	Resolución espectral (bandas)	Principal ventaja
SEVIRI	15 minutos	1000	10	12	Imágenes casi en tiempo real
MODIS	0,5 días	250, 1000	12	36	Elevada resolución temporal. Detección por puntos calientes
VIIRS	10 minutos	375		22	Detección de focos activos en tiempo real
SPOT 6 y 7 NAOMI	10 días	6	12	4	Resolución espacial y radiométrica elevada
Landsat 5 TM	16 días	30	8	8	Gran registro histórico
Landsat 7 ETM+ y 8 OLI	16 días (combinado 8 días)	30	8/12	8/9	Resolución espectral media
Sentinel 2	5 días	10, 20, 60	12	12	Elevada resolución temporal

1.1 Tipificación de incendios forestales

Los grandes incendios solo pueden desarrollarse bajo condiciones topográficas, de combustible o meteorológicas especialmente favorables a la propagación del fuego. Sin embargo, estos factores que condicionan la propagación actúan a escalas temporales y espaciales distintas. La fisiografía determina un riesgo local y permanente, el combustible un riesgo regional y periódico y la meteorología un riesgo general y episódico. Por ello, el riesgo derivado del relieve y de la vegetación sólo permite una primera aproximación al peligro de incendio, y son las condiciones meteorológicas concretas las que determinan, en muchas ocasiones, la actividad del fuego, especialmente la generación de grandes incendios (Monserrat, 1998). La meteorología es también el factor más complejo, al ser sumamente cambiante (a diferencia de la topografía y el combustible) y no ser siempre fácilmente predecible a medio plazo, como tampoco su interacción con los factores topográficos locales.

La interacción entre los factores topográficos, meteorológicos y el combustible determinan la firma final del incendio. Dependiendo del factor de propagación dominante del incendio se pueden definir tres patrones principales de propagación: incendios de convección o dominados por penacho, incendios dominados por el viento e incendios topográficos, con una serie de características asociadas (**Tabla 1.3**) (Costa *et al.*, 2011).

Tabla 1.3: Principales patrones de propagación de incendios. Fuente: Costa *et al.*, 2011.

Patrón de propagación	Factor dominante	Características
Topográfico	Dinámica local de vientos de convección originados por calentamiento solar diferenciado de la superficie terrestre	Incendios que cambian de dirección siguiendo las laderas soleadas y la intensidad en éstas de los vientos. Alta intensidad diurna y baja intensidad nocturna
De viento	Vientos sinópticos generales	Incendios que mantienen la velocidad y dirección mientras dura el episodio de viento sinóptico. No cambian ni giran. Mantienen intensidad y velocidad día y noche
Convectivo	Acumulación y disponibilidad de combustible que genera suficiente intensidad para generar convección que domina el incendio	Incendios que no se propagan por radiación; lo hacen por convección. Desarrollan comportamientos extremos y avance por focos secundarios masivos.

Los incendios dominados por convección o por penacho se caracterizan por la acumulación de gran cantidad de combustible disponible y por la inestabilidad atmosférica. Este tipo de fuego tiene una intensidad alta y un comportamiento extremo que produce su propio entorno de fuego y genera focos secundarios de forma masiva. Habitualmente surgen por condiciones anormalmente cálidas durante periodos largos de tiempo que disminuyen la humedad y aumentan la inflamabilidad del combustible (Lahaye *et al.*, 2017).

Los incendios dominados por el viento siguen la dirección de los vientos dominantes cuando se mantiene la ventana meteorológica que produce las condiciones del incendio, con la misma intensidad y velocidad durante el día y la noche. Los fuertes vientos que aceleran el incendio generan la propagación en una dirección específica. En ambas tipologías de incendio (dominados por la convección y por el viento), los pequeños cambios en el paisaje tienen poca influencia en la dirección y el comportamiento de estos tipos de incendios, especialmente en condiciones meteorológicas extremas.

En contraste, los incendios topográficos están dominados por el efecto de la pendiente y de los los vientos locales originados por las corrientes convectivas de aire derivadas del calentamiento/enfriamiento del área próxima a la superficie de la tierra (ej.: vientos de valle y de pendiente) o al calentamiento diferencial de distintas superficies (ej.: brisa marina, brisa terrestre). La dirección de este tipo de fuego cambia con la topografía, y tienen alta intensidad durante el día y baja intensidad durante la noche (Castellnou *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2011). Este tipo de siniestros son más sensibles a los pequeños cambios, por lo que pequeñas variaciones de viento topográfico o pendiente tienen una mayor influencia en el comportamiento del fuego (Lahaye *et al.*, 2017).

El estudio de incendios históricos, su caracterización y clasificación en función de unos determinados esquemas de propagación es un trabajo que ha sido llevado a cabo mediante diversas aproximaciones.

Una de las primeras referencias relativas a la tipificación de incendios forestales es la propuesta por el proyecto europeo "Fire paradox" (Silva *et al.*, 2013). En el marco de este proyecto se analizó la propagación del fuego en diferentes grandes incendios forestales históricos y mostró que había esquemas de propagación similares dominados por factores comunes, como son la meteorología, el combustible y la topografía.

A nivel estatal, Cataluña, desde el año 2003, ha ido desarrollando una metodología propia en la que las similitudes en las características bajo las que ocurren los incendios, bien en función del episodio sinóptico meteorológico o de un relieve en concreto, se utilizan para categorizarlos en "incendios tipo". La concreción en un territorio de estos "incendios tipo" bajo situaciones sinópticas determinadas se traduce en el concepto de "incendio de diseño" (Castellnou *et al.*, 2009).

Posteriormente, esta metodología se ha adaptado a otros ámbitos geográficos. Así, en la provincia de Guadalajara, siguiendo la clasificación de los "incendios tipo" descritos para Cataluña se analizaron las condiciones meteorológicas y la forma del perímetro del incendio para asignar el patrón de propagación, obteniendo como resultados 6 tipos de incendios (Acebron, 2017).

En Aragón se ha elaborado una metodología propia en la que la definición de "incendio tipo" viene dada por la clasificación sinóptica de AEMET y las variables topográficas de exposición y pendiente. De esta forma se han obtenido una serie de patrones y situaciones tipo en las cuales se clasifican los siniestros pudiendo definir los "incendios característicos", que tienen lugar bajo unas condiciones topográficas y de vegetación similares (Lázaro *et al.*, 2015).

Por último, en Navarra se desarrolló una clasificación de incendios para la Comunidad Autónoma a partir de los datos de los siniestros con una superficie mayor de 50 ha en el periodo de 1987-2015. El estudio creó una base de datos de las condiciones meteorológicas sinópticas y a nivel de superficie y de las condiciones topográficas de cada siniestro. A partir de estos datos y mediante un análisis estadístico se analizaron las interacciones entre los factores de propagación principales y los factores locales de cada uno de los incendios, para así definir las tipologías de incendios forestales de la región (Iñesta, 2016).

En el presente estudio se pretende determinar las situaciones atmosféricas sinópticas que dan lugar a condiciones meteorológicas similares y relacionarlo a su vez con los patrones de propagación de los grandes incendios. Se entiende por situación sinóptica al conjunto típico de configuraciones isobáricas y de isohipsas afectando a un área determinada. Los principales tipos de situaciones atmosféricas sinópticas que se suelen dar en España se describen someramente en la **Tabla 1.4**.

Tabla 1.4: Situaciones atmosféricas sinópticas habituales en España. Fuente: Vide, 2005.

Situación sinóptica	Descripción
Advección del Oeste o zonal	Isobaras e isohipsas con sentido oeste-este bien establecido
Advección del Oeste Anticiclónica	Isohipsas con componente oeste y anticiclón superficial.
Advección del Noroeste	Isobaras e isohipsas con sentido noroeste-sudoeste bien establecido
Advección del Norte	Isobaras e isohipsas con sentido norte-sur.
Advección del Nordeste	Isobaras con sentido nordeste-sudeste e isohipsas con sentido parecido o formando una depresión.
Advección del Este, o del Levante	Isobaras con sentido este-oeste, aproximadamente, e isohipsas con diversas procedencias.
Advección del Este, o de Levante, con gota fría	Isobaras con sentido sudeste-oeste y borrasca en altura, preferentemente sobre la mitad este de la península o sobre el Mediterráneo.
Advección del Sur	Isobaras con sentido sur-norte, aproximadamente.
Advección del Sudoeste	Isobaras e isohipsas con sentido sudoeste-nordeste, generalmente bien establecido.
Vaguada	Vaguada en altura, generalmente al oeste de la península, e isobaras con componente oeste.
Gota fría al Sudoeste	Borrasca en altura al sudoeste de la península, o hacia el oeste, e isobaras con componente sudoeste.
Baja	Borrasca en superficie y en altura, aproximadamente coincidentes, sobre la península.
Baja térmica	Borrasca débil en superficie en el interior de la península y anticiclón o dorsal en altura.
Pantano barométrico	Escaso gradiente en superficie, con isobaras con sentidos poco definidos, marcando presiones próximas a lo normal y anticiclón o dorsal en altura, generalmente.
Anticiclón	Anticiclón en superficie y en altura, aproximadamente coincidentes, sobre la península.
Anticiclón térmico	Anticiclón en superficie en el interior de Europa, con dorsal o puente hacia la península, y borrasca en altura o isohipsas sin una clara curvatura anticiclónica coincidente.

2.- OBJETIVOS

El presente trabajo tiene tres objetivos principales:

1. Elaborar una cartografía de las superficies quemadas por incendios forestales de más de 50 ha en la comarca forestal de Truchas desde el año 1990 hasta el año 2006.

2. Determinar las situaciones sinópticas y los patrones principales de propagación de los incendios forestales ocurridos en la comarca desde el año 1990 hasta el año 2018.

3. Analizar la distribución espacial de cada una de las tipologías de incendios.

Se pretende que los resultados obtenidos sean una herramienta operativa que facilite la prevención y la extinción de los incendios en la comarca mediante el conocimiento histórico de los mismos.

3.- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se corresponde con la comarca forestal de Truchas, con un superficie total de 1496 km², está constituida por los términos municipales de Benuza, Castrillo de Cabrera, Encinedo y Truchas. Esta comarca forestal se corresponde en gran medida con la comarca natural de La Cabrera, que incluye, además, el término municipal de Puente Domingo Flórez. Esta comarca, emplazada al suroeste de la provincia de León, se encuentra delimitada por varios sistemas montañosos: por el norte se encuentra separada de El Bierzo por los Montes Aquilianos y la Sierra del Teleno, en la zona sur limita con la comarca zamorana de Sanabria en la Sierra de La Cabrera, al suroeste separan Orense de la provincia de León las cumbres serranas de la Mina, y por último el sureste se encuentra en contacto con Carucedo y la Valdería Alta (**Figura 3.1**).

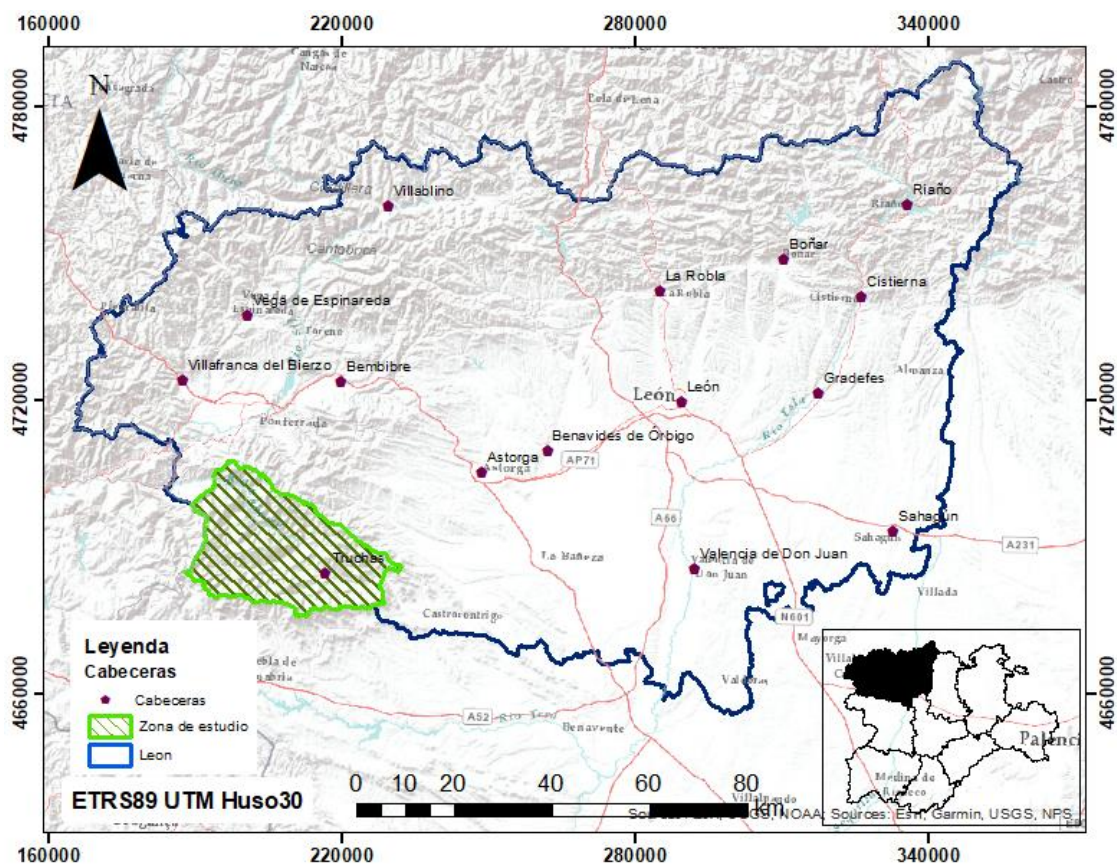


Figura 3.1. Localización de la comarca forestal de Truchas dentro de la provincia de León.

En cuanto a la red hidrográfica, se pueden observar dos ríos principales en la comarca: el Eria, que pertenece a la Cuenca del Duero, y el Cabrera, perteneciente a la Cuenca del Norte. La divisoria de aguas de ambos ríos forma el límite natural entre la Cabrera Alta, drenada por el río Eria y la Cabrera Baja, por el río Cabrera (García, 2006).

Desde el punto de vista geomorfológico, en la comarca se observa la huella de la modelización glaciar, especialmente en los valles en U que forman los lagos de Truchillas y La Baña (Llopis y Fontboté; 1959). En la Cabrera Baja (al este de la comarca), se observa un fuerte modelado del paisaje por la acción erosiva de los ríos, que como resultado dan una intensa red de drenaje que ha excavado estrechos y profundos valles en V, con laderas de pendientes muy pronunciadas (Llopis y Fontboté; 1959). La Cabrera Alta (al oeste de la comarca), por su parte presenta pendientes mucho más suaves, con un relieve romo y arrasado, en el que predominan las antiguas superficies de erosión (Llopis y Fontboté; 1959) (**Figura 3.2**).

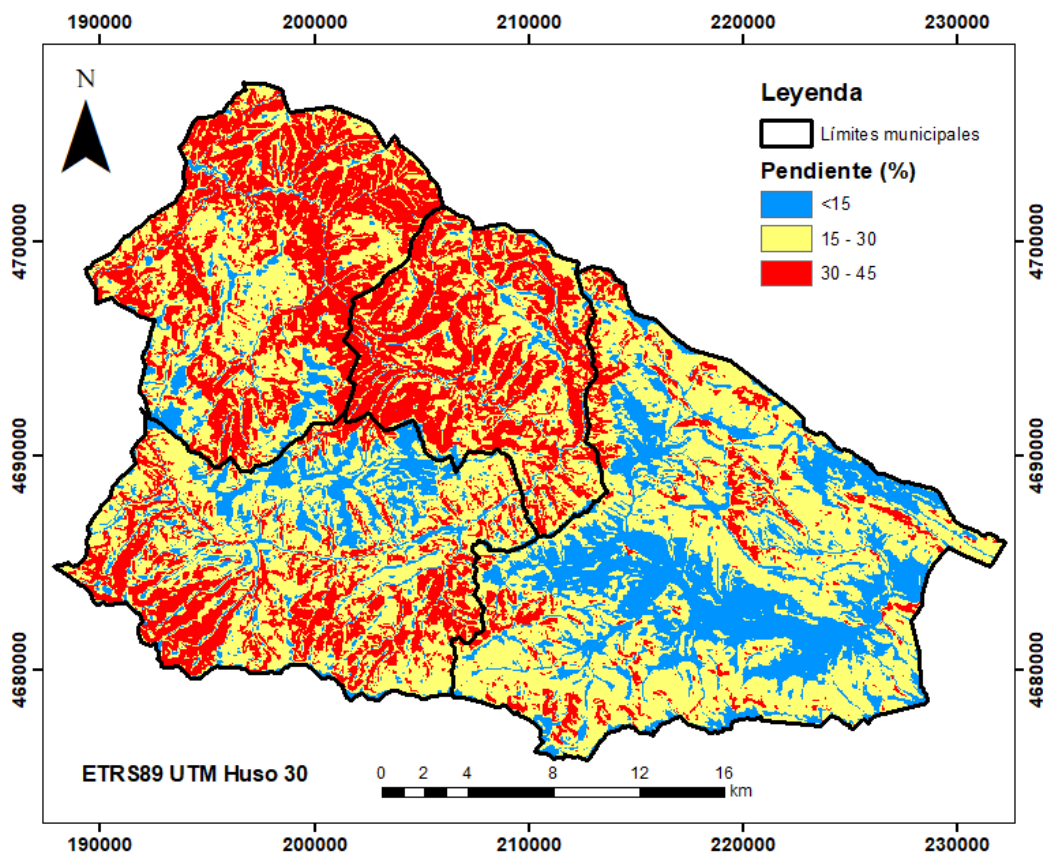


Figura 3.2: Mapa de pendientes de la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia a partir del MDT25 del PNOA (IGN, 2015).

La comarca de Truchas tiene una acusada orografía, con grandes cadenas montañosas que la bordean con una cota máxima de 2146 metros y el valle del río Cabrera con un mínimo de altitud de 384 metros (**Figura 3.3**).

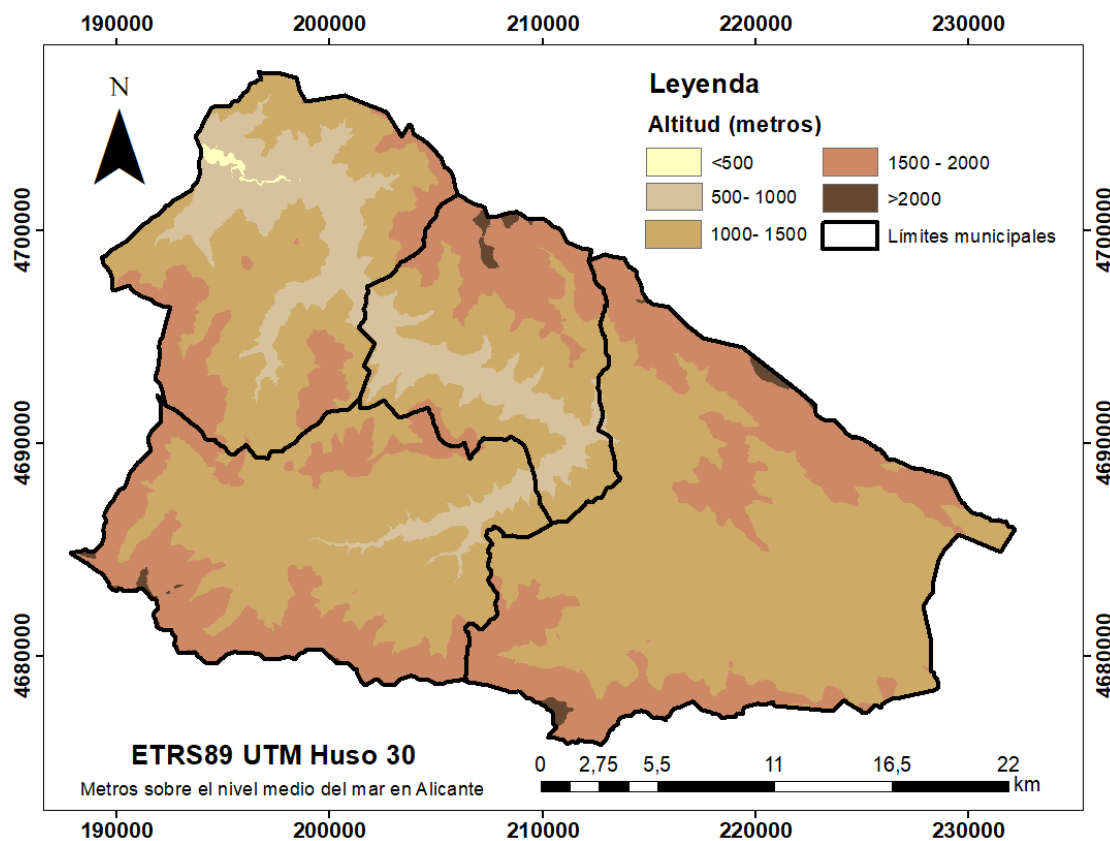


Figura 3.3: Modelo hipsométrico de la comarca forestal de Truchas Fuente: elaboración propia a partir del MDT25 del PNOA (IGN, 2015).

Desde un punto de vista geológico la zona de estudio está formada por cuatro series del paleozoico: Serie de los Cabos, Pizarras de Luarca, Formación Agüeira y Ampelitas Silúricas. También se encuentran algunos depósitos terciarios del post-paleozoico, pero de poca importancia (Barros, 1989). Estas formaciones han dado lugar a suelos pobres, de pH ácido con poco desarrollo y evolución. Los factores que han originado estos suelos son: los procesos de erosión y deposición, los largos periodos de frío, los procesos de coluviamiento y la influencia de la quema para el pastoreo. Destacan los suelos formados sobre pizarras por su especial degradación debido a la explotación humana.

El clima de la comarca puede clasificarse como oceánico-continental, pues sufre una gran influencia del Atlántico debido a su proximidad. Sin embargo, debido a su baja altitud también tiene rasgos mediterráneos. Se caracteriza por veranos cálidos, con una temperatura estival media superior a 18° C (**Figura 3.4**), con sequía persistente, e inviernos fríos y fuertes heladas. Las precipitaciones anuales son superiores a 900 mm (**Figura 3.5**) (Cabrero, 1976). Existe, sin embargo, una gran diversidad térmica y pluviométrica debido a la gran oscilación altitudinal: desde más de 2000 metros de altitud, hasta un mínimo de 384 metros en Benuza.

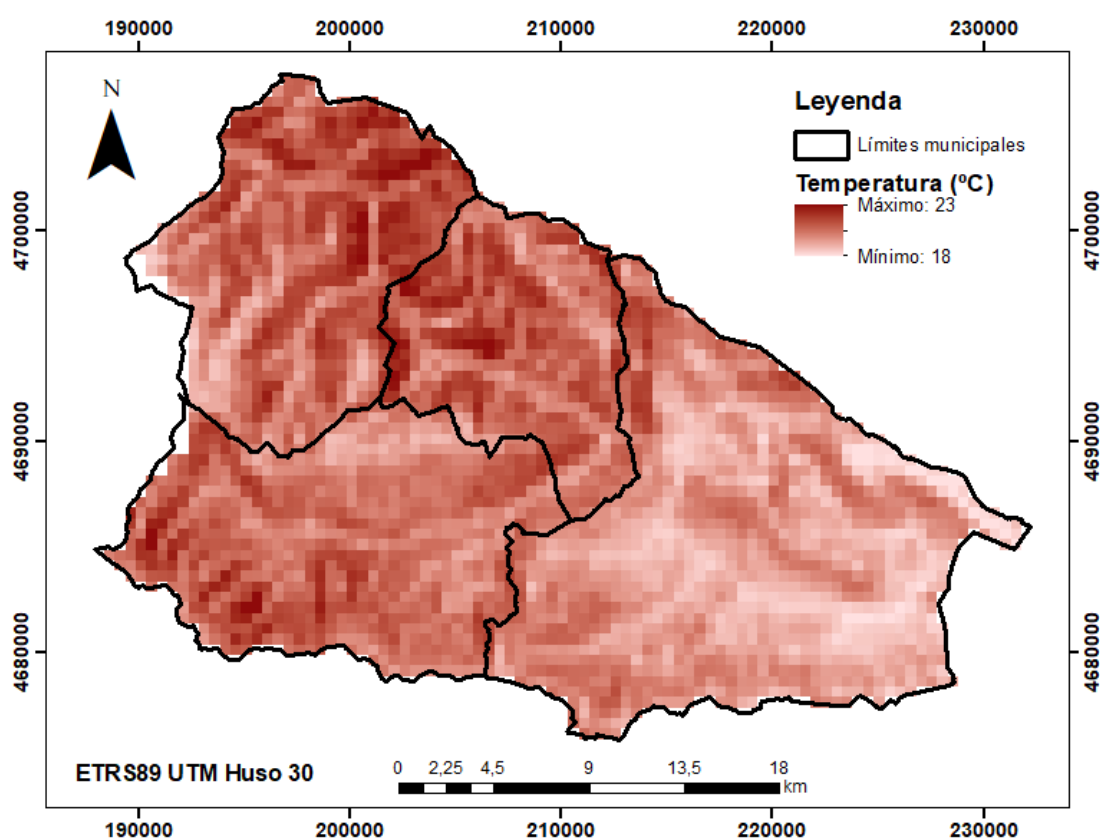


Figura 3.4: Distribución espacial de la temperatura media estival en la comarca forestal de Truchas. Fuente: Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafria *et al.*, 2013).

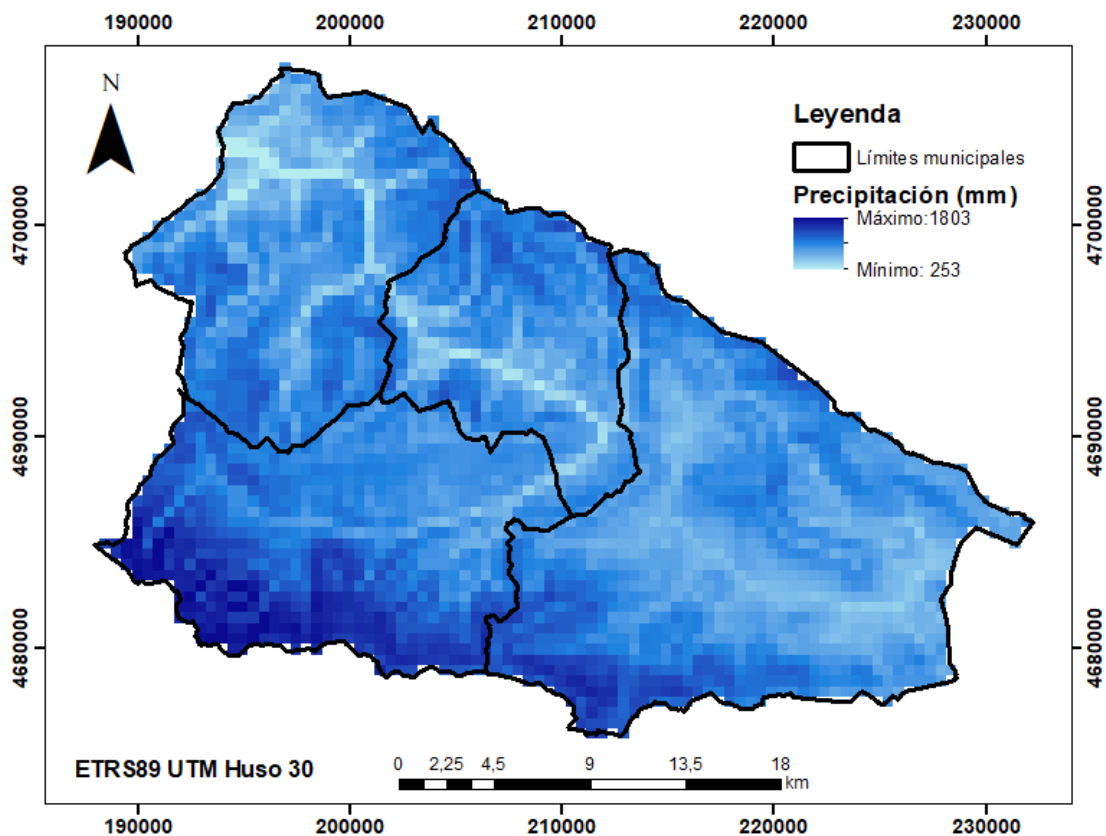


Figura 3.5 : Distribución espacial de la precipitación media anual de la comarca forestal de Truchas. Fuente: Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafría *et al.*, 2013).

A nivel general, los vientos predominantes en la comarca son del norte y sur. Si bien los vientos del norte son los más frecuentes, su velocidad es baja y están asociados a masas de aire frío y frentes húmedos, que suelen dejar precipitaciones en el área. Los vientos del sur y suroeste, aunque de menor frecuencia, tienen velocidades superiores, además están asociados a situaciones más cálidas y vientos secos (**Figura 3.6**).

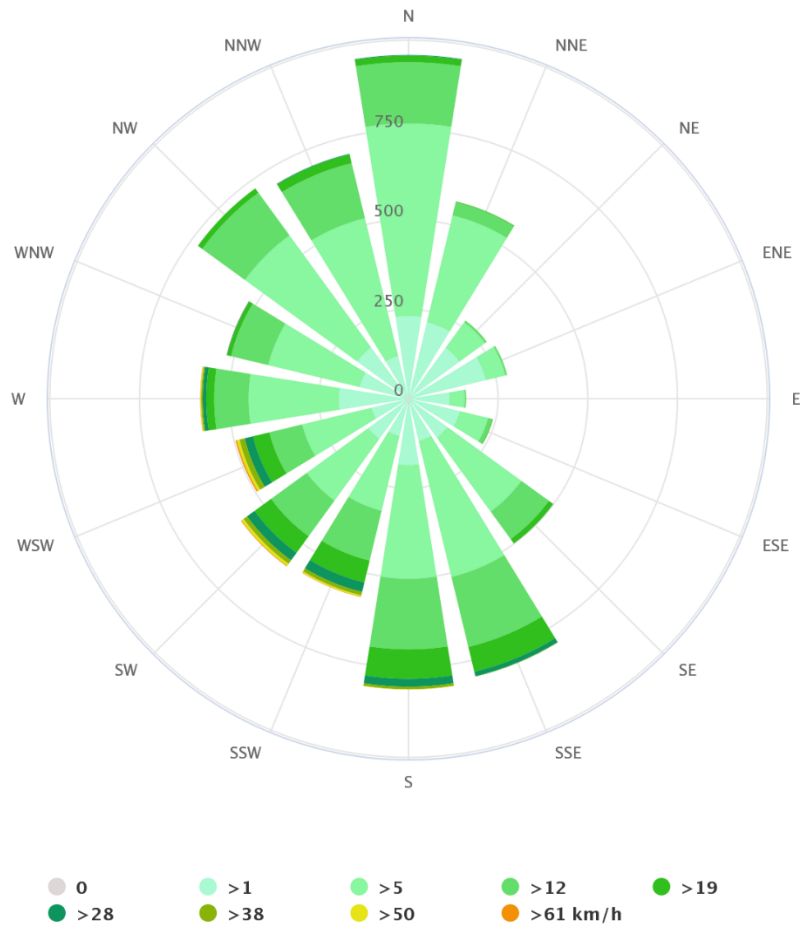


Figura 3.6: Rosa de los Vientos correspondiente a la estación de Ponferrada Fuente: Meteoblue, 2020.

La vegetación está dominada por matorrales, que suponen el 45 % de la superficie total, siendo las principales especies brezos (*Erica* spp.), escobas (*Cytisus scoparius*) y otras genistas (*Adenocarpus complicatus*, *Genista sanabrensis*, *Genista hystrix* o *Genistella tridentata*) (MAPAMA, 2014; IGN, 2018). En cuanto a las masas arboladas, destacan pequeños bosquetes de *Quercus pyrenaica* en las vaguadas más húmedas y de *Quercus ilex* en las zonas de solana, que forman estructuras cerradas. Por otra parte, existen dos grandes zonas repobladas de *Pinus sylvestris*, la primera en el municipio de Truchas con unas 5000 ha y la segunda de 500 ha en La Baña. En las zonas próximas a los ríos aparecen formaciones arboladas de ribera y en áreas colindantes a núcleos habitados pequeños sotos de castaños. Además, existe un bosque singular de abedules en el municipio de Truchas (MAPAMA, 2014) (Figura 3.7).

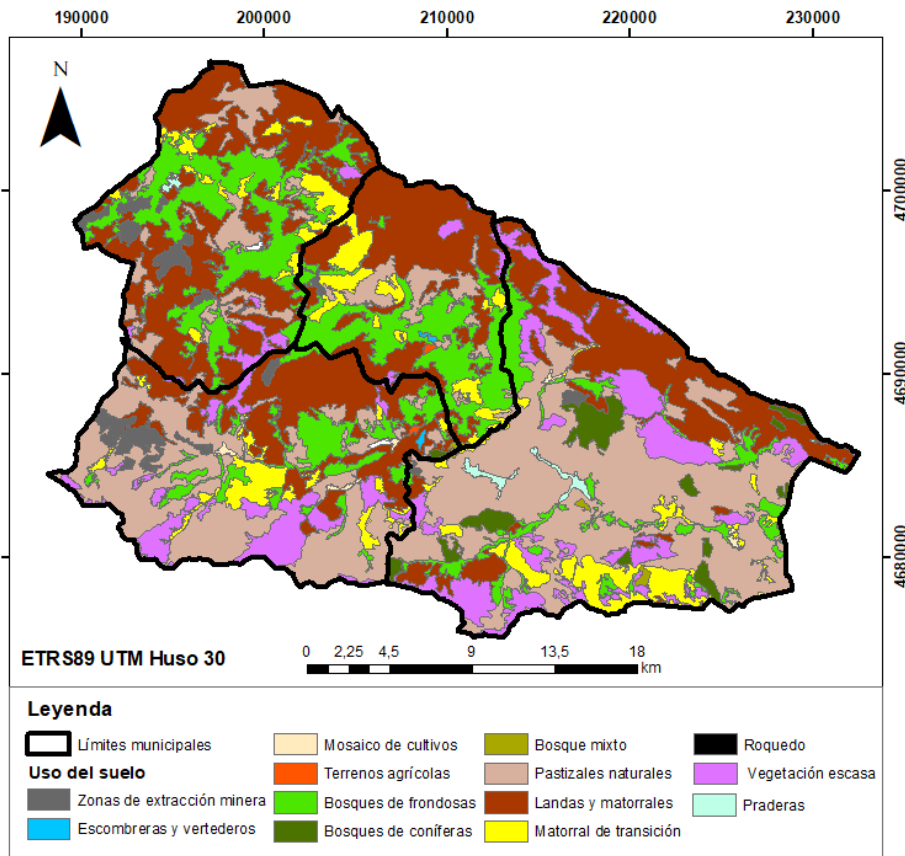


Figura 3.7: Mapa de la ocupación del suelo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Corine 2018 (IGN, 2018).

En la comarca la actividad agrícola se encuentra en decadencia, estando abandonadas la mayoría de las antiguas zonas de cultivo. Durante el último decenio se puede apreciar la reducción de los cultivos que se ha dado en los cuatro municipios (**Figura 3.8**).

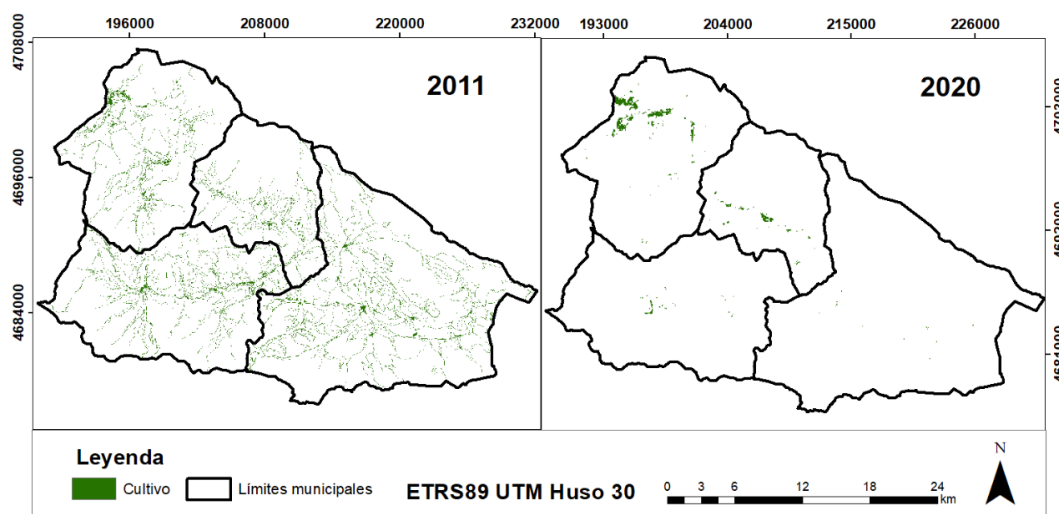


Figura 3.8: Mapa de las áreas cultivadas en 2011 (izquierda) y 2020 (derecha) Fuente: elaboración propia a partir de datos del Atlas Agroclimático de Castilla y León (Nafria *et al.*, 2013, ITACyL-AEMET, 2020).

En la comarca existen varias zonas incluidas dentro de la Red Natura 2000, ocupando una superficie total de 13208,56 ha. Se diferencian entre zonas ZEPA (Montes Aquilianos (ES4130022) y Sierra de La Cabrera (ES4130024)) y LIC (Montes Aquilianos y Sierra del Teleno (ES4130117), Riberas del Órbigo y Afluentes (ES4130065) y Sierra de La Cabrera (ES4190110)) (**Figura 3.9**).

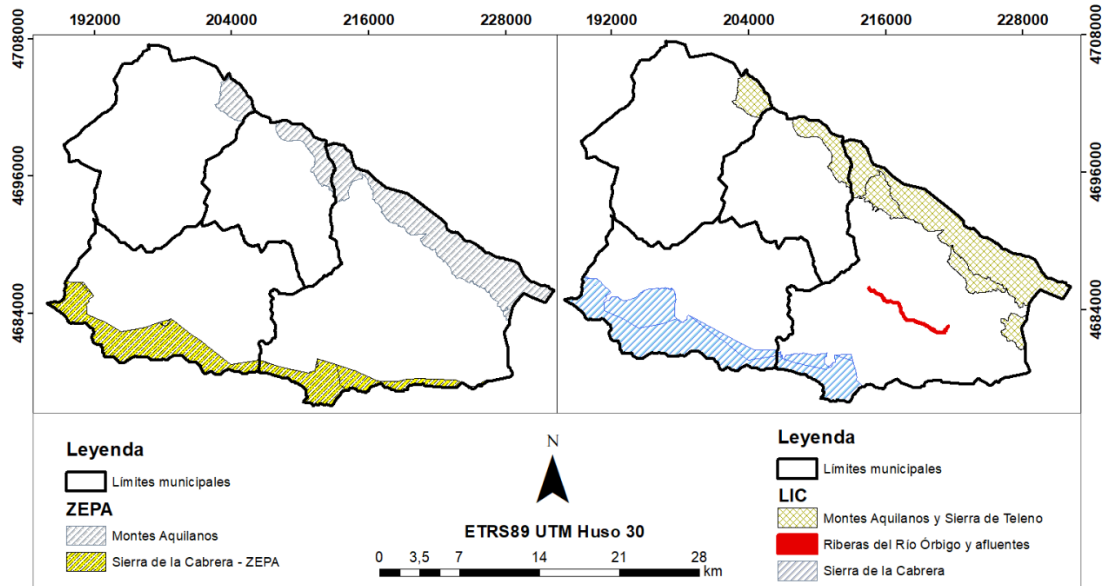


Figura 3.9: Zonas ZEPA y LIC de Red Natura 2000 situadas dentro de la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente (Junta de CyL, 2008).

En cuanto a la presencia humana, en la comarca se concentra sólo un 5% de la población de la provincia de León, siendo su densidad poblacional una de las más bajas de la provincia, con 3,99 hab/km² (INE, 2017).

En la actualidad, las canteras de pizarra son la principal actividad económica de la comarca, que aunque trajeron un importante bienestar económico y pusieron fin a la emigración, ocasionan fuertes daños ambientales (Baretino, 1995). Asimismo también cuenta con los ingresos derivados de la gestión de las masas repobladas de *Pinus sylvestris* y de una creciente cabaña ganadera (**Figura 3.10**).

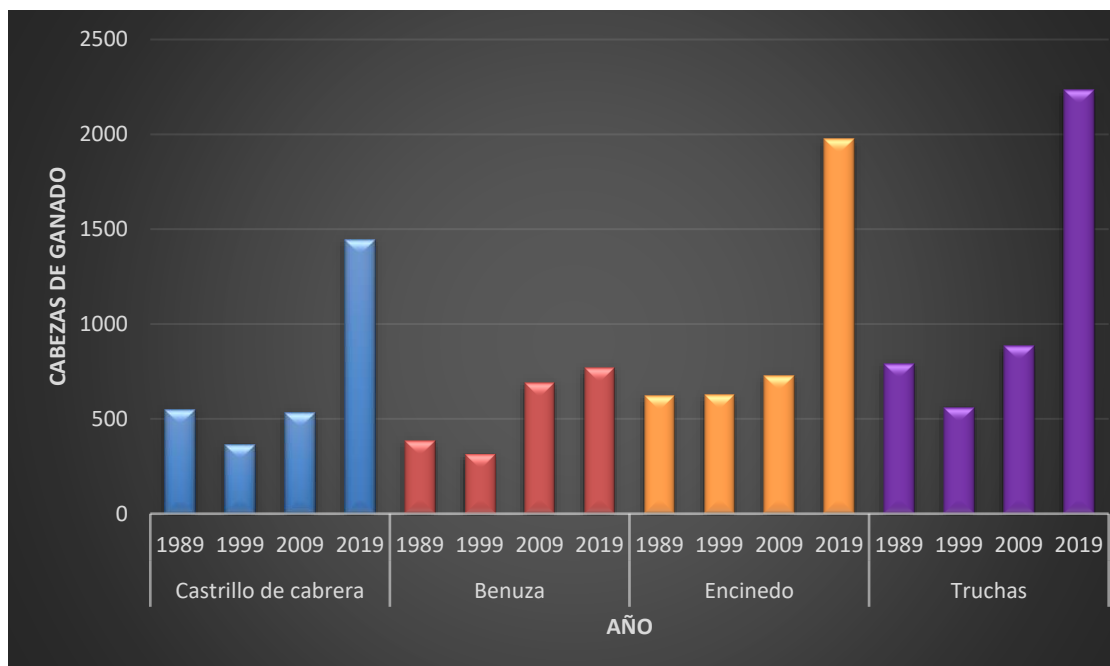


Figura 3.10: Distribución de la cabaña ganadera por municipios y años. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Servicio Territorial de Medio Ambiente (Junta de Castilla y León, 2019).

Autores como Vélez (2000) señalan que la principal causa de incendios forestales en áreas ganaderas y agrícolas son las quemadas incontroladas, especialmente en la zona noroeste de la Península. Siendo un claro ejemplo de este proceso la comarca estudiada.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

A lo largo de este apartado se detalla la información de partida utilizada y su procedencia, así como los métodos de procesamiento y análisis de los datos para lograr los objetivos propuestos. En la **Figura 4.1** se muestra el diagrama de flujo del esquema de trabajo utilizado.

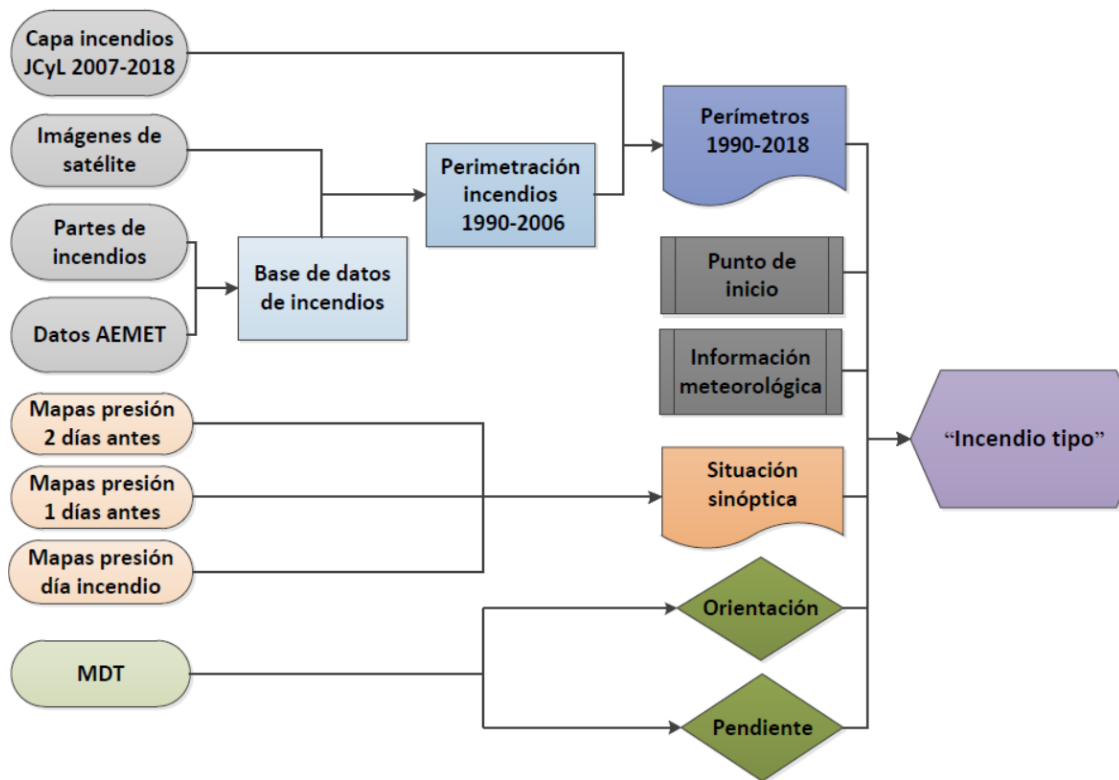


Figura 4.1: Diagrama de la metodología utilizada.

El presente trabajo se circunscribe al periodo 1990-2018. Se ha elegido como punto de partida el año 1990 al ser una fecha próxima a la asunción de las competencias en incendios forestales por parte de la Junta de Castilla y León y por ser posterior al comienzo de la toma de datos por parte del satélite Landsat 5, que se usará en este trabajo. Asimismo, se consideraron sólo los incendios con una superficie quemada igual o superior a 50 ha. La necesidad de este umbral en la superficie quemada se justifica al ser necesario que los incendios tengan una extensión suficiente que permita minimizar los errores relativos a la perimetración mediante imágenes de satélite. Asimismo, para la determinación de los patrones de propagación, los incendios han de haberse propagado por una superficie mínima para desarrollar un comportamiento que sea claramente influenciado por las condiciones de la topografía, el viento y el combustible.

4.1 Materiales

En el presente apartado se detallan los datos de partida empleados, su procedencia y forma de obtención, así como los programas informáticos para su procesado.

4.1.1 Datos sobre incendios ocurridos en el periodo 1990-2018

En este estudio se partió de la información recogida por el Servicio Territorial de Medio Ambiente de León (Junta de Castilla y León) para el conjunto de incendios ocurridos en la comarca en el periodo de 1990-2018. Esta información proviene de los partes de incendios e incluye datos de las siguientes variables: número de parte (código único para cada incendio), fecha de detección, control y extinción, superficie arbolada y no arbolada quemada, causa, datos sobre la zona de inicio (coordenadas del punto inicio -sólo para algunos incendios- , municipio, paraje, hoja y cuadrícula de 10 x 10 km), medios que actuaron, datos meteorológicos de la hora aproximada de inicio y modelo de combustible que propagó el incendio de forma mayoritaria. Gracias a esta base de datos se pudieron filtrar los 203 incendios cuya superficie superó las 50 ha.

4.1.2 Perímetro de los incendios ocurridos en el periodo 2007-2018

La Junta de Castilla y León dispone de la cartografía en formato digital de los incendios de más de 50 ha ocurridos desde el año 2007. Debido a ésto no fue necesario delimitar el perímetro de los 77 incendios correspondientes al periodo 2007-2018. La información de los perímetros fue suministrada en formato vectorial (*shapefile*) y en la base de datos asociada se incluía el número de parte de cada incendio, lo que permitió identificarlos en la base general de datos de incendios.

4.1.3 Delimitación del perímetro de los incendios del periodo 1990-2006

No existe cartografía oficial de los 126 incendios mayores de 50 ha ocurridos entre 1990 y 2006. Por ello, para delimitar el perímetro de estos incendios se utilizaron imágenes del sensor TM del satélite Landsat 5. El satélite Landsat 5 fue lanzado en 1984 y estuvo en funcionamiento hasta 2011, por lo que cubre el periodo de años necesario para los objetivos planteados. Además de por esta

razón, se emplearon las imágenes de este sensor por tener acceso gratuito a las mismas y poseer unas resoluciones espectrales, radiométricas, espaciales y temporales adecuadas para obtener la cartografía de áreas quemadas en el periodo de estudio (**Tabla 4.1**) (USGS, 2019).

Tabla 4.1: Resolución espectral y espacial de las bandas del sensor TM. Fuente: USGS, 2019.

Bandas del sensor TM	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)
TM 1	0,45 – 0,52 (azul)	30
TM 2	0,52 – 0,60 (verde)	30
TM 3	0,63 – 0,69 (rojo)	30
TM 4	0,73 – 0,9 (infrarrojo cercano)	30
TM 5	1,55 – 1,75 (infrarrojo medio)	30
TM 6	10,4 – 12,5 (infrarrojo térmico)	120
TM 7	2,08 – 2,35 (infrarrojo medio)	30

La resolución temporal de 15 días permite la identificación de las superficies quemadas antes de que desaparezcan las diferencias espectrales entre zonas quemadas y no quemadas, y la resolución radiométrica (8 bits) es suficiente para distinguir visualmente los valores de los píxeles. Así mismo, la configuración de sus bandas hace que el sensor TM sea adecuado para localizar las diferencias entre las zonas de absorción y reflexión en el SWIR y NIR (**Figura 4.2**).

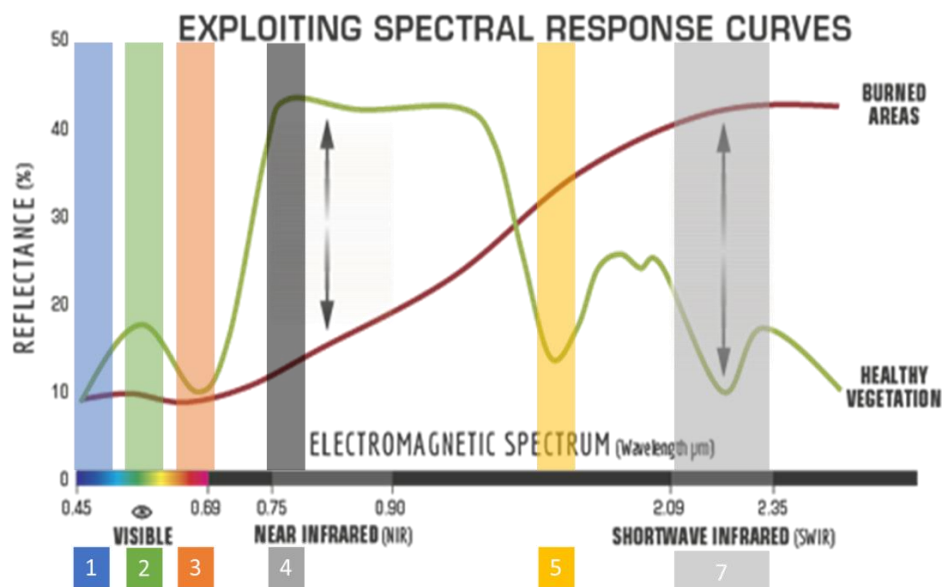


Figura 4.2: Bandas del sensor TM para la identificación de incendios superpuestas con las curvas espectrales de vegetación sana y vegetación en zonas quemadas. Fuente: Modificado de Keely, 2009.

En cuanto a la resolución espacial, en el estudio se utilizaron bandas cuya resolución es de 30 metros, concretamente las bandas 4, 5 y 7.

La **Tabla 4.2** muestra las fechas de las imágenes de satélite empleadas en este trabajo. Todas ellas tienen un nivel de procesado L1TP (Precision and Terrain Correction), son imágenes calibradas radiométricamente y georeferenciadas en el Sistema de Referencia WGS84 UTM 30. La descarga fue realizada desde el servidor de la página web Earthexplorer, perteneciente al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), disponible en la web <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Tabla 4.2: Relación de imágenes Landsat 5 utilizadas en laimetración de los incendios correspondientes al periodo 1990-2006.

Archivo	Fecha	Path	Row
LT05_L1TP_203031_19891228_20180217_01_T1	28/12/1989	203	031
LT05_L1TP_203031_19900326_20180217_01_T1	26/03/1990	203	031
LT05_L1TP_203031_19900918_20180217_01_T1	18/09/1990	203	031
LT05_L1TP_203031_19901207_20180217_01_T1	07/12/1990	203	031
LT05_L1TP_203031_19910617_20180217_01_T1	17/06/1991	203	031
LT05_L1TP_203031_19911007_20180219_01_T1	07/10/1991	203	031
LT05_L1TP_203031_19920416_20180217_01_T1	16/04/1992	203	031
LT05_L1TP_203031_19920806_20180217_01_T1	06/08/1992	203	031
LT05_L1TP_203031_19920907_20180217_01_T1	07/09/1992	203	031
LT05_L1TP_203031_19921212_20180217_01_T1	12/12/1992	203	031
LT05_L1TP_203031_19930419_20180217_01_T1	19/04/1993	203	031
LT05_L1TP_203031_19930926_20180217_01_T1	26/09/1993	203	031
LT05_L1TP_203031_19940406_20180217_01_T1	06/04/1994	203	031
LT05_L1TP_203031_19950204_20180217_01_T1	04/02/1995	203	031
LT05_L1TP_203031_19950220_20180217_01_T1	20/02/1995	203	031
LT05_L1TP_203031_19951018_20180217_01_T1	18/10/1995	203	031
LT05_L1TP_203031_19960801_20180217_01_T1	01/08/1996	203	031
LT05_L1TP_203031_19961105_20180217_01_T1	05/11/1996	203	031
LT05_L1TP_203031_19970209_20180217_01_T1	09/02/1997	203	031
LT05_L1TP_203031_19970329_20180217_01_T1	29/03/1997	203	031
LT05_L1TP_203031_19980228_20180217_01_T1	28/02/1998	203	031
LT05_L1TP_203031_19990215_20180217_01_T1	15/02/1999	203	031

LT05_L1TP_203031_19990911_20180217_01_T1	11/09/1999	203	031
LT05_L1TP_203031_20000101_20171211_01_T1	01/01/2000	203	031
LT05_L1TP_203031_20010628_20180311_01_T1	28/06/2000	203	031
LT05_L1TP_203031_20011205_20180430_01_T1	05/12/2001	203	031
LT05_L1TP_203031_20020327_20180502_01_T1	27/03/2002	203	031
LT05_L1TP_203031_20020615_20161207_01_T1	15/06/2002	203	031
LT05_L1TP_203031_20030720_20161205_01_T1	20/07/2003	203	031
LT05_L1TP_203031_20030906_20161204_01_T1	06/09/2003	203	031
LT05_L1TP_203031_20040128_20180311_01_T1	28/01/2004	203	031
LT05_L1TP_203031_20040503_20180311_01_T1	03/05/2004	203	031
LT05_L1TP_203031_20050130_20180128_01_T1	30/01/2018	203	031
LT05_L1TP_203031_20060202_20180311_01_T1	02/02/2006	203	031
LT05_L1TP_203031_20060423_20180309_01_T1	23/04/2006	203	031
LT05_L1TP_203031_20060914_20180309_01_T1	14/09/2006	203	031
LT05_L1TP_203031_20061101_20180309_01_T1	01/11/2006	203	031

La generación y visualización de la cartografía de los perímetros se realizó en un software SIG, en concreto se utilizó el software ArcGIS 10.6. La elección se basó en la capacidad de este programa para la edición y visualización de imágenes de satélite, así como de los datos que se asociaron a los perímetros, como es el “incendio tipo”o la situación sinóptica.

4.1.4 Datos meteorológicos y situaciones sinópticas

Una vez organizada la información proporcionada por la Administración se comprobó que los datos meteorológicos correspondientes al día de inicio del incendio no siempre estaban completos en los partes de incendio. Por ello, se decidió completarlos usando los datos meteorológicos diarios de las estaciones de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) de Laguna de Somoza (para los incendios ocurridos en el municipio de Truchas) y de Ponferrada (para los incendios ocurridos en los municipios de Benuza, Castrillo de Cabrera y Encinedo). No se realizó ninguna corrección por altitud de los datos de estas dos estaciones meteorológicas.

Asimismo se decidió considerar los datos correspondientes al día de inicio del incendio y a los dos días anteriores al mismo. Las variables que se registraron fueron: los días desde la última vez que hubo precipitaciones, la

temperatura máxima diaria, la humedad relativa a las 18 horas y la dirección y velocidad máximas del viento.

Para definir la situación sinóptica se partió de la información suministrada por dos tipos de mapas: (i) mapas de presión en superficie y a 500 hPa y (ii) mapas de presión a 850 hPa y de temperatura en superficie. En el mapa de superficie y 500 hPa se observa en una escala de color la presión en superficie y en blanco las isohipsas que unen puntos que alcanzan una presión de 500 hPa en una determinada altura geopotencial. En el mapa de 850 hPa las líneas blancas son las isohipsas que alcanzan esa presión en las alturas geopotenciales especificadas y la escala de color se corresponde con las temperaturas a 850hPa, que indican la presencia o no de masas de aire cálido o frío. Estos mapas fueron descargados desde el servidor de la página web <https://www.wetterzentrale.de/>

Ambos mapas se descargaron para el día de inicio del incendio y los dos días previos al mismo. En la **Figura 4.3** se muestran dichos mapas, a modo de ejemplo, para un incendio ocurrido el día 11 de septiembre de 1990.

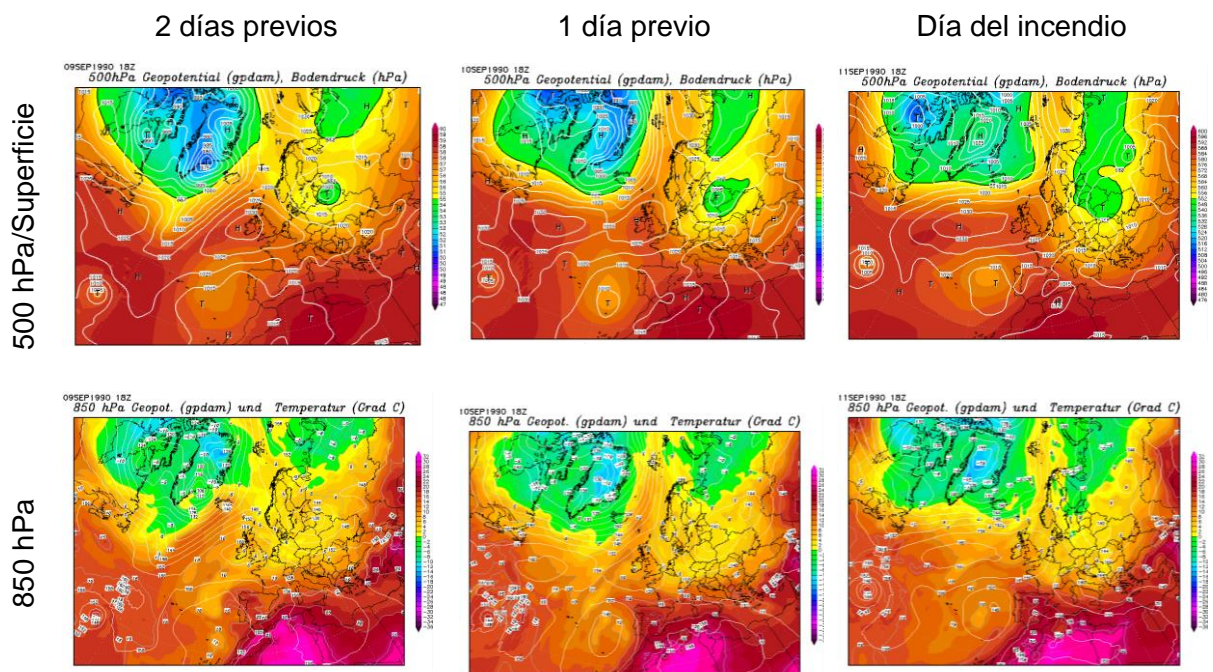


Figura 4.3: Ejemplo de mapas de presión en superficie y a 500 hPa (arriba) y de presión a 850hPa (abajo) para un incendio ocurrido el día 11 de septiembre de 1990. Se incluye el día de inicio (columna de la derecha) y los dos días anteriores (columnas de la izquierda). Fuente: Wetterzentrale, 2020.

4.2 Metodología

La metodología utilizada para la elaboración de este estudio se ha desglosado en los siguientes cinco apartados:

1. En primer lugar se creó una base de datos completa sobre los incendios ocurridos en la comarca en todo el periodo de estudio (“Creación de la base de datos”, apartado 4.2.1).
2. A partir de esta base de datos y de las imágenes satelitales se perimetraron los incendios para el periodo 1990-2006 (“Delimitación del perímetro de los incendios del periodo 1990-2006”, apartado 4.2.2).
3. Por otra parte, se estableció la situación meteorológica sinóptica en la que ocurrió cada incendio con ayuda de los diferentes mapas sinópticos (“Clasificación de situaciones meteorológicas sinópticas”, apartado 4.2.3).
4. Asimismo, se analizó la fisiografía (orientación y pendiente) de cada uno de los siniestros (“Información fisiográfica”, apartado 4.2.4).
5. Por último se cruzaron los datos de los perímetros, la información fisiográfica, la situación meteorológica sinóptica, las variables meteorológicas a nivel de superficie y las coordenadas del punto de inicio. A partir de todos estos datos se clasificaron los incendios dentro de cada uno de los “incendios tipo” (“Clasificación de los incendios”, apartado 4.2.5).

4.2.1 Creación de la base de datos de incendios

La base de datos general de incendios se generó en una hoja de cálculo Microsoft Excel®. En ella se recogió y unificó la información que se encontraba en los partes de incendios de la Junta de Castilla y León y los datos meteorológicos extraídos de las dos estaciones de AEMET consideradas. Esta información posteriormente se incorporó a ArcGIS como una tabla, para así poder realizar un análisis más detallado.

4.2.2 Delimitación del perímetro de los incendios del periodo 1990-2006

El método elegido para la perimetración ha sido la comparación de imágenes por composiciones RGB con las bandas de SWIR y NIR (7,5,4), que permiten distinguir entre las áreas quemadas y las no quemadas (**Figura 4.4**). El método de perimetración manual se seleccionó por la alta recurrencia de incendios en la comarca, pues una clasificación automática o semiautomática hubiera requerido una labor muy intensa de depuración.

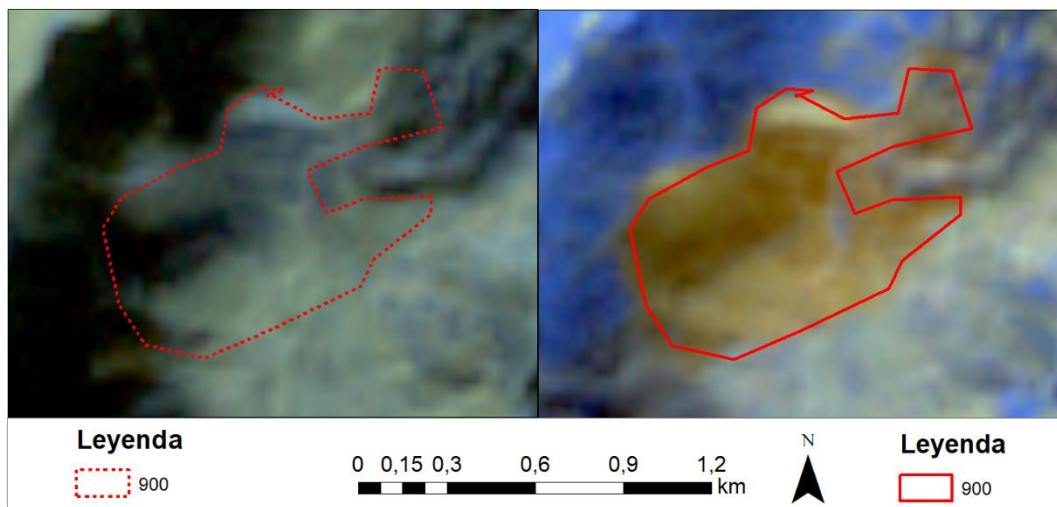


Figura 4.4: Comparación entre una composición RGB (7-5-4) anterior (izquierda) y posterior (derecha) a un incendio. En la imagen de la izquierda los colores azules generalizados indican que el área no ha sufrido ninguna perturbación reciente, mientras que en la de la derecha se puede observar una zona de color marrón correspondiente al área quemada.

El proceso seguido en la perimetración de los 126 incendios sin cartografía preexistente fue el siguiente:

- En primer lugar se analizaron las fechas en las que ocurrieron los incendios. Se comprobó que para la mayoría de los años los incendios tuvieron lugar entre comienzos de junio y finales de octubre (**Figura 4.5**), de modo que para cada año del periodo 1990-2006 se seleccionó una imagen de Landsat 5 TM de principios de junio y otra de finales de octubre (**Tabla 4.2**). Todas las imágenes se seleccionaron con un porcentaje de cobertura de nubes inferior al 30%.

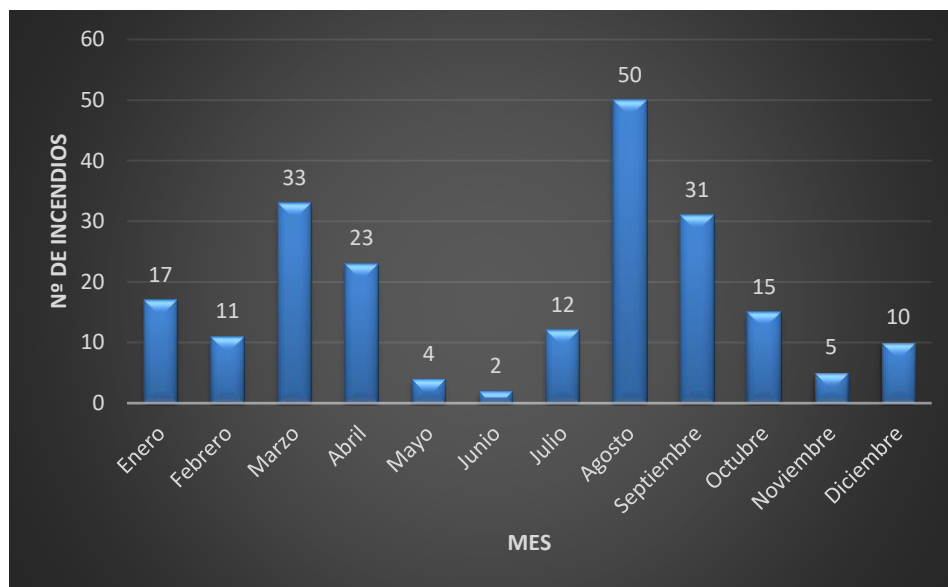


Figura 4.5: Distribución de los incendios de más de 50 ha de forma mensual para el periodo 1990-2018.

- Para los incendios ocurridos antes del mes de junio o después del mes de octubre, en caso de que no fueran cartografiables con las imágenes anteriores, se seleccionaron nuevas imágenes con fecha cercana (anterior y posterior) a la fecha de esos incendios.
- Para localizar de forma aproximada los incendios en cada imagen de satélite se utilizó la siguiente información del parte de incendios: fecha de inicio del incendio, municipio, paraje y coordenadas UTM del punto de inicio (para aquellos incendios en los que estaban disponibles).
- La identificación de las zonas quemadas se realizó de forma manual en la imagen post-incendio (imagen de finales de octubre en la mayoría de los casos), mediante la visualización de la combinación RGB (bandas 7-5-4 del sensor TM del Landsat 5). Para verificar que el perímetro no se correspondía con un incendio previo se analizó, asimismo, la imagen RGB de junio de ese mismo año. Este aspecto es especialmente relevante para evitar falsos positivos en zonas con elevada frecuencia y recurrencia de incendios como la zona de la Cabrera.

- Para la digitalización de los perímetros se utilizó la herramienta de digitalización de ArcGIS 10.6. La cartografía vectorial se elaboró en el Sistema de Referencia de coordenadas ETRS89 UTM Huso 30, que es el de referencia para cartografía de escala mayor de 1:500.000 en la zona.

Una vez digitalizados estos incendios, los polígonos se unieron a la capa de perímetros proporcionados por la Junta de Castilla y León, obteniendo la base de datos cartográfica histórica de grandes incendios en la comarca.

4.2.3 Clasificación de situaciones meteorológicas sinópticas

Para determinar las situaciones sinópticas en las que se originó cada incendio se siguió la clasificación de Vide (2005) expuesta en el apartado de Introducción. Se trata de una clasificación sinóptica subjetiva, que ofrece un conjunto de tipos o situaciones sinópticas modélicas que el investigador o el usuario puede definir mediante su experiencia, “manualmente”. Aunque este tipo de clasificación presenta el inconveniente de que una situación atmosférica concreta puede ser asimilada a tipos diferentes según quien la clasifique, se ha usado en este trabajo puesto que no tiene una elevada complejidad. Asimismo, para disminuir la incertidumbre, las configuraciones de isohipsas e isobaras más complejas se clasificaron por varias personas, llegando a un consenso final. Los mapas utilizados fueron los de superficie, 500hPa y 850 hPa.

4.2.4 Información fisiográfica

Como punto de partida para el análisis fisiográfico se utilizó un Modelo Digital del Terreno (MDT) de 25 metros de resolución espacial, disponible on-line en la web del IGN: <https://pnoa.ign.es/mdt-lidar>.

Las variables analizadas han sido la pendiente y la exposición de la superficie quemada por cada incendio. La exposición se relaciona con la disponibilidad del combustible, pues determina el tipo de vegetación, la temperatura y la humedad del combustible, modificando asimismo la dinámica en los movimientos de la masas de aire. La pendiente, por otra parte, influye de forma directa sobre la velocidad de propagación del incendio, ya que favorece

los vientos locales y los procesos de transferencia de calor ladera arriba (Pastor *et al.*, 2004).

Para llevar a cabo los análisis se calculó la superficie quemada en cada incendio para cada una de las 4 clases de pendientes y exposiciones expuestas en la **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3: Clases de pendientes y exposiciones en las que se clasificaron las superficies quemadas por los incendios.

Pendiente	Exposición
0 - 15	Norte
15 - 30	Este
30 - 45	Sur
> 45	Oeste

4.2.5 Clasificación de los incendios

Una vez recopilada e introducida en una base de datos toda la información fisiográfica, meteorológica a nivel de superficie y de la situación meteorológica sinóptica de cada uno de los siniestros, se procedió al análisis de las variables para la clasificación de cada uno de los incendios en uno de los “incendios tipo”. Para ello se siguió la metodología descrita por Castellnou *et al.*, (2009). Se trata de una clasificación manual subjetiva supervisada que se basa en: i) el análisis de la geometría del perímetro con respecto a la topografía de la zona, teniendo en cuenta el punto de inicio y ii) la observación de la situación meteorológica a nivel de superficie y de la situación meteorológica sinóptica y su evolución en los dos días anteriores y el día del incendio.

Finalmente se obtiene el patrón principal de propagación del incendio, es decir si la carrera principal y la apertura o no de los flancos se debe al viento, la topografía o la situación convectiva. De acuerdo con el patrón de propagación dominante se pueden definir 5 “incendios tipo” para el área de estudio: topográfico de ladera, topográfico de valle, viento, contraviento y convectivo.

Incendios topográficos:

Se corresponden con incendios en los que vientos sinópticos y generales no son coincidentes, y en caso de coincidir la velocidad del viento general es inferior a 15 km/h. Estos incendios están ligados al relieve, siendo la pendiente, la cuenca hidrográfica o la orientación los principales factores de propagación. Se dividen en dos tipos:

- De ladera

En este tipo de incendios el eje de propagación es coincidente con la línea de máxima pendiente. Normalmente son favorecidos por los vientos locales, pues los vientos generales suelen tener poca velocidad. Avanzan con fuerza inicialmente en la cabeza del incendio, que está alineada con la ladera. Sin embargo, al llegar a la divisoria, los flancos tienden a abrirse y pasan a ser el motor del incendio.

- De valle o cuenca

Son aquellos incendios cuya propagación es dominada por las cuencas hidrográficas, pues se mueven consumiendo la vegetación en estos valles. Una vez llegan al fondo de valle se propagan hasta llegar al siguiente punto crítico. Generalmente se dan en zonas con relieves escarpados y en redes hidrográficas ramificadas.

Incendios de viento

Se clasifican como tales aquellos en los que los vientos sinópticos y generales son aproximadamente coincidentes (menos de 90° de diferencia) y la velocidad de los vientos generales es superior a 15 km/h.

En los incendios dominados por el viento podemos diferenciar un subtipo, se trata de los incendios de contraviento.

- Contraviento

Se da en aquellos siniestros cuyo viento general tiene bastante velocidad y choca contra una cadena montañosa, por lo que se provoca un efecto rotor a sotavento de la línea divisoria en sentido contrario al viento general. Son incendios con una carrera movida por la topografía y el contraviento hasta la divisoria. Por lo general se crean focos secundarios que dan lugar a nuevas carreras que están alineadas con el eje de cresta y donde el viento general frena su avance.

Incendios convectivos

Se trata de incendios asociados a variables topográficas o de vientos como factores principales de propagación, pero con comportamiento convectivo. Son incendios en los que hay un gradiente de temperatura elevado junto con sequedad y vientos en altura. Este tipo de incendios tienen un desarrollo inicial rápido, en el que se forma una columna convectiva en las capas bajas de la atmósfera y a medida que el incendio se desarrolla crea una depresión en superficie absorbiendo el viento y acelerando la combustión, por lo que se incrementa la velocidad del incendio.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se describen los resultados obtenidos al realizar el procedimiento descrito en el apartado anterior. Asimismo, se discuten los resultados con la información disponible y trabajos anteriores.

5.1 Caracterización general de los incendios forestales de más de 50 ha

Durante el periodo 1990-2018 en la comarca forestal de Truchas hubo 1921 incendios, de los cuales 203 superaron 50 ha, siendo éstos el objeto del presente trabajo. El número de siniestros que superaron este tamaño presenta una tendencia descendente en los últimos años. El máximo de incendios tuvo lugar en el año 2000, en el que hubo 24 y el mínimo en los años 1992, 2007 y 2018 en los que solo uno de los incendios superó las 50 ha. El promedio anual de incendios de incendios superiores de 50 ha es de 7 (**Figura 5.1**).

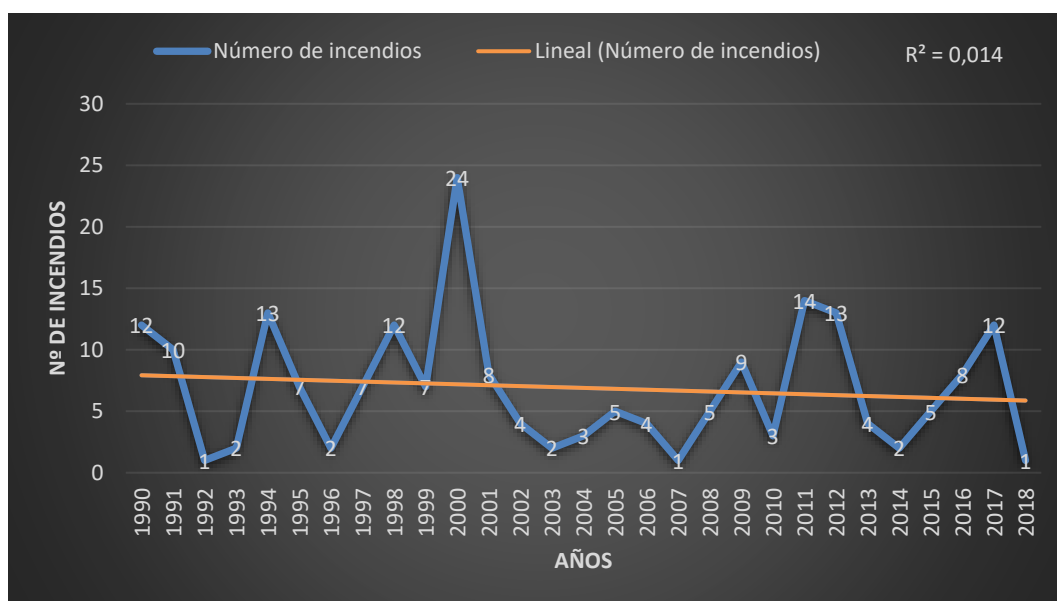


Figura 5.1: Evolución del número de incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.

La evolución en la superficie quemada por estos incendios tiene, sin embargo, una ligera tendencia al alza, si bien está muy influenciada por la gran superficie quemada en la ola de incendios del año 2017. Este patrón podría deberse a la selección negativa de los incendios forestales en la extinción, que hipotetiza la denominada “paradoja de la extinción”. Esta paradoja indica que a medida que hay una extinción más eficiente es más probable la existencia de incendios que queman grandes superficies, puesto que hay más cantidad de combustible disponible para nuevos incendios (**Figura 5.2**).

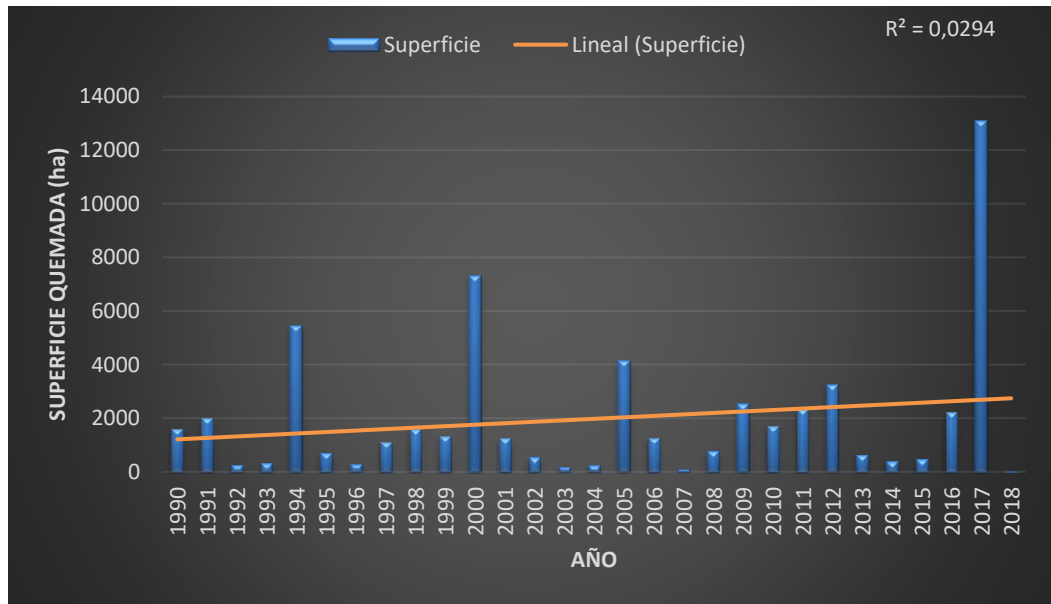


Figura 5.2: Evolución de la superficie quemada por los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.

En cuanto a la distribución temporal de los incendios, se distinguen dos épocas principales. La primera se corresponde con los meses de marzo y abril, coincidiendo con el uso del fuego para la recuperación de zonas de pasto para el ganado. La segunda tiene lugar en la época estival (julio, agosto y septiembre) donde ocurren la mayor parte de los incendios superiores a 50 ha, probablemente debido a la existencia de unas condiciones meteorológicas más favorables (**Figura 5.3**).

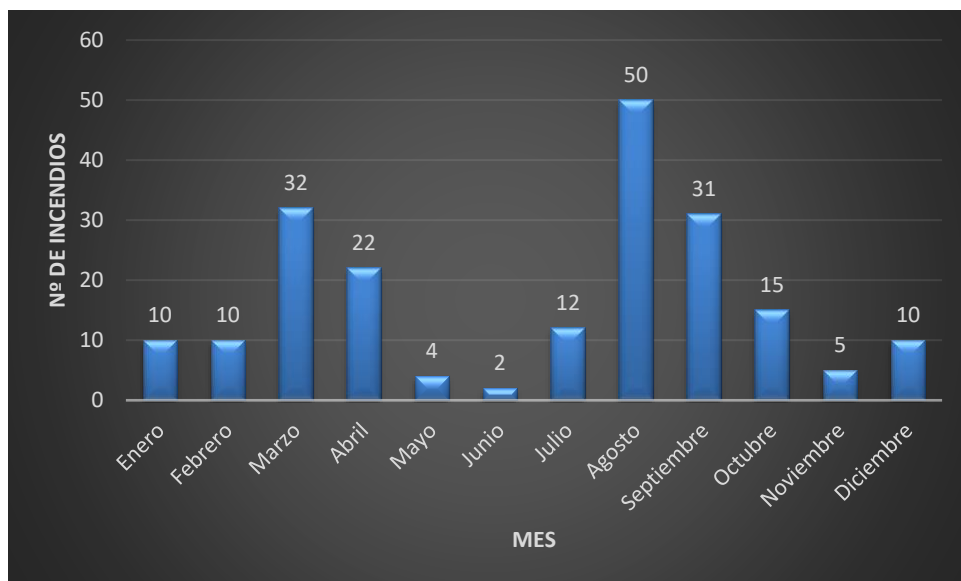


Figura 5.3: Distribución mensual de los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.

Los incendios superiores a 50 ha en la comarca son mayoritariamente intencionados (73%), mientras que un 1% son causados de forma natural por rayos, un 13% por negligencias y accidentes, y el 30% restante no tienen una causa conocida. Entre los incendios intencionados destacan los motivos agrícolas-ganaderos y la caza, con un 28% y 12% respectivamente (**Figura 5.4**). Estos siniestros, aunque no tienen como objetivo quemar grandes superficies, muchas veces son acompañados de situaciones atmosféricas propicias para el descontrol del fuego, desembocando en incendios forestales de superficie considerable, como los estudiados. A estas situaciones atmosféricas, en los últimos años se ha sumado el aumento en la carga de combustibles por el abandono y éxodo rural, qué combinándolo con la creciente cabaña ganadera de la comarca está modificando el comportamiento y régimen de los incendios (Puente, 2017).

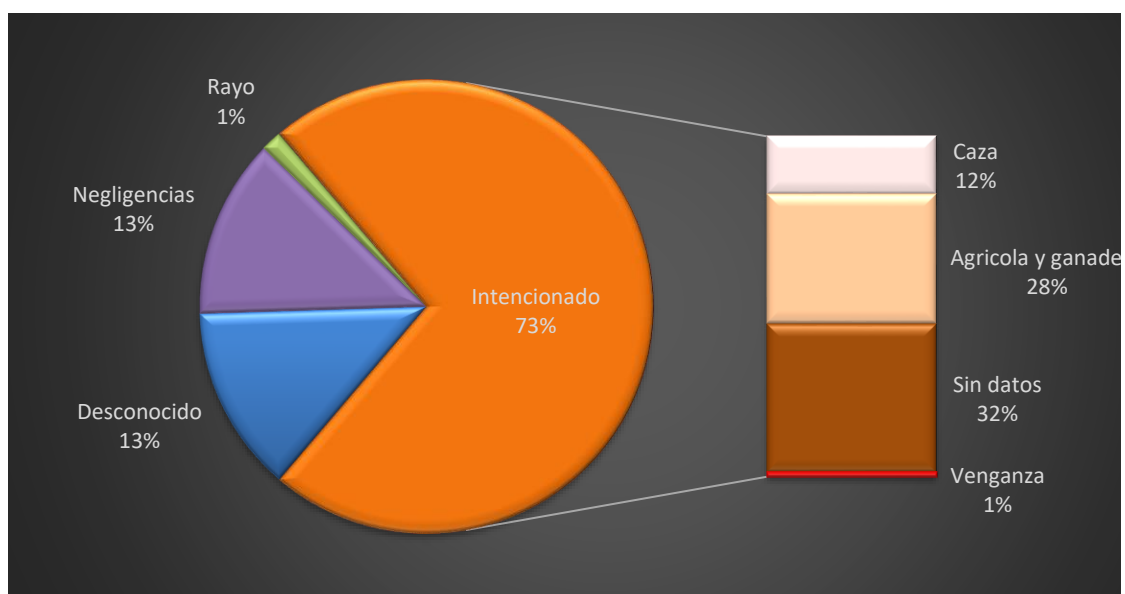


Figura 5.4: Causas y motivaciones de los incendios de más de 50 ha para el periodo 1990-2018.

Al analizar los GIFs, 22 en el periodo de estudio, se observa que representan algo más del 10% del número de incendios. Sin embargo, representan más del 52% de la superficie quemada en el periodo de estudio. También se puede ver como en la última década han ocurrido el mismo número de GIFs que en los anteriores 18 años, lo que parece sugerir un incremento reciente de los GIFs en la comarca (**Figura 5.5**).

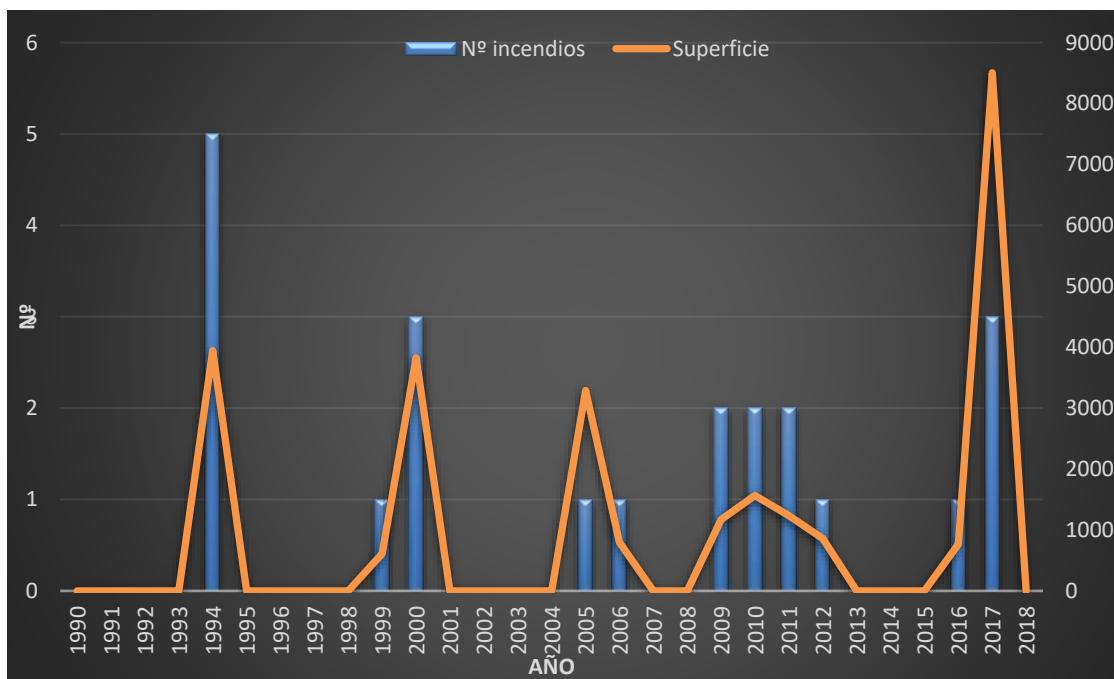


Figura 5.5: Distribución anual del número y superficie quemada por los GIFs para el periodo 1990-2018.

Si se analizan los incendios superiores a 50 ha por exposición y clase de pendiente se observa una predominancia de los incendios por las laderas sur, probablemente debido a los vientos locales a causa del calentamiento del sol. Así mismo, la pendiente donde mayoritariamente se dan los incendios es entre 15 y 30% (**Tabla 5.1**).

Tabla 5.1: Porcentaje de superficie afectado por exposición y clase de pendiente.

Exposición	Superficie (%)	Pendiente (%)	Superficie (%)
Norte	15,07	0-15	15,89
Oeste	25,66	15-30	51,03
Sur	31,66	30-45	32,47
Este	26,98	>45	0,6

5.2 Perimetración de incendios

Mediante imágenes de satélite fue posible perimetrar los 126 incendios de más de 50 ha ocurridos entre 1990 y 2006, que no disponían de cartografía previa. En la **Figura 5.6** se muestran todos los perímetros superiores a 50 ha para el periodo de 1990-2006 en amarillo y los proporcionados por la Junta de Castilla y León en naranja.

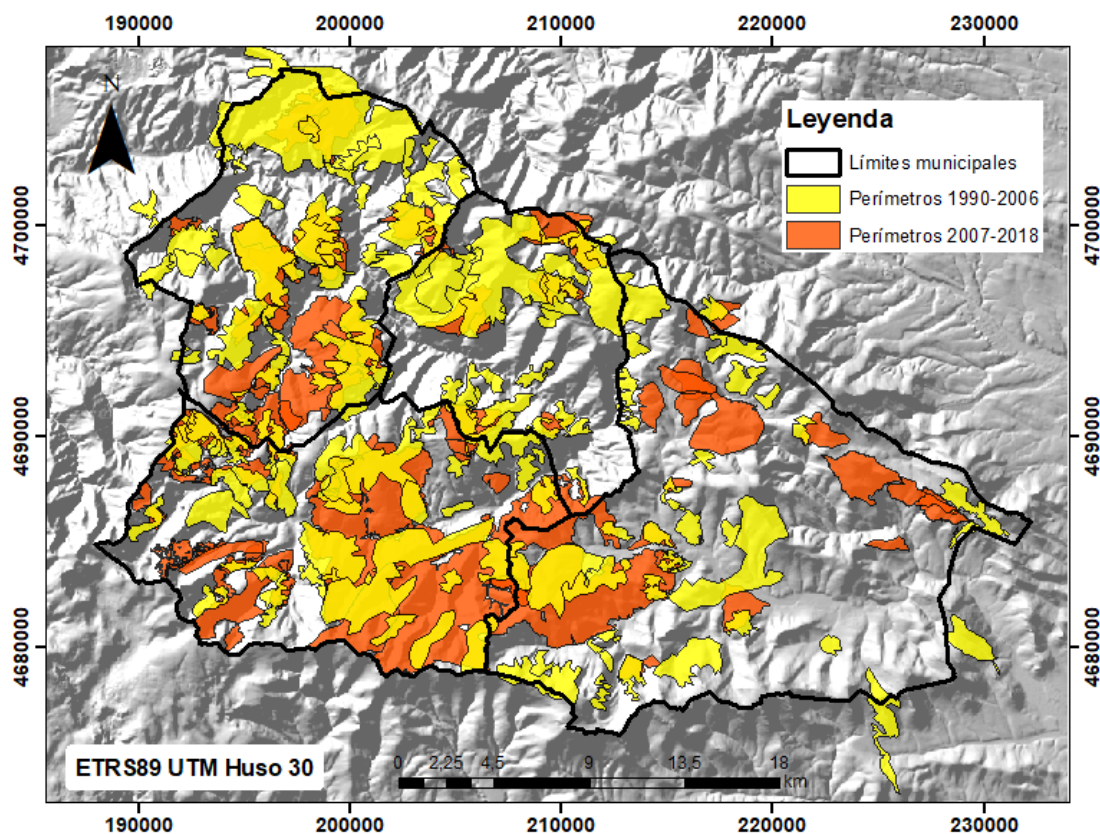


Figura 5.6: Perímetros de los incendios de más 50 ha en amarillo para el periodo 1990-2006 y naranja para el periodo 2007-2018.

En la **Tabla 5.2** se muestran algunas características relevantes de los incendios superiores a 50 ha para el periodo de 1990-2018.

Tabla 5.2: Relación de algunas características de los incendios superiores a 50 ha para el periodo 1990-2018.

Nº de parte	Fecha de inicio	Duración (horas)	Municipio	Superficie (ha)
1990240059	11/09/1990	14:40	Benuza	98,32
1990240066	17/07/1990	66:00	Benuza	329,67
1990240073	09/09/1990	24:30	Castrillo de Cabrera	81,69
1990240075	20/08/1990	07:00	Castrillo de Cabrera	61,81
1990240080	18/09/1990	21:00	Encinedo	58,31
1990240081	27/04/1990	19:00	Encinedo	69,84
1990240085	17/08/1990	08:00	Encinedo	111,87
1990240088	11/09/1990	42:10	Encinedo	149,89
1990240235	21/07/1990	03:35	Encinedo	138,00
1990240292	12/10/1990	08:30	Benuza	75,55
1990240295	30/08/1990	07:30	Castrillo de Cabrera	92,99
1990240351	15/09/1990	29:50	Truchas	256,58
1991240179	16/07/1991	57:30	Encinedo	152,30
1991240180	17/07/1991	26:00	Encinedo	210,82
1991240194	06/08/1991	29:00	Truchas	340,44

1991240205	29/07/1991	37:00	Benuza	117,31
1991240207	06/08/1991	30:00	Castrillo de Cabrera	479,67
1991240235	11/08/1991	26:00	Castrillo de Cabrera	287,25
1991240294	29/08/1991	20:15	Truchas	137,63
1991240297	25/08/1991	06:00	Castrillo de Cabrera	132,34
1991240298	27/08/1991	10:00	Castrillo de Cabrera	167,85
1991240299	26/08/1991	10:00	Encinedo	153,08
1992240376	05/05/1992	57:00	Benuza	229,42
1993240113	28/03/1993	05:00	Truchas	296,72
1993240291	05/09/1993	19:15	Truchas	138,26
1994240056	14/04/1994	49:30	Benuza	363,27
1994240135	14/04/1994	10:15	Truchas	91,54
1994240373	27/08/1994	19:30	Encinedo	65,77
1994240439	21/08/1994	57:00	Truchas	164,80
1994240448	18/08/1994	14:00	Benuza	138,52
1994240449	05/08/1994	76:15	Benuza	410,88
1994240450	06/09/1994	96:00	Encinedo	1131,09
1994240451	21/08/1994	5:38	Benuza	607,80
1994240453	20/08/1994	74:00	Castrillo de Cabrera	762,38
1994240454	25/08/1994	140:00	Castrillo de Cabrera	1074,91
1994240455	21/08/1994	82:00	Encinedo	540,99
1994240797	24/11/1994	25:00	Benuza	52,66
1994241042	26/07/1994	06:00	Benuza	69,87
1995240173	16/04/1995	37:00	Castrillo de Cabrera	58,96
1995240369	25/08/1995	21:30	Encinedo	160,52
1995240385	27/08/1995	43:30	Castrillo de Cabrera	172,75
1995240408	30/08/1995	21:00	Truchas	84,89
1995240491	31/03/1995	58:00	Benuza	96,12
1995240553	14/04/1995	82:30	Benuza	138,14
1995240634	10/06/1995	34:00	Benuza	53,50
1996246223	01/09/1996	23:45	Encinedo	186,11
1996246395	01/11/1996	76:30	Truchas	107,04
1997247038	28/02/1997	96:00	Benuza	371,96
1997247039	28/02/1997	122:59	Benuza	677,90
1997247040	03/03/1997	22:00	Benuza	52,73
1997247043	27/02/1997	21:00	Benuza	70,43
1997247044	04/03/1997	34:00	Benuza	58,40
1997247216	20/03/1997	27:30	Encinedo	53,89
1997247260	22/03/1997	54:00	Truchas	64,94
1998240080	06/03/1998	10:45	Truchas	107,32
1998240130	19/03/1998	2:33	Benuza	95,64
1998240354	11/08/1998	21:30	Castrillo de Cabrera	86,49
1998240377	13/08/1998	29:40	Encinedo	56,09
1998240481	25/08/1998	2:08	Encinedo	170,72
1998240533	30/08/1998	25:50	Castrillo de Cabrera	62,23
1998240539	31/08/1998	35:30	Benuza	281,85

1998240542	31/08/1998	30:30	Benuza	198,76
1998240575	02/09/1998	8:34	Castrillo de Cabrera	92,86
1998240589	05/09/1998	17:30	Truchas	73,95
1998240676	29/11/1998	24:45	Truchas	66,16
1998240684	27/12/1998	08:00	Truchas	400,40
1999240069	07/02/1999	19:15	Truchas	105,00
1999240148	17/03/1999	06:00	Truchas	62,72
1999240285	30/06/1999	26:00	Encinedo	135,99
1999240418	21/08/1999	79:30	Castrillo de Cabrera	891,25
1999240431	24/08/1999	30:00	Benuza	149,87
1999240452	30/08/1999	72:45	Castrillo de Cabrera	72,98
1999240613	22/08/1999	30:00	Benuza	94,73
1999240616	24/07/1999	06:00	Benuza	142,64
2000240081	24/02/2000	11:00	Castrillo de Cabrera	161,99
2000240083	27/02/2000	48:00	Castrillo de Cabrera	104,55
2000240184	07/03/2000	25:30	Benuza	102,89
2000240232	10/03/2000	10:00	Truchas	66,31
2000240274	11/03/2000	59:25	Benuza	68,65
2000240275	11/03/2000	51:00	Benuza	262,42
2000240366	17/03/2000	09:00	Benuza	258,66
2000240478	31/03/2000	73:30	Truchas	76,23
2000240535	18/06/2000	05:00	Encinedo	282,62
2000240654	02/08/2000	5:10	Encinedo	58,00
2000240671	04/08/2000	51:10	Benuza	148,69
2000240717	10/08/2000	32:30	Encinedo	193,45
2000240724	10/08/2000	08:45	Truchas	68,06
2000240780	17/08/2000	112:19	Encinedo	216,86
2000240794	18/08/2000	111:10	Encinedo	1404,55
2000240797	18/08/2000	06:45	Truchas	1039,71
2000240812	19/08/2000	21:00	Encinedo	324,97
2000240885	28/08/2000	122:00	Castrillo de Cabrera	401,53
2000240948	29/08/2000	110:45	Benuza	248,07
2000240949	02/09/2000	14:55	Castrillo de Cabrera	1232,22
2000240966	04/09/2000	11:15	Truchas	133,12
2000240972	04/09/2000	2:19	Encinedo	69,77
2000241057	11/09/2000	56:35	Benuza	55,85
2000241108	15/09/2000	49:00	Encinedo	176,40
2001240118	09/07/2001	08:23	Encinedo	119,97
2001240212	02/08/2001	29:35	Truchas	100,56
2001240299	13/08/2001	148:20	Encinedo	440,00
2001240408	02/09/2001	27:30	Truchas	70,66
2001240437	07/09/2001	45:30	Truchas	192,04
2001240480	12/09/2001	24:25	Benuza	74,22
2001240484	12/09/2001	27:00	Encinedo	252,27
2001240530	16/09/2001	06:00	Truchas	70,07
2001240697	17/12/2001	20:35	Benuza	90,38

2002240074	21/03/2002	15:15	Truchas	305,90
2002240094	24/03/2002	56:00	Castrillo de Cabrera	85,70
2002240115	25/03/2002	11:55	Encinedo	121,86
2002240193	20/04/2002	19:14	Castrillo de Cabrera	61,31
2003240207	30/07/2003	37:00	Benuza	120,00
2003240321	13/08/2003	65:00	Benuza	80,05
2004241108	08/02/2004	04:58	Encinedo	82,68
2004241130	14/02/2004	06:45	Encinedo	130,96
2004241309	12/04/2004	150:12	Benuza	60,08
2005240331	19/03/2005	06:05	Benuza	112,13
2005240629	20/07/2005	82:53	Benuza	454,23
2005240664	01/08/2005	55:29	Benuza	3344,17
2005240803	15/09/2005	44:10	Castrillo de Cabrera	187,71
2005240904	18/12/2005	31:50	Benuza	81,69
2005240914	23/12/2005	07:59	Benuza	51,31
2006240076	12/02/2006	53:40	Encinedo	149,52
2006240078	12/02/2006	48:30	Encinedo	191,61
2006240454	08/09/2006	33:37	Truchas	91,33
2006240473	09/09/2006	31:59	Truchas	806,87
2007240260	04/11/2007	07:43	Benuza	97,99
2008240016	24/01/2008	30:45	Truchas	208,24
2008240021	24/01/2008	53:30	Truchas	204,95
2008240277	21/03/2008	04:20	Truchas	112,99
2008240515	14/09/2008	50:30	Truchas	154,75
2008240618	24/12/2008	22:50	Truchas	139,36
2009240026	17/02/2009	22:32	Benuza	95,12
2009240260	22/03/2009	31:47	Encinedo	219,14
2009240265	21/03/2009	67:30	Benuza	200,75
2009240371	05/04/2009	10:45	Benuza	88,86
2009240424	27/04/2009	18:46	Encinedo	135,65
2009240454	07/05/2009	19:30	Benuza	407,73
2009240554	22/07/2009	46:30	Encinedo	141,23
2009240698	11/09/2009	124:35	Benuza	673,88
2009240700	24/01/2008	101:09	Truchas	132,18
2010240119	04/08/2010	47:35	Encinedo	64,26
2010240135	09/08/2010	10:36	Encinedo	608,41
2010240181	24/08/2010	05:59	Benuza	682,89
2011240064	10/02/2011	11:55	Castrillo de Cabrera	150,67
2011240086	01/03/2011	12:00	Encinedo	54,49
2011240124	21/03/2011	11:03	Truchas	85,29
2011240141	05/04/2011	28:05	Encinedo	56,98
2011240142	05/04/2011	17:25	Encinedo	132,28
2011240154	09/04/2011	55:27	Encinedo	169,64
2011240166	10/04/2011	67:40	Encinedo	58,86
2011240359	20/08/2011	33:00	Benuza	66,93
2011240403	09/09/2011	60:00	Encinedo	579,97

2011240487	29/09/2011	57:05	Encinedo	53,04
2011240506	03/10/2011	105:30	Encinedo	54,96
2011240536	09/10/2011	55:30	Benuza	75,02
2011240537	09/10/2011	55:30	Benuza	78,43
2011240586	18/10/2011	29:30	Castrillo de Cabrera	589,28
2012240003	09/01/2012	11:00	Benuza	180,48
2012240004	09/01/2012	34:00	Benuza	250,07
2012240021	14/01/2012	17:57	Encinedo	80,02
2012240023	07/01/2012	09:04	Encinedo	65,05
2012240044	09/02/2012	28:51	Truchas	480,23
2012240045	10/02/2012	07:54	Truchas	190,22
2012240110	24/02/2012	09:55	Truchas	56,07
2012240127	26/02/2012	74:35	Benuza	160,00
2012240132	26/02/2012	34:14	Encinedo	70,33
2012240150	27/02/2012	29:16	Truchas	80,11
2012240228	09/03/2012	72:06	Truchas	904,94
2012240243	11/03/2012	86:18	Castrillo de Cabrera	386,07
2012240337	29/03/2012	34:13	Truchas	301,04
2013240281	15/09/2013	43:42	Benuza	62,99
2013240286	17/09/2013	34:30	Encinedo	398,40
2013240326	06/12/2013	25:10	Benuza	110,01
2013240327	06/12/2013	24:01	Encinedo	76,59
2014240121	16/05/2014	22:12	Benuza	315,53
2014240325	07/12/2014	16:38	Encinedo	75,75
2015240005	09/01/2015	09:40	Benuza	126,87
2015240046	10/03/2015	28:55	Encinedo	74,64
2015240053	12/03/2015	24:00	Encinedo	95,94
2015240249	14/07/2015	16:33	Benuza	70,80
2015240411	26/09/2015	52:10	Castrillo de Cabrera	110,00
2016240001	08/01/2016	24:05	Truchas	61,07
2016240194	16/08/2016	24:00	Encinedo	82,00
2016240280	05/09/2016	116:35	Benuza	468,00
2016240314	12/09/2016	06:30	Encinedo	810,61
2016240398	25/12/2016	47:30	Benuza	285,02
2016240400	27/12/2016	18:10	Benuza	389,01
2016240403	29/12/2016	07:07	Benuza	59,05
2016240405	27/12/2016	25:00	Encinedo	88,30
2017240029	08/01/2017	48:05	Encinedo	60,63
2017240145	25/02/2017	22:00	Truchas	88,67
2017240260	17/03/2017	35:37	Castrillo de Cabrera	90,65
2017240289	21/03/2017	19:18	Truchas	130,00
2017240308	05/04/2017	50:26	Benuza	55,39
2017240336	10/04/2017	38:55	Castrillo de Cabrera	100,49
2017240348	11/04/2017	72:40	Encinedo	68,43
2017240352	12/04/2017	50:42	Castrillo de Cabrera	306,26
2017240373	14/04/2017	73:30	Encinedo	52,77

2017240403	20/04/2017	71:40	Benuza	798,34
2017240584	21/08/2017	165:42	Encinedo	9816,86
2017240760	15/10/2017	73:16	Benuza	1521,79
2018240074	09/05/2018	46:00	Encinedo	66,29

En la **Figura 5.7** se expone la comparación entre las superficies indicadas en los partes oficiales y las obtenidas a partir de la perimetración mediante teledetección. Como se observa, ambos valores son muy similares, si bien las superficies que figuran en los partes son algo superiores. Este hecho, es seguramente debido al efecto de las islas interiores no quemadas, que es difícil de calcular de forma precisa mediante GPS u otras metodologías tradicionales y por tanto se suele sobreestimar ligeramente el área quemada.

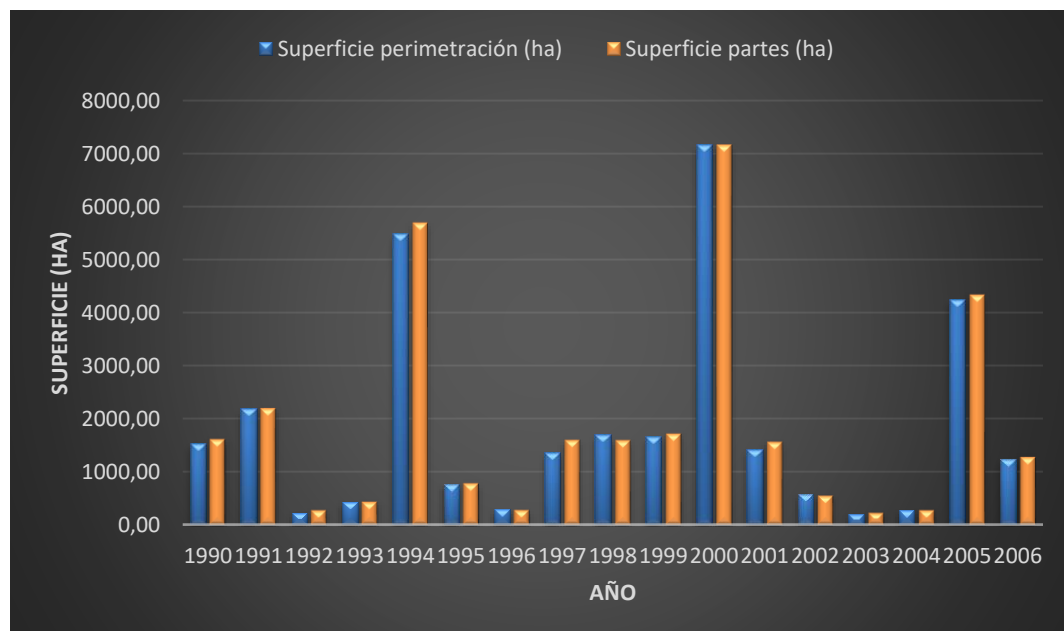


Figura 5.7: Comparación entre las superficies quemadas recogidas en los partes de incendio y medidas a partir del perímetro digitalizado para los años 1990-2006.

Un patrón observado en la comarca, es la superposición de las huellas de algunos incendios a lo largo del tiempo, es decir, la tendencia a que se solapen los perímetros de incendios ocurridos en épocas diferentes. En el ejemplo de la **Figura 5.8** se puede ver como las áreas de dos incendios que tuvieron lugar en los años 1997 y 2009 (nº de parte 1997247039 y 2009240698, respectivamente) se superponen casi por completo, representado en color naranja en la imagen. Esto se debe a un fenómeno de recurrencia geográfica de los incendios sobre una misma área, debido a las interacciones topográficas y climáticas con el

combustible post-incendio, normalmente matorral, que crean condiciones especialmente favorables a la propagación de los incendios que se repiten a lo largo del tiempo (Gallegos *et al.*, 2017).

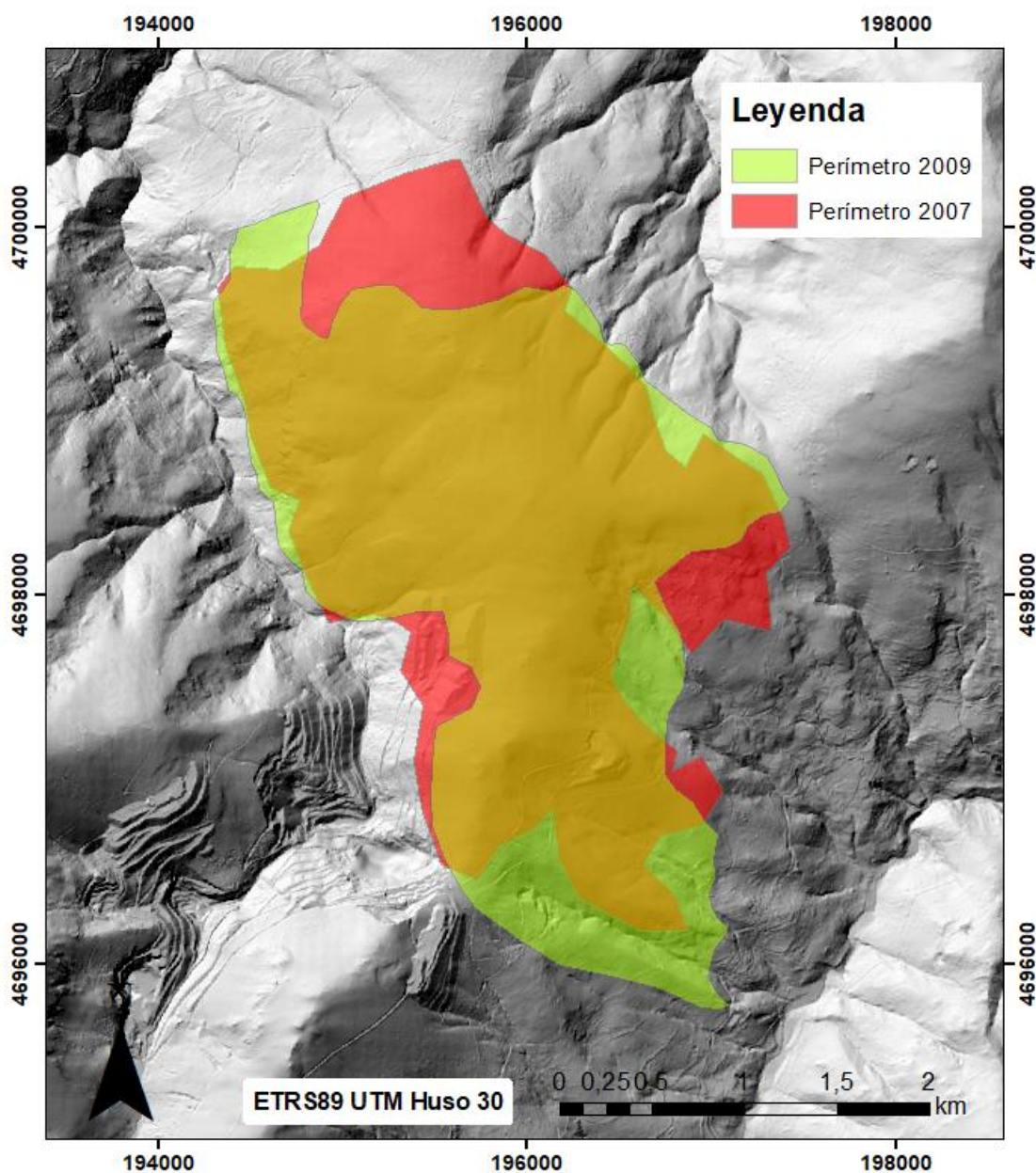


Figura 5.8: Superposición de los perímetros de dos incendios (1997247039 y 2009240698) ocurridos en los años 1997 y 2009, respectivamente.

Al realizar un análisis de superposición de áreas quemadas para incendios de más de 50 ha se observa que un 38,7% del territorio no ha sufrido ningún incendio en el periodo de estudio, un 28,9% de la superficie ha ardido una única vez, un 17,2% ha sido afectado dos veces, un 9,2% tres veces, un 5,3% ardió cuatro veces y un 0,8% fue afectado hasta en cinco ocasiones (**Figura 5.9**).

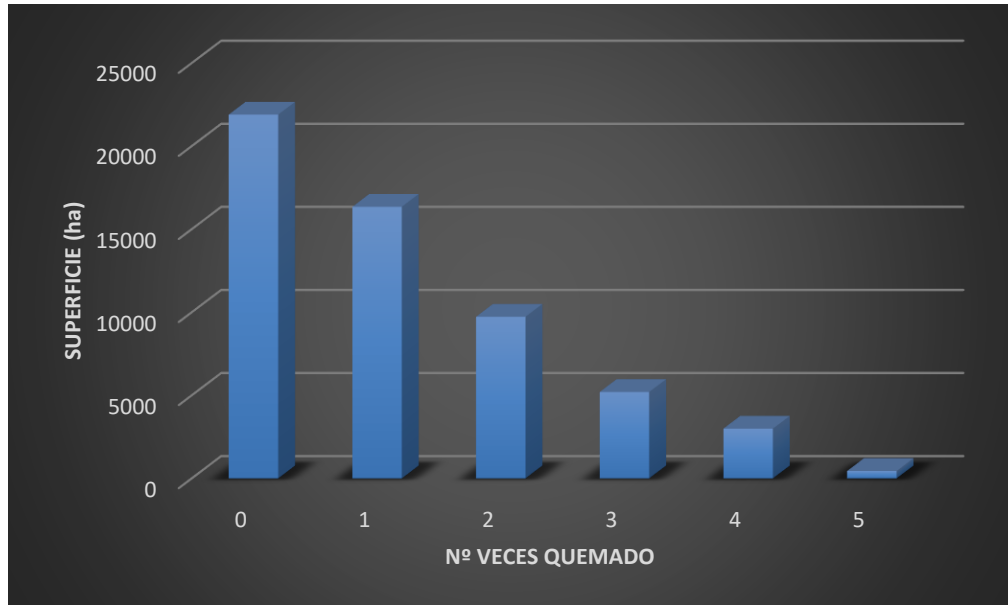


Figura 5.9: Número de veces que ha sido quemada una misma superficie en la comarca forestal de Truchas.

En la **Figura 5.10** se pueden observar las áreas con una mayor recurrencia de incendios de más de 50 ha, estas se localizan en los municipios más occidentales, es decir Encinedo y Benuza.

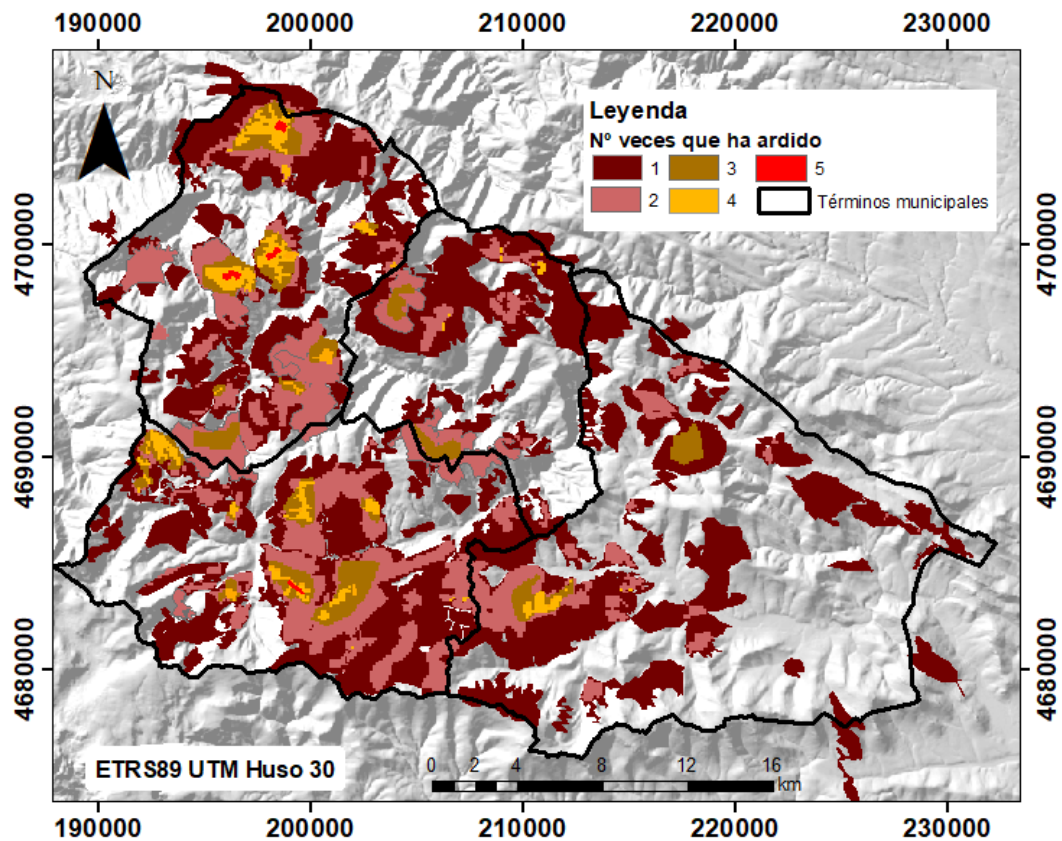


Figura 5.10: Distribución espacial de la recurrencia de incendios superiores a 50 ha.

5.3 Clasificación de los incendios según la situación sinóptica

Siguiendo la clasificación de Vide (2005), en la comarca las situaciones sinópticas más frecuentes para los incendios superiores a 50 ha es la Advección, especialmente del Sur, Oeste Anticiclónica y Oeste (**Figura 5.11**). En cuanto a la influencia en la superficie quemada, destacan la situación sinóptica de Pantano y Advección del Suroeste. Sin embargo, para interpretar correctamente este resultado hay que tener en cuenta que de las 13123 ha quemadas bajo situaciones de Pantano, 9817 ha se corresponden con un único incendio que tuvo lugar el 21 de agosto de 2017 en Encinedo (nº de parte 2017240584).

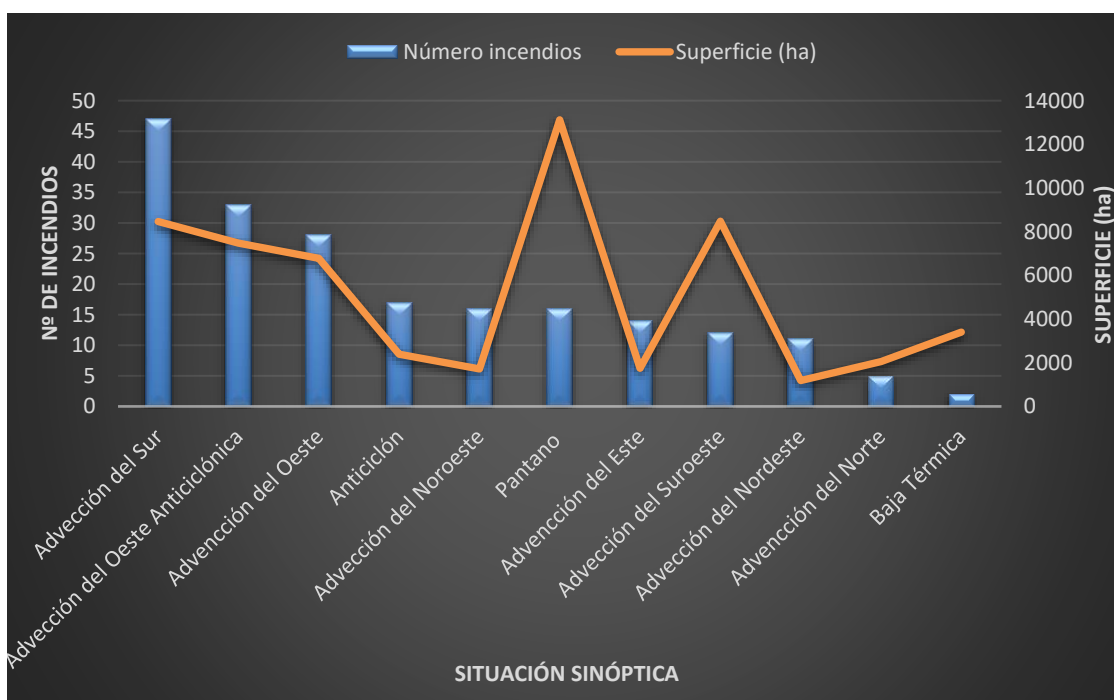


Figura 5.11: Distribución del número de incendios y de la superficie quemada según situaciones sinópticas.

La Advección del Sur y Suroeste por lo general están asociadas con aire del sur tropical tanto marítimo como continental, lo que produce un aumento en las temperaturas. Estas condiciones generaron el mayor número de incendios y el 15% de la superficie quemada en la comarca. La Advección del Oeste, separa masas de aire tropical marítimo (en el sur) y masas polares marítimas (en el norte), por lo que provoca tanto aumentos como descensos leves de las temperaturas tras su paso, además no suelen llevar asociadas precipitaciones.

La Advección del Oeste Anticiclónica está acompañada por cielos despejados, temperaturas superiores a las habituales y vientos secos. Por último, la situación de Pantano se asocia a gradientes béricos débiles, situaciones de buen tiempo y temperaturas ligeramente superiores a las habituales y vientos generales muy suaves (Vide, 2005).

En la Rosa de los Vientos elaborada para los incendios de la comarca (**Figura 5.12**), se observa la predominancia de los vientos del oeste, sur, suroeste y este, que están asociados a masas de aire cálidas y secas. Los vientos del oeste son los más frecuentes y de una velocidad superior, hecho que concuerda con las situaciones sinópticas de la comarca, pues son la segunda y tercera situación más frecuentes. Los vientos del sur también frecuentes y de gran velocidad, representan la primera situación sinóptica y una de las condiciones en la que más superficie se ve afectada. Los vientos del suroeste tienen una menor frecuencia, pero velocidades altas y parecen influenciar bastante en la superficie quemada. Por último, los vientos del este aunque son relativamente frecuentes, parecen no favorecer los incendios forestales por sus bajas velocidades.

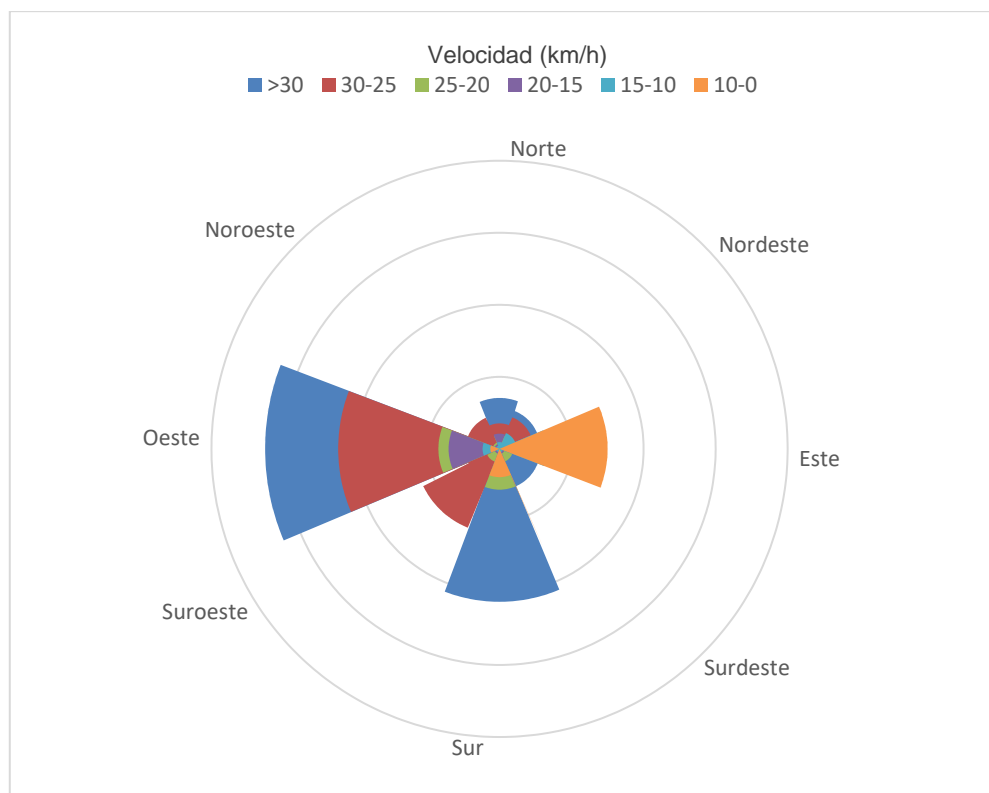


Figura 5.12: Rosa de los Vientos correspondiente a los incendios de más de 50 ha desde 1990 hasta 2018 en la comarca forestal de Truchas. Fuente: elaboración propia.

En la distribución espacial de los incendios según situaciones sinópticas se pueden diferenciar varias zonas dentro de la comarca forestal de Truchas. En las áreas más al norte los incendios suelen ocurrir bajo situaciones de Advección del Oeste y Oeste Anticiclónica. Los incendios originados por Advección de Norte se localizan en la zona noreste, pues es donde las cadenas montañosas que limitan al norte con la comarca tienen una menor altitud. Los incendios por Advección del Suroeste se ubican en las áreas más al sur de la zona de estudio, mientras que los incendios de Advección del Sur son mayoritarios en los dos municipios situados más al oeste de la comarca (**Figura 5.13**).

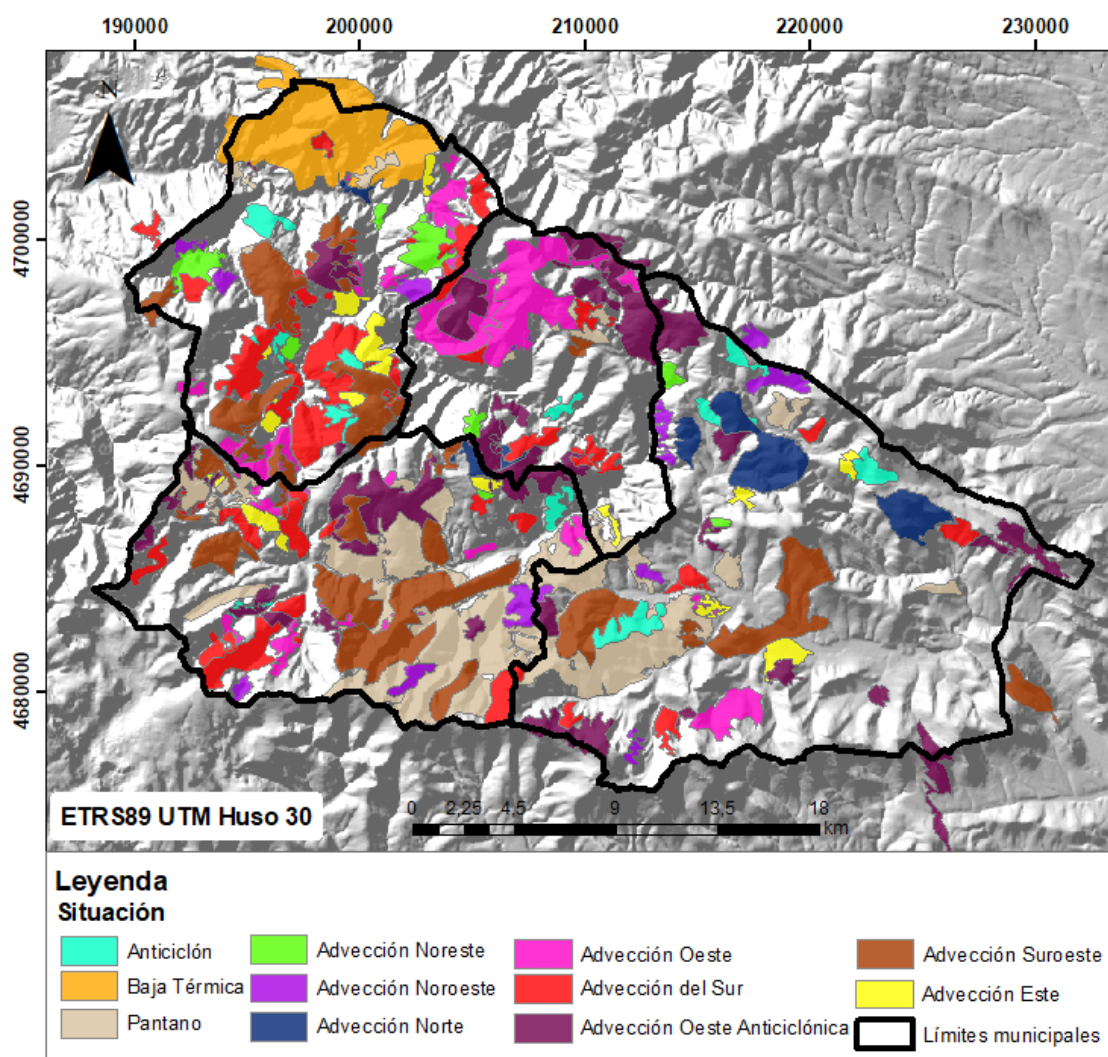


Figura 5.13: Distribución espacial de los incendios superiores a 50 ha según las situaciones sinópticas en las que se originaron.

5.4 Clasificación de los incendios según “incendios tipo”

En el presente estudio se han podido clasificar 198 incendios de los 203 que superaban las 50 ha. Se han descartado 5 incendios pues no se contaba con información suficiente para clasificarlos o su clasificación presentaba mucha incertidumbre.

Los incendios topográficos de ladera son la tipología de incendios más abundante en la comarca. En cuanto a superficie quemada, los “incendios tipo” más relevantes son el topográfico de valle y de viento (**Figura 5.14**). Sin embargo, para una correcta interpretación de este resultado hay que tener en cuenta que de las 22081 ha que se asocian a los incendios de viento 9817 ha se deben a un único incendio que tuvo lugar el 21 de agosto de 2017 en Encinedo (nº de parte 2017240584).

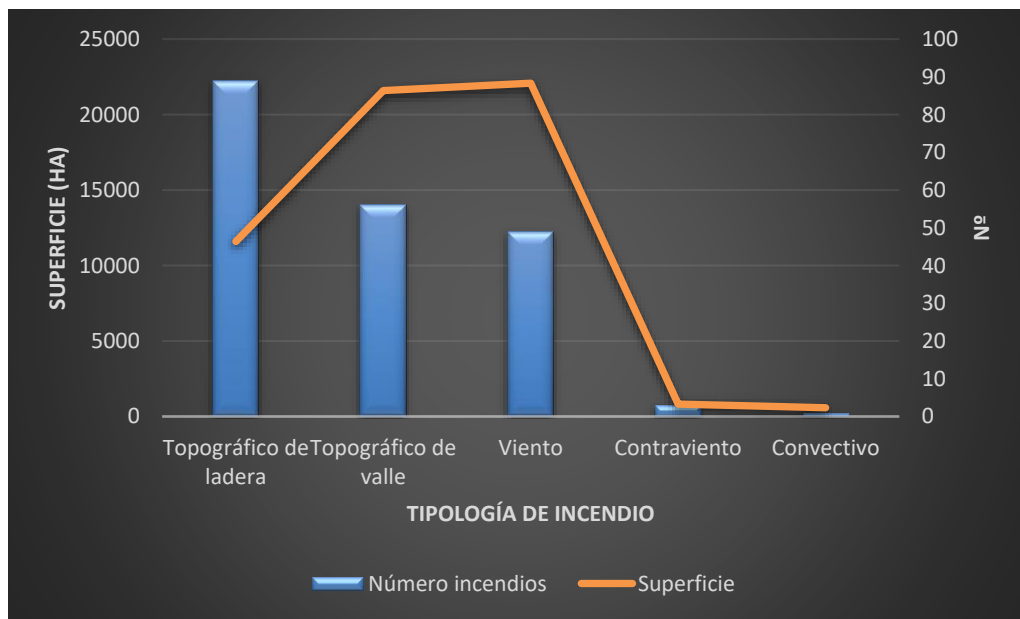


Figura 5.14: Distribución de los incendios y la superficie quemada según los principales patrones de propagación.

5.4.1 Incendios topográficos

Los incendios asociados a un patrón de propagación topográfico representan más del 70% de los incendios de superficie superior a 50 ha.

De ladera

En la comarca forestal de Truchas son la tipología de incendio predominante, representando cerca del 45% del total de incendios mayores de 50 ha. No obstante, en cuanto a superficie, representan sólo el 20% del área quemada. Este tipo de incendios tienen lugar, preferentemente, en condiciones de Advección del Sur, Oeste Anticiclónica o Anticiclón (**Figura 5.15**).

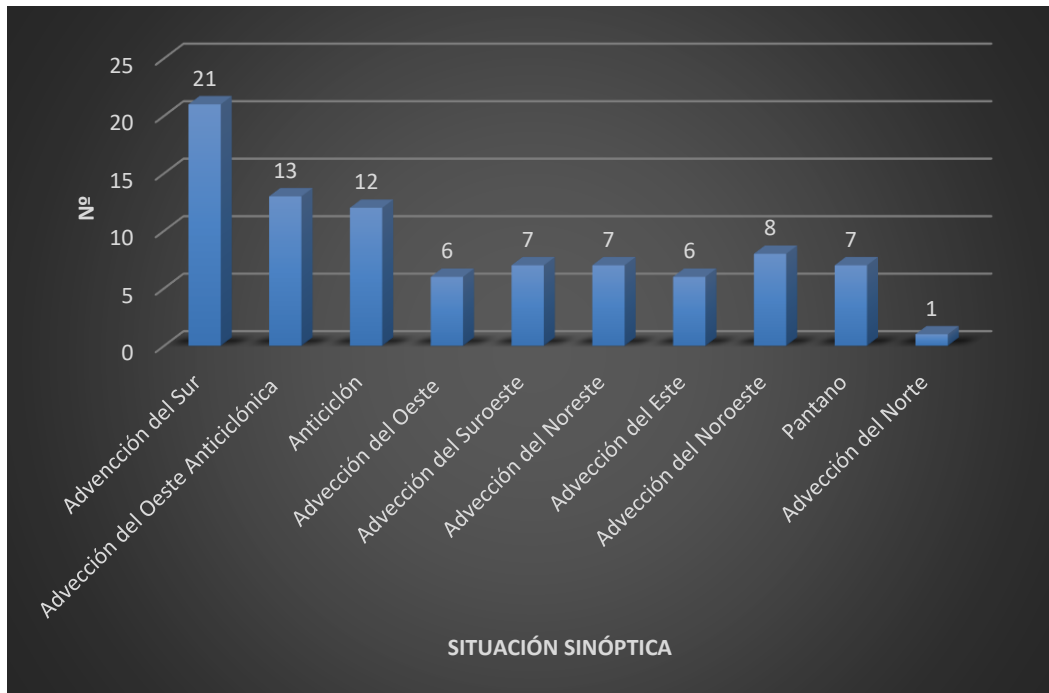


Figura 5.15: Distribución de los incendios topográficos de ladera según situaciones sinópticas.

Un ejemplo de incendio topográfico de ladera es el correspondiente al número de parte 2012240127 que tuvo lugar el 26 de febrero de 2012 en Benuza (**Figura 5.16**). Se trata de un incendio que avanzó ladera arriba por un terreno escarpado con pendientes superiores al 30%. Su eje de propagación principal fue la línea de máxima pendiente. El incendio avanzó alineando la cabeza hasta la divisoria, donde los flancos pasaron a ser el motor principal de avance, de ahí el ensanchamiento del frente en la zona noroeste del perímetro. En cuanto al viento, el general tiene dirección este y velocidades bajas, mientras que la situación sinóptica es una Advección del Oeste, por lo que no son coincidentes (**Tabla 5.3**).

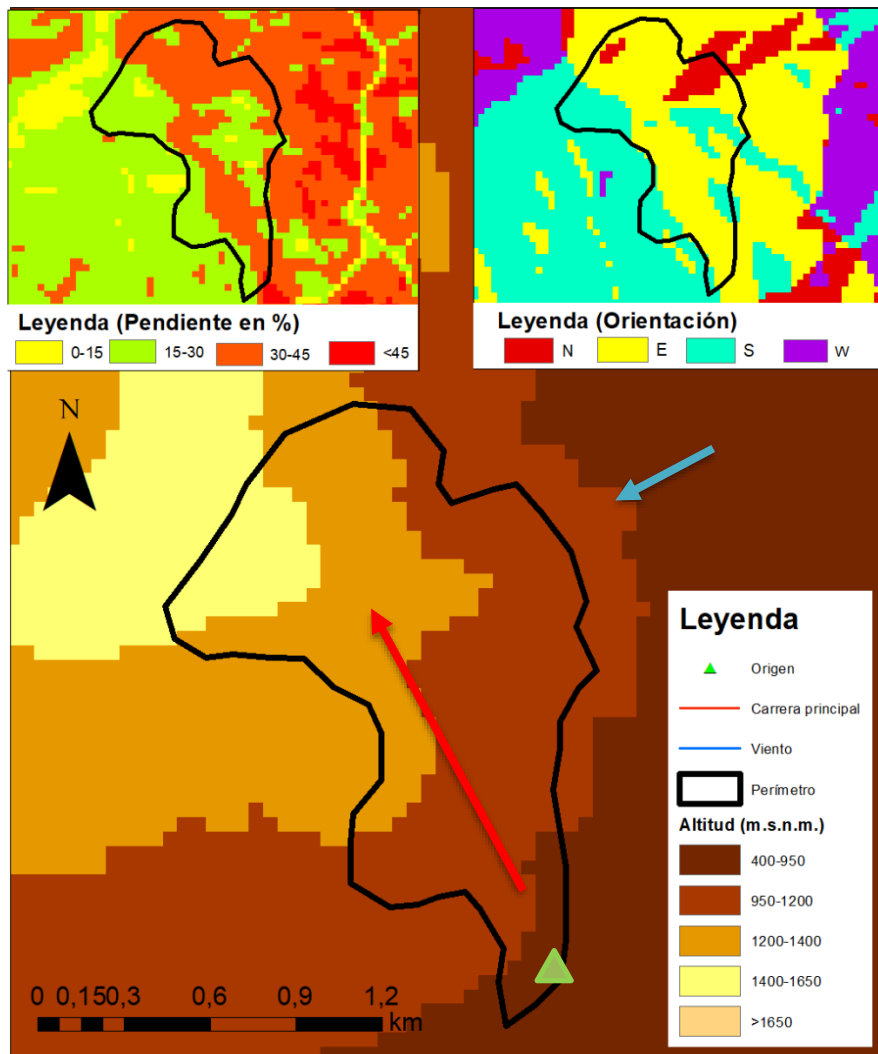


Figura 5.16: Ejemplo de incendio topográfico de ladera (nº de parte 2012240127).

Tabla 5.3: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2012240127.

Incendio: 2012240127		
Fecha	26/02/2012	
Situación Sinóptica	Advección del Oeste	
Días sin lluvia	19	
Dos días antes	Temperatura máxima (°C)	21,5
	Humedad relativa (%)	70
	Dirección viento (°)	270
	Velocidad viento (km/h)	9
Día antes	Temperatura máxima (°C)	18,3
	Humedad relativa (%)	74
	Dirección viento (°)	90
	Velocidad viento (km/h)	6
Día del incendio	Temperatura máxima (°C)	15
	Humedad relativa (%)	36
	Dirección viento (°)	60
	Velocidad viento (km/h)	3

De valle o cuenca

En la comarca representan cerca del 30% de los incendios que han tenido lugar desde 1990, y alrededor del 38% de la superficie afectada. Generalmente están asociados a situaciones tanto de Advección del Oeste como del Sur (**Figura 5.17**).

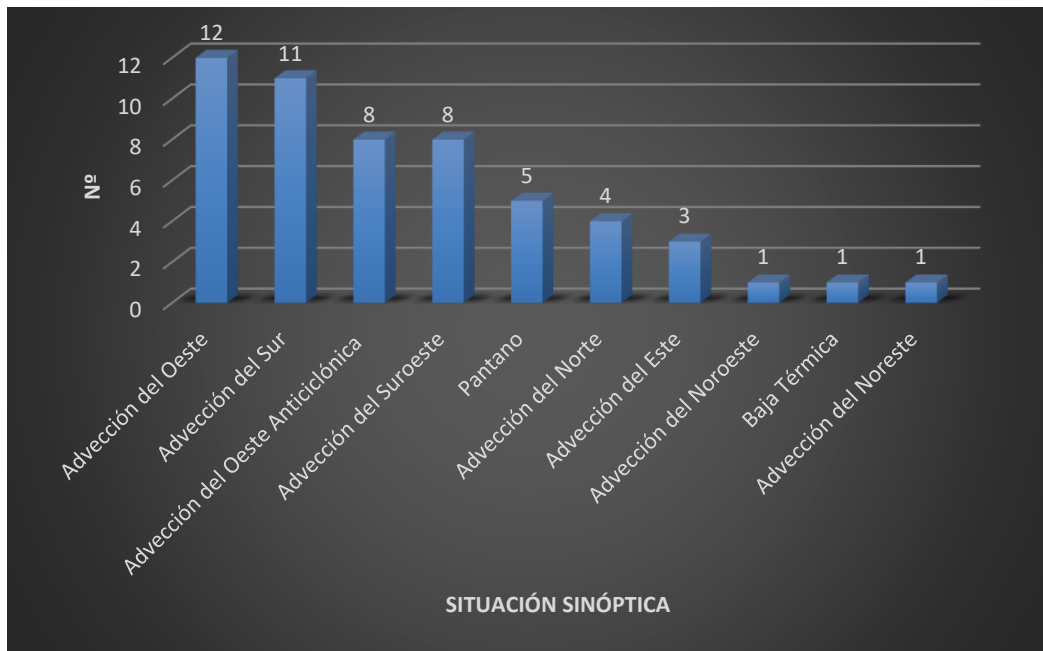


Figura 5.17: Distribución de los incendios topográficos de valle por situaciones sinópticas.

El incendio con número de parte 2010240135, que ocurrió el 9 de agosto de 2010 ejemplifica la tipología de valle o cuenca. En la **Figura 5.18** se observa como la propagación ocurrió sobre terrenos muy escarpados y con redes hidrográficas ramificadas. El viento general aunque es fuerte, pues alcanza velocidades cercanas a los 30 km/h tiene dirección del oeste lo que nos indica que no ha podido ser el motor del incendio. Además, los vientos generales tienen dirección oeste y la situación sinóptica es una Advección del Sur, por lo que no son coincidentes (**Tabla 5.4**).

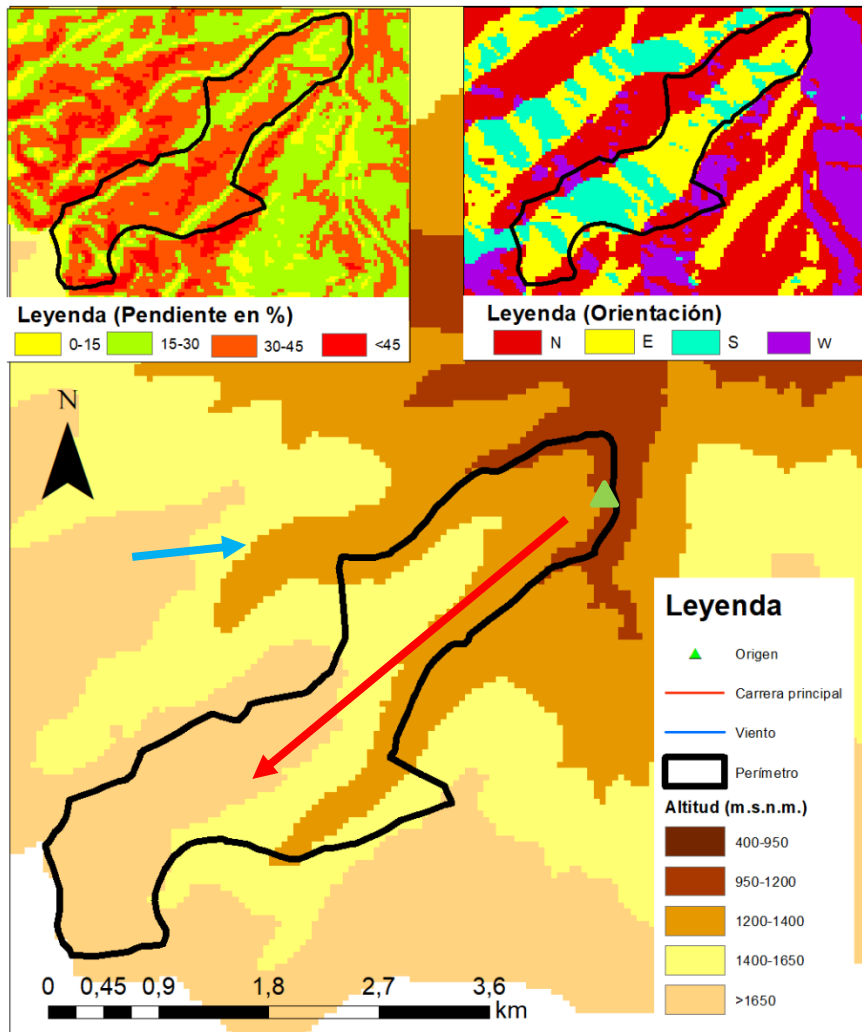


Figura 5.18: Ejemplo de incendio topográfico de valle (nº de parte 2010240135).

Tabla 5.4: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2010240135.

Incendio: 2010240135		
Fecha	09/08/2010	
Situación Sinóptica	Advección Sur	
Días sin lluvia	31	
Dos días antes	Temperatura máxima (°C)	36,2
	Humedad relativa (%)	57
	Dirección viento (°)	290
	Velocidad viento (km/h)	29
Día antes	Temperatura máxima (°C)	36
	Humedad relativa (%)	52
	Dirección viento (°)	280
	Velocidad viento (km/h)	28
Día del incendio	Temperatura máxima (°C)	34,4
	Humedad relativa (%)	47
	Dirección viento (°)	270
	Velocidad viento (km/h)	27

5.4.2 Incendios de viento

Representan cerca del 25% de los siniestros que tienen lugar en la comarca forestal de Truchas y el 39% de la superficie quemada. Están asociados, generalmente, a situaciones de Advección del Oeste, Oeste Anticiclónica y Sur (Figura 5.19).

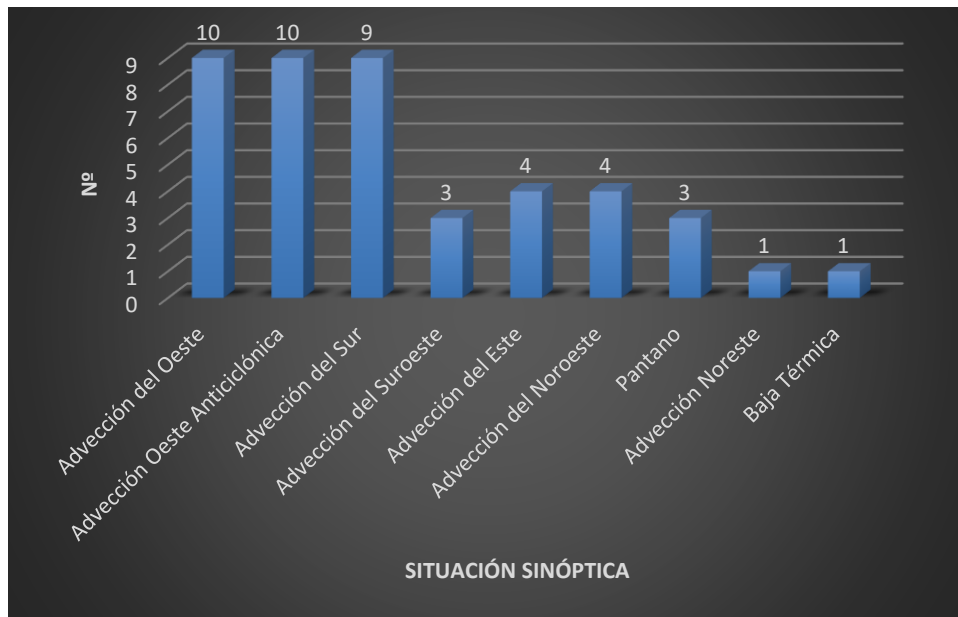


Figura 5.19: Distribución de los incendios de viento según situaciones sinópticas.

El 4 de noviembre de 2007 tuvo lugar el incendio con número de parte 2007240260, que sigue el patrón de los incendios de viento y que se utilizará para ejemplificar las características de esta tipología de incendios. El día del incendio el viento sinóptico es una Advección del Este y el viento general tiene dirección este. Además, la velocidad es de 34 km/h, por lo que es superior a los 15 km/h mínimos para considerarse un incendio de viento (Tabla 5.5). En la Figura 5.20 se observa como la dirección del viento es coincidente con el eje de propagación del incendio, que además es favorecido por la pendiente.

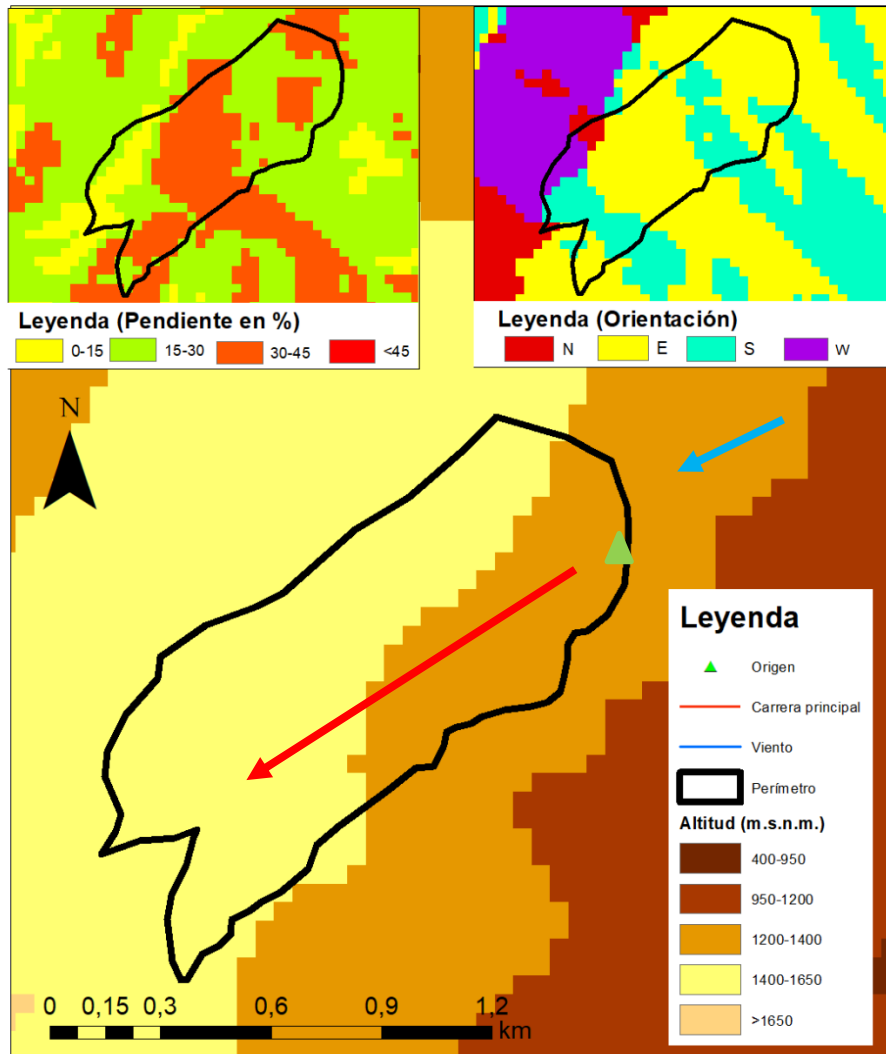


Figura 5.20: Ejemplo de incendio de viento (nº de parte 2007240260).

Tabla 5.5: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2007240260.

Incendio: 2007240260		
Fecha	04/11/2007	
Situación Sinóptica	Advección del Este	
Días sin lluvia	12	
Dos días antes	Temperatura máxima (°C)	22
	Humedad relativa (%)	66
	Dirección viento (°)	90
	Velocidad viento (km/h)	31
Día antes	Temperatura máxima (°C)	23
	Humedad relativa (%)	80
	Dirección viento (°)	80
	Velocidad viento (km/h)	30
Día del incendio	Temperatura máxima (°C)	21,8
	Humedad relativa (%)	78
	Dirección viento (°)	60
	Velocidad viento (km/h)	34

Contraviento

En la comarca de estudio representan menos del 2% de los incendios, teniendo lugar en situaciones sinópticas de Advección del Sur y Noroeste (**Figura 5.21**).

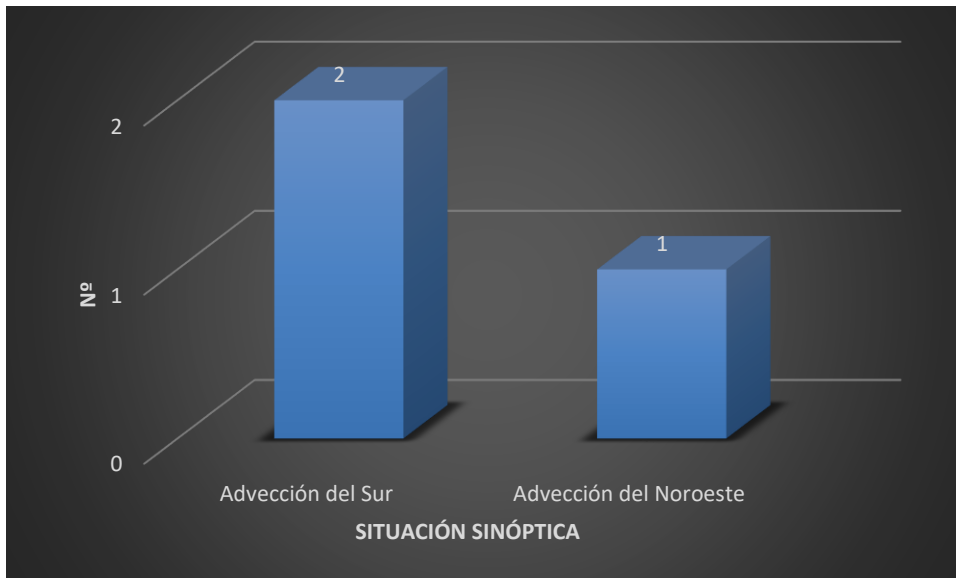


Figura 5.21: Distribución de los incendios de contraviento según situaciones sinópticas.

En el incendio con número de parte 2016240280, originado el 5 de septiembre de 2016, se puede ver como el incendio avanza inicialmente como topográfico de ladera desde el sur, pero los vientos tanto sinópticos como generales con dirección del norte y con velocidades de 17 km/h (**Tabla 5.6**) chocan de forma perpendicular contra la cadena montañosa, generando la depresión a sotavento característica de este tipo de incendios que da lugar a carreras secundarias que avanzan hasta la divisoria desestabilizando el sector oeste y este (**Figura 5.22**).

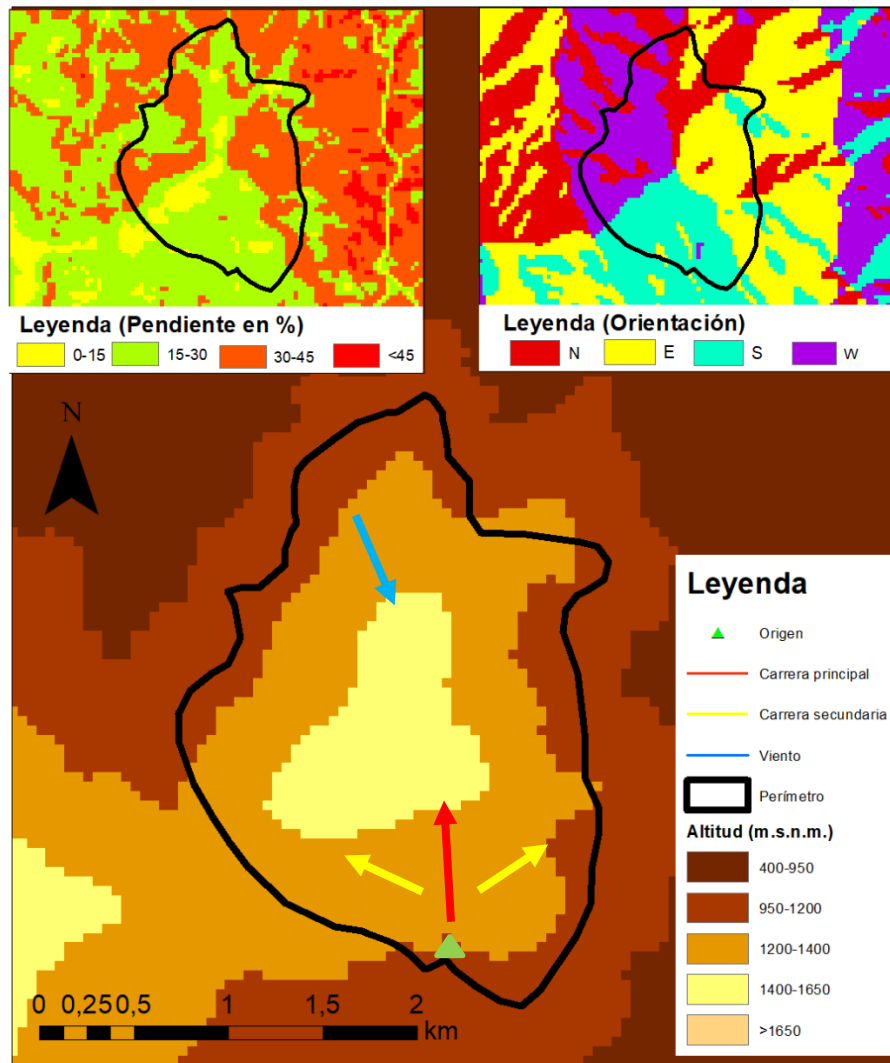


Figura 5.22: Ejemplo de incendio de contraviento (nº de parte 2016240280).

Tabla 5.6: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2016240280.

Incendio: 2016240280		
Fecha		05/09/2016
Situación Sinóptica		Advección Sur
Días sin lluvia		11
Dos días antes	Temperatura máxima (°C)	35,7
	Humedad relativa (%)	30
	Dirección viento (°)	270
	Velocidad viento (km/h)	29
Día antes	Temperatura máxima (°C)	33,9
	Humedad relativa (%)	28
	Dirección viento (°)	290
	Velocidad viento (km/h)	25
Día del incendio	Temperatura máxima (°C)	35,6
	Humedad relativa (%)	23
	Dirección viento (°)	350
	Velocidad viento (km/h)	17

5.4.3 Incendios convectivos

En la comarca únicamente se ha clasificado como tal el incendio con nº de parte 2011240403, iniciado el 9 de septiembre de 2011, que tuvo lugar bajo una situación sinóptica de Advección del Sudoeste. Su carrera principal es topográfica de ladera con el viento alineado, si bien la pendiente es inferior al 30%. A esto se le unieron unas condiciones meteorológicas previas al incendio que generaron una gran disponibilidad del combustible, teniendo suficiente energía para dar lugar a una fase convectiva (**Figura 5.23**). Si observamos la meteorología del incendio se ve que se cumple la “regla del 30” de incendios forestales. Las temperaturas máximas son superiores a 30°C durante los dos días anteriores y el día del incendio, además la humedad relativa es cercana al 30% y la velocidad del viento el día del incendio supera los 40 km/h, por lo que se crean las condiciones ideales para un comportamiento convectivo (**Tabla 5.7**).

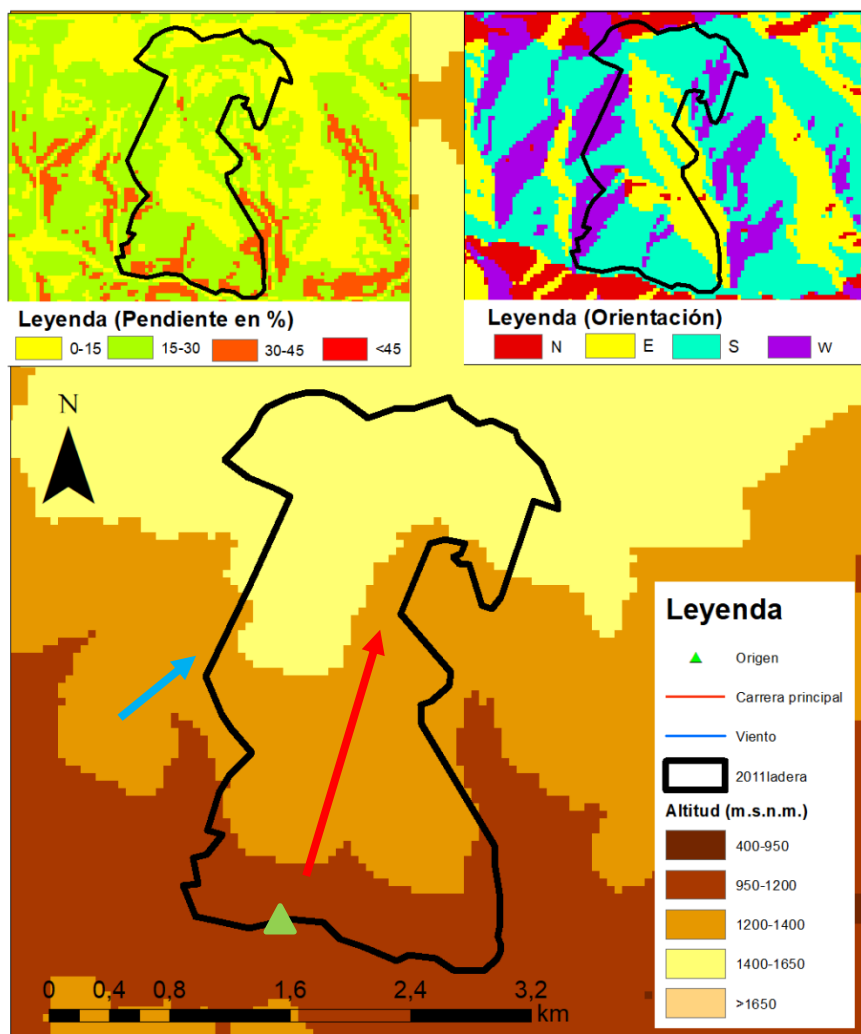


Figura 5.23: Ejemplo de incendio convectivo (nº de parte 2011240403).

Tabla 5.7: Condiciones meteorológicas y sinópticas del incendio 2011240403.

Incendio: 2011240403		
Fecha		09/09/2011
Situación Sinóptica		Advección del Sudoeste
Días sin lluvia		6
Dos días antes	Temperatura máxima (°C)	30,4
	Humedad relativa (%)	35
	Dirección viento (°)	280
	Velocidad viento (km/h)	23
Día antes	Temperatura máxima (°C)	31,8
	Humedad relativa (%)	37
	Dirección viento (°)	280
	Velocidad viento (km/h)	17
Día del incendio	Temperatura máxima (°C)	34,4
	Humedad relativa (%)	32
	Dirección viento (°)	270
	Velocidad viento (km/h)	41

5.5 Caracterización de la tipología de incendios según variables orográficas y meteorológicas

Al realizar un análisis estadístico de los incendios según su tipología se pueden observar las principales interacciones de los incendios con la orografía y meteorología de la comarca. Así mismo, se observa la relación que mantienen las variables de duración del incendio y superficie afectada. Para un correcto análisis se eliminaron los siniestros con número de parte 2005240664 y 2017240584, debido a la gran superficie que representaban (13161 ha) y la consecuente distorsión que producían en los resultados. Asimismo, se excluyeron el único incendio convectivo existente y los tres de contraviento que se dieron en la comarca, puesto que con un número de siniestros tan escaso no es posible realizar comparaciones fiables.

El test de normalidad para la variable superficie quemada mostró que los datos para incendios topográficos de ladera, valle y viento no siguen una distribución normal. Para la velocidad del viento en el caso de los incendios de ladera y de viento los datos sí eran normales, pero no así en el caso de los incendios de valle (**Tabla 5.8**).

Tabla 5.8: Prueba de normalidad de los datos por Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para los incendios topográficos de ladera, valle y de viento.

Pruebas de normalidad							
	"Incendio tipo"	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Superficie	T. ladera	,185	89	,000	,796	89	,000
	T. valle	,199	54	,000	,840	54	,000
	Viento	,325	47	,000	,594	47	,000
Velocidad viento	T. ladera	,092	89	,062	,962	89	,010
	T. valle	,135	54	,015	,950	54	,025
	Viento	,090	47	,200*	,985	47	,812

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la representación gráfica de la superficie afectada por los incendios topográficos de ladera, valle y de viento, se puede observar que la mediana de superficie quemada para la tipología de incendios topográficos valle es mayor que para el resto (**Figura 5.24**). Al realizar el test de Kuskal-Wallis, se ha podido

corroborar la existencia de diferencias significativas entre tipologías de incendios en la superficie quemada (p-valor < 0.001).

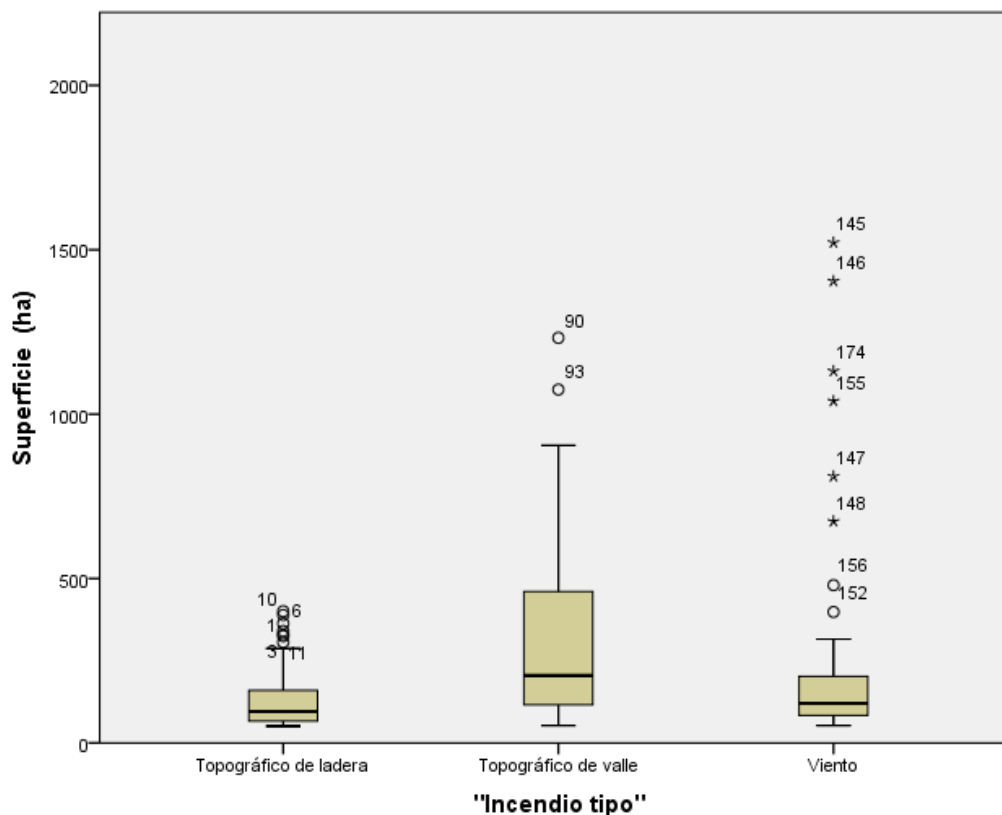


Figura 5.24: Distribución de la superficie afectada por incendios topográficos de ladera, valle y de viento.

Mediante una comparación por parejas por el test de Kruskal-Wallis se corroboró que la existencia de diferencias significativas en cuanto a superficie quemada estaban entre el grupo de los incendios topográficos de valle y los dos restantes (**Tabla 5.9**), en concordancia con lo que se aprecia visualmente en la **Figura 5.24**.

Tabla 5.9: Resultado de comparación por parejas mediante el test de Kruskal-Wallis de la superficie de los incendios topográficos de ladera, valle y viento.

Parejas "incendios tipo"	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de Prueba	Sig.	Sig. Ajust
Ladera-Viento	-19,155	9,968	-1,922	0,055	0,164
Ladera-Valle	-48,599	9,482	-5,126	<0.001	0
Viento - Valle	29,444	10,981	2,681	0,007	0,022

La comparación por parejas del test Kruskal-Wallis mostró que las diferencias significativas de los incendios topográficos de valle con el resto de tipologías localizaban en las pendientes superiores al 30% (**Tabla 5.10**). Es decir, hay una gran relación entre incendios de valle y terrenos escarpados con pendientes elevadas.

Tabla 5.10: Resultado de comparación por parejas mediante el test Kruskal-Wallis de la superficie en pendientes superiores al 30% en los incendios topográficos de ladera, valle y viento.

Parejas "incendios tipo"	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de Prueba	Sig.	Sig. Ajust
Ladera-Viento	-7,927	8,995	-0,881	0,378	1
Ladera - Valle	-33,992	8,615	-3,946	<0.001	0
Viento - Valle	26,064	9,921	2.627	0,009	0

En la **Figura 5.25** se muestra la distribución de la duración de los incendios en función de su tipología. Los incendios topográficos son los que mayor duración mediana poseen, siendo estadísticamente significativa la diferencia en comparación a los topográficos de ladera, no así con los de viento (**Tabla 5.11**). Los incendios topográficos de valle tienen frentes muy grandes a lo largo de la cuenca, por lo que pueden consumir una mayor superficie.

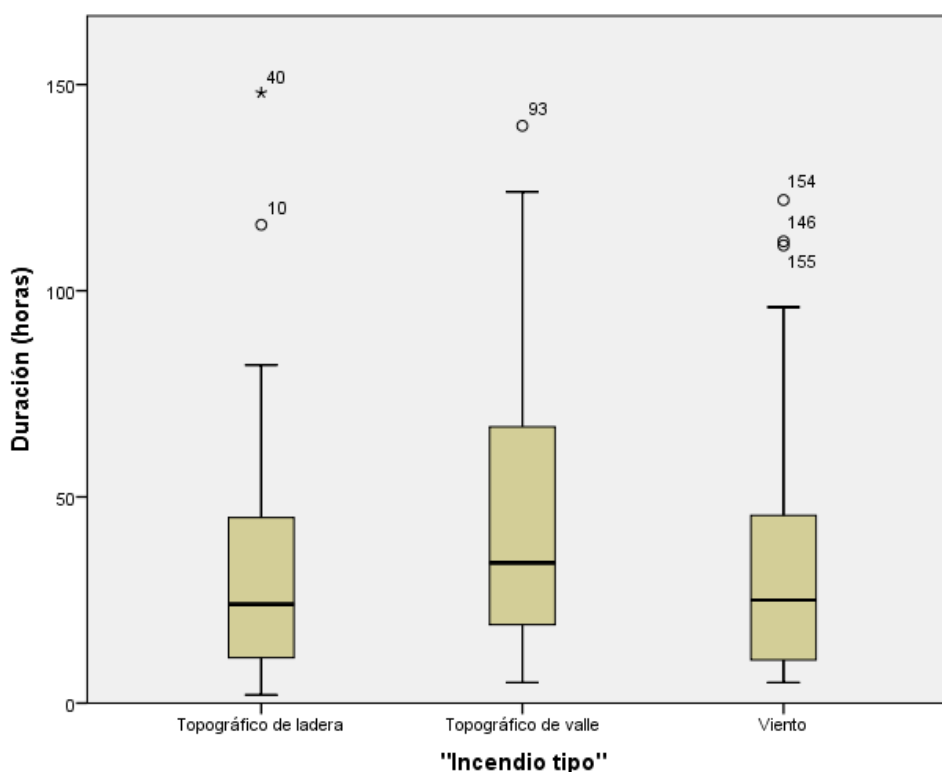


Figura 5.25: Distribución de la duración de los siniestros en incendios topográficos de ladera, valle y viento.

Tabla 5.11: Resultado de comparación por parejas mediante el test Kruskal-Wallis de la duración de incendios topográficos de ladera, valle y viento.

Parejas "incendios tipo"	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de Prueba	Sig.	Sig. Ajust
Ladera-Viento	-4,644	9,949	-0,467	0,641	1
Ladera - Valle	--26,051	9,529	-2,734	0.006	0,019
Viento - Valle	21,406	10,973	1,951	0,051	0,153

Se ha comprobado también que la superficie quemada está bastante relacionada con la duración de los incendios (**Figura 5.26**). En línea con la tendencia nacional, por la que a mayor duración del incendio se registra una mayor superficie afectada, siendo especialmente destacable el tiempo que se tarda en extinguir los GIFs, por encima de las 80 horas de media tanto en la comarca como a nivel estatal (MAPA, 2019).

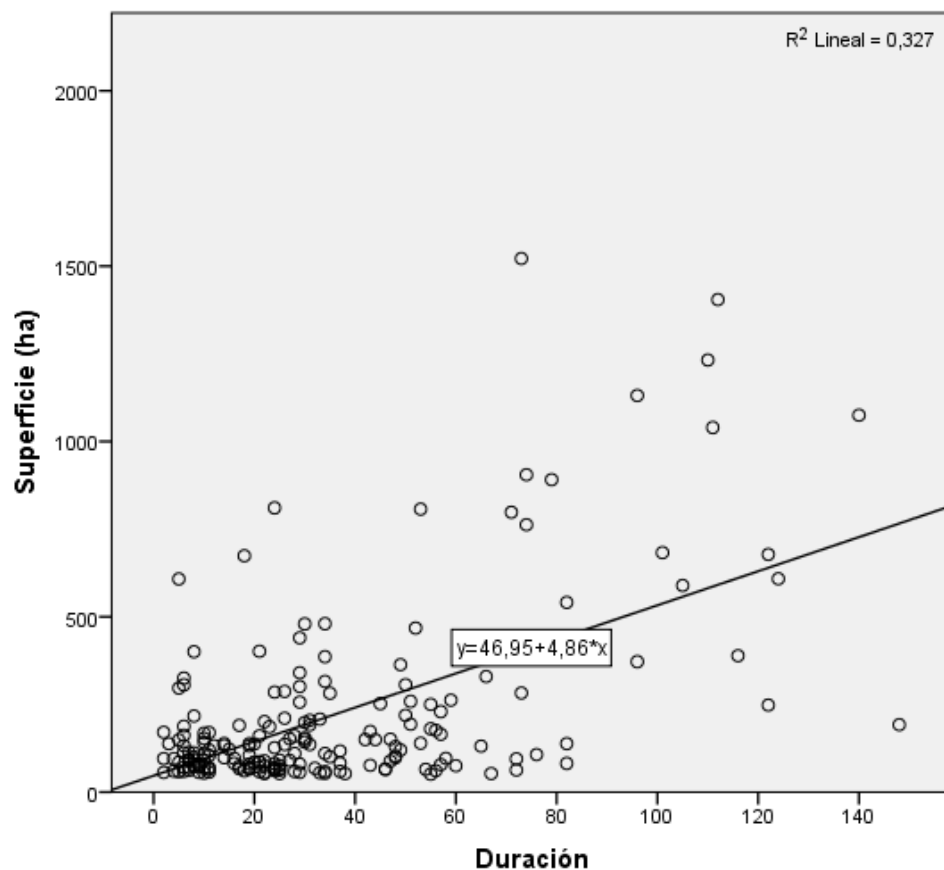


Figura 5.26: Relación entre la duración de los incendios y la superficie afectada.

Otra de las interacciones observadas en el área de estudio es la que se da entre los incendios topográficos de ladera y las diferentes exposiciones quemadas. Las laderas sur y este sufren mayoritariamente vientos locales, por efecto del calentamiento producido por el sol, que resultan ser favorables a la propagación de incendios (**Figura 5.27**).

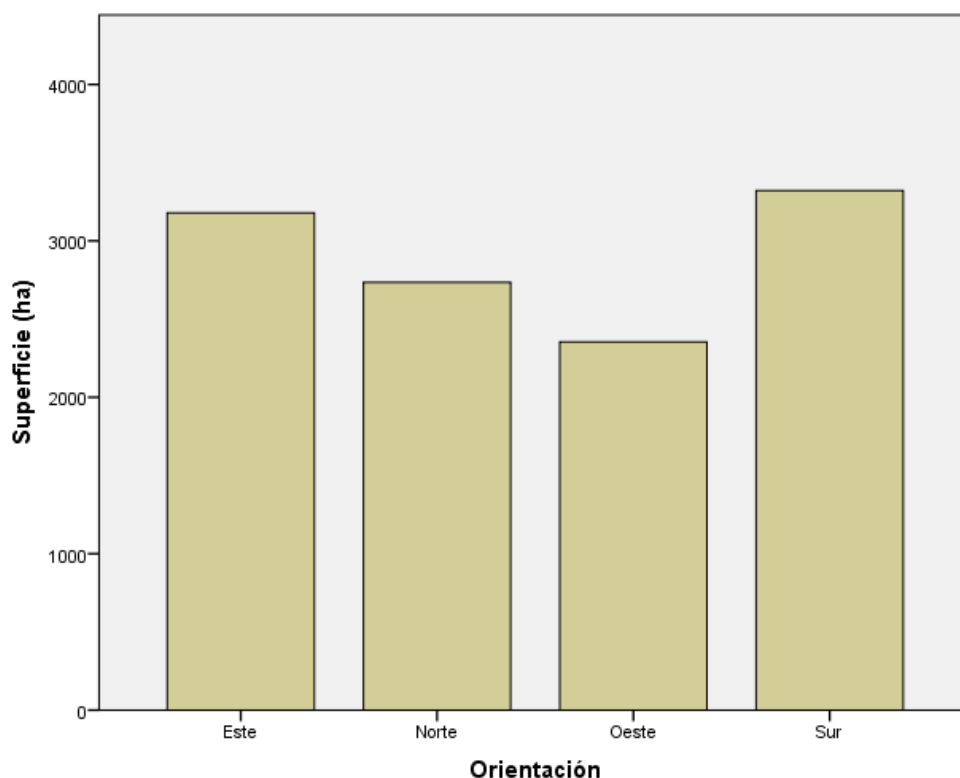


Figura 5.27: Distribución de la superficie afectada por incendios topográficos de ladera en las diferentes exposiciones.

En cuanto a la velocidad del viento, mediante un test ANOVA se encontró que no había diferencias significativas en función de la velocidad entre los incendios topográficos de valle, topográficos y de viento, es decir aquellos con datos normales (**Tabla 5.12**).

Tabla 5.12: ANOVA para los incendios de ladera y viento en función de la velocidad de los incendios.

Velocidad viento (km)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	386,812	2	193,406	2,062	,130
Dentro de grupos	17630,926	188	93,782		
Total	18017,738	190			

No obstante, de forma visual parece inferirse la necesidad de una velocidad mínima para generar incendios de viento. Así, en la **Figura 5.28** se aprecia como por debajo de los 20km/h apenas tiene lugar esta tipología de incendios. Sin embargo, el desarrollo de los topográficos de ladera y valle no se ve condicionado por una velocidad mínima del viento.

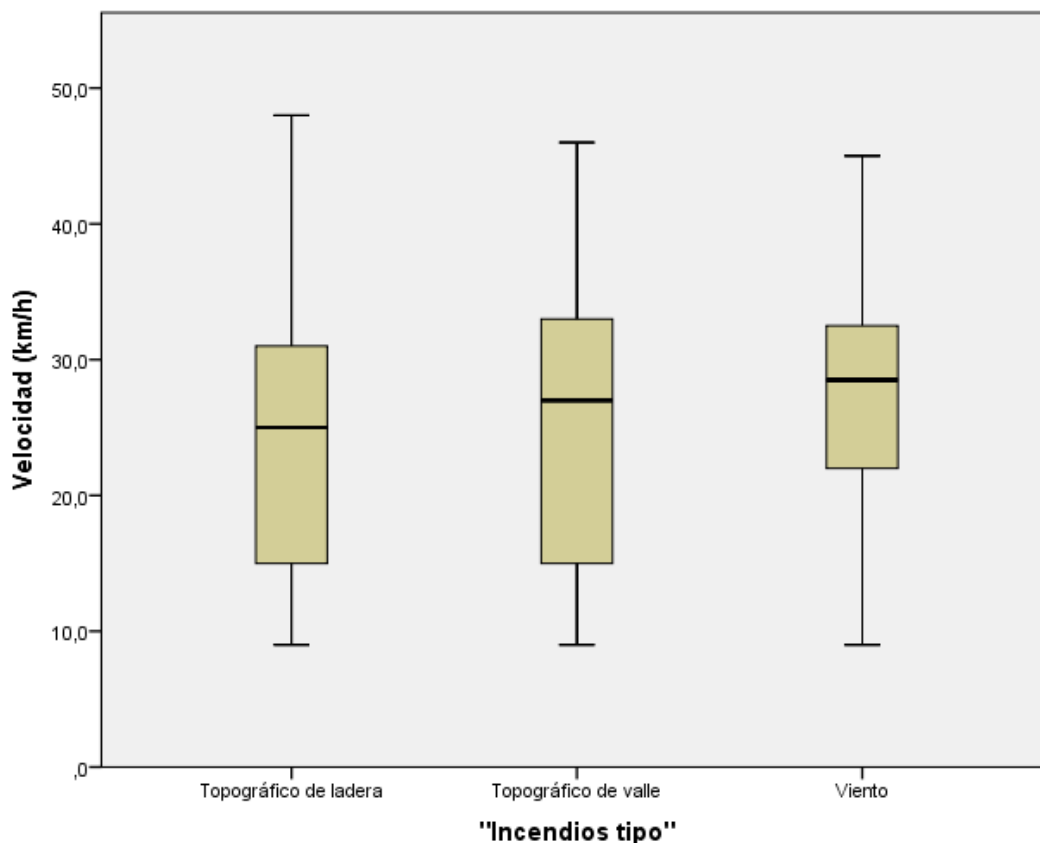


Figura 5.28: Distribución de la velocidad del viento en incendios por incendios topográficos de ladera, valle y viento.

Estas relaciones entre la superficie quemada, duración y orografía de los incendios también se puede observar espacialmente (**Figura 5.29**). Los incendios de ladera se localizan en áreas de topografía poco compleja, estando asociados a exposiciones este y sur. Por su parte los incendios de valle se ubican en las cuencas más ramificadas y abruptas de la comarca. Los incendios de viento se emplazan en áreas más al sur de la comarca. Por último, los incendios de contraviento se encuentran asociados a grandes cadenas montañosas, pues es requisito indispensable para su formación.

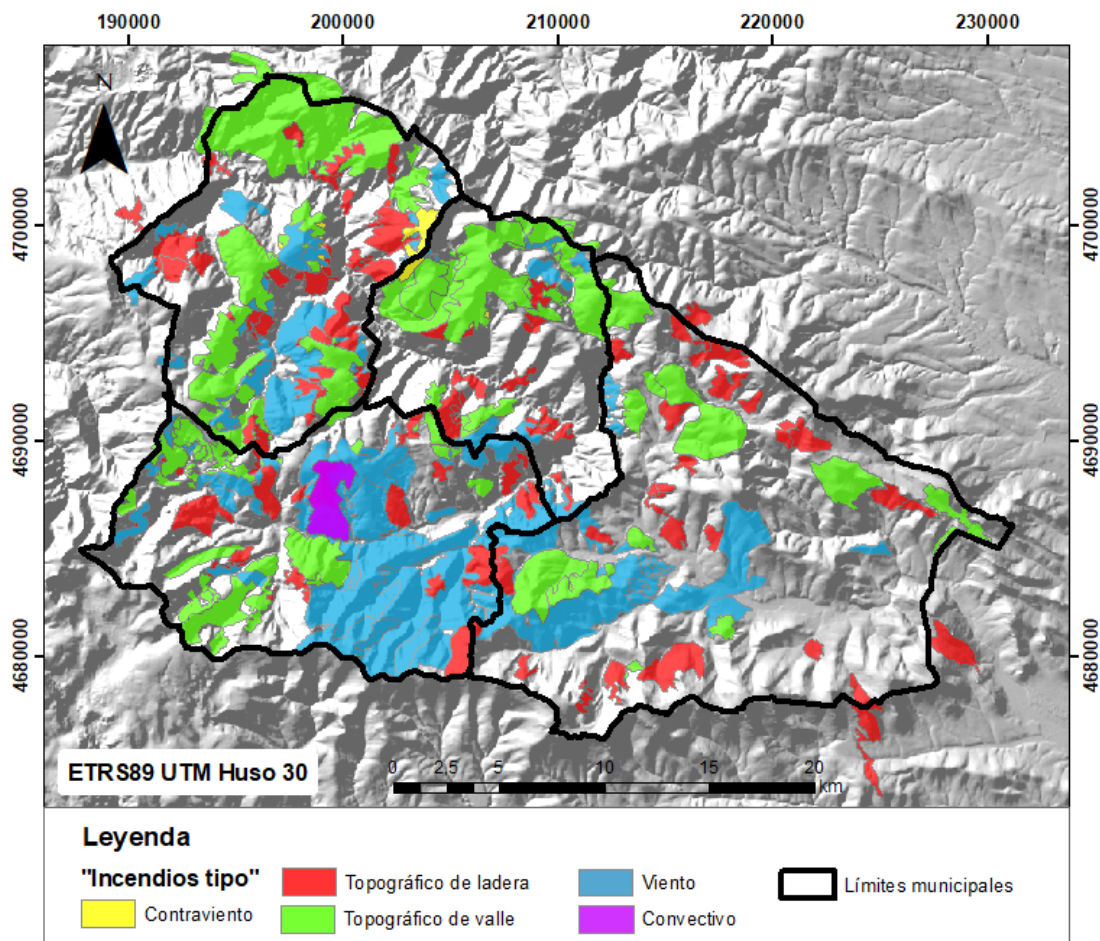


Figura 5.29: Distribución espacial de los incendios en la comarca Forestal de Truchas por "incendios tipo".

Los patrones generales de distribución de incendios según tipología guardan similitudes con los ocurridos en otras áreas de España que han aplicado métodos similares de clasificación. Sin embargo, a la hora de establecer comparaciones hay que tener en cuenta que las circunstancias meteorológicas, fisiográficas y de combustibles no son equiparables entre diferentes zonas.

En Navarra, los incendios mayoritarios son los de viento con un 55,12%, especialmente los movidos por viento del sur que afectan a más del 70% de la superficie de su territorio. Este tipo de incendios al igual que en la comarca forestal de Truchas se localizan en las áreas con relieves menos abruptos. Por su parte los incendios topográficos representan un 41,02%, siendo más frecuentes los clasificados como de ladera que los de valle, pues la mayor parte del terreno de la comunidad no tiene redes hidrográficas ramificadas. Por su parte los incendios convectivos representan también un porcentaje muy reducido sobre el total, 3,84% (Iñesta, 2016).

En la provincia de Guadalajara los incendios más problemáticos tanto en número como en superficie afectada son los incendios de viento, que son los responsables del 83% de la superficie afectada en la provincia. Destacan especialmente los incendios con vientos del sur y oeste, que representan el 60% de superficie afectada por incendios de viento. Este tipo de incendios se dan en las zonas bajas de La Alcarria (Acebron, 2017). En el área de estudio encontramos una situación similar, pues los incendios de viento también están asociados a direcciones del oeste y del sur.

En Aragón, destacan los incendios convectivos en cuanto a la superficie quemada, si bien en cuanto a número destacan los topográficos, que se concentran sobre todo en el área del Prepirineo. Al igual que en la comarca de Truchas, ambas áreas tienen relieves abruptos que favorecen la existencia de incendios topográficos. En cuanto a los incendios de viento, en Aragón todos ellos se localizan en las áreas más bajas de la depresión central, patrón similar al de la comarca estudiada (Lázaro *et al.*, 2015).

En Cataluña los incendios con componente topográfica dominan las zonas más al norte de la comunidad, es decir las áreas montañosas del Pirineo. Los incendios convectivos se localizan en la zona central de la comunidad. Los incendios de viento están asociados a las zonas de costa, siendo los que más superficie han quemado en esa Comunidad Autónoma. Los vientos dominantes en los incendios a su vez generalmente están asociados a una componente sur (Castellnou *et al.*, 2009).

5.6 “Incendios tipo” por municipios

Al analizar el número de incendios por cada municipio se observa que Benuza es el municipio más problemático en cuanto a frecuencia de incendios, mientras que Castrillo de Cabrera es el que menos incendios ha tenido. En cuanto a la superficie afectada destaca Encinedo con más de 20000 ha quemadas (**Figura 5.30**).

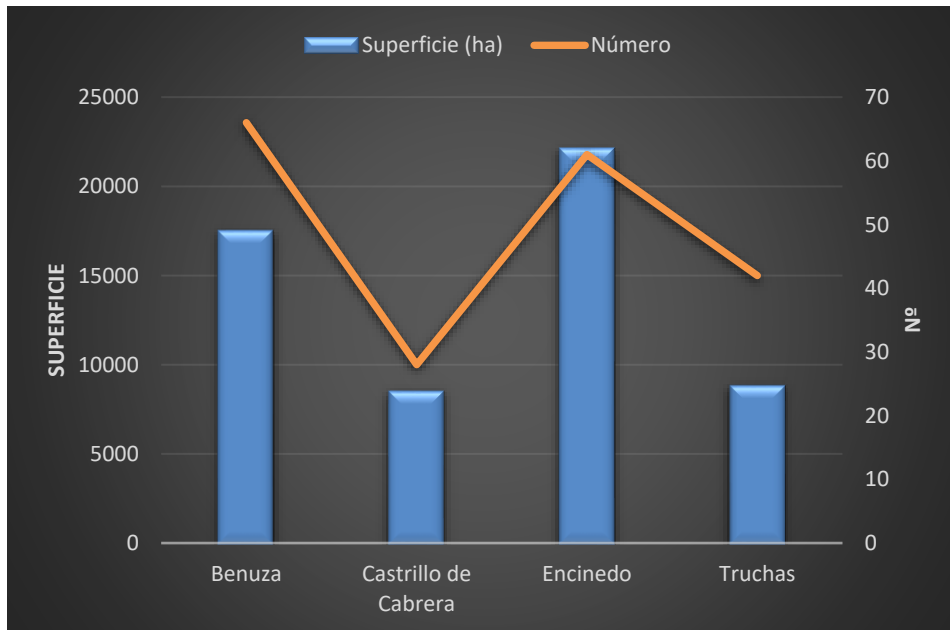


Figura 5.30: Distribución por municipios de la superficie y número de incendios de más de 50 ha para el periodo de 1990-2018.

5.6.1 Truchas

Truchas es el municipio que se encuentra situado más al este de la comarca y conforma la denominada Cabrera Alta, que se caracteriza por un relieve poco escarpado y con redes hidrográficas suaves. Reflejo del relieve son los incendios que han tenido lugar en el municipio (**Figura 5.31**) pues destacan significativamente los incendios topográficos de ladera (**Figura 5.32**), especialmente en la cara sur del relieve. Los incendios ocurridos en Truchas representan el 21% de los incendios, pero solo el 15% de la superficie que ha ardido en la comarca. Esto se debe a que la mayoría de sus incendios son topográficos de ladera, es decir aquellos que menos superficie tienen por lo general dentro de los “incendios tipo”.

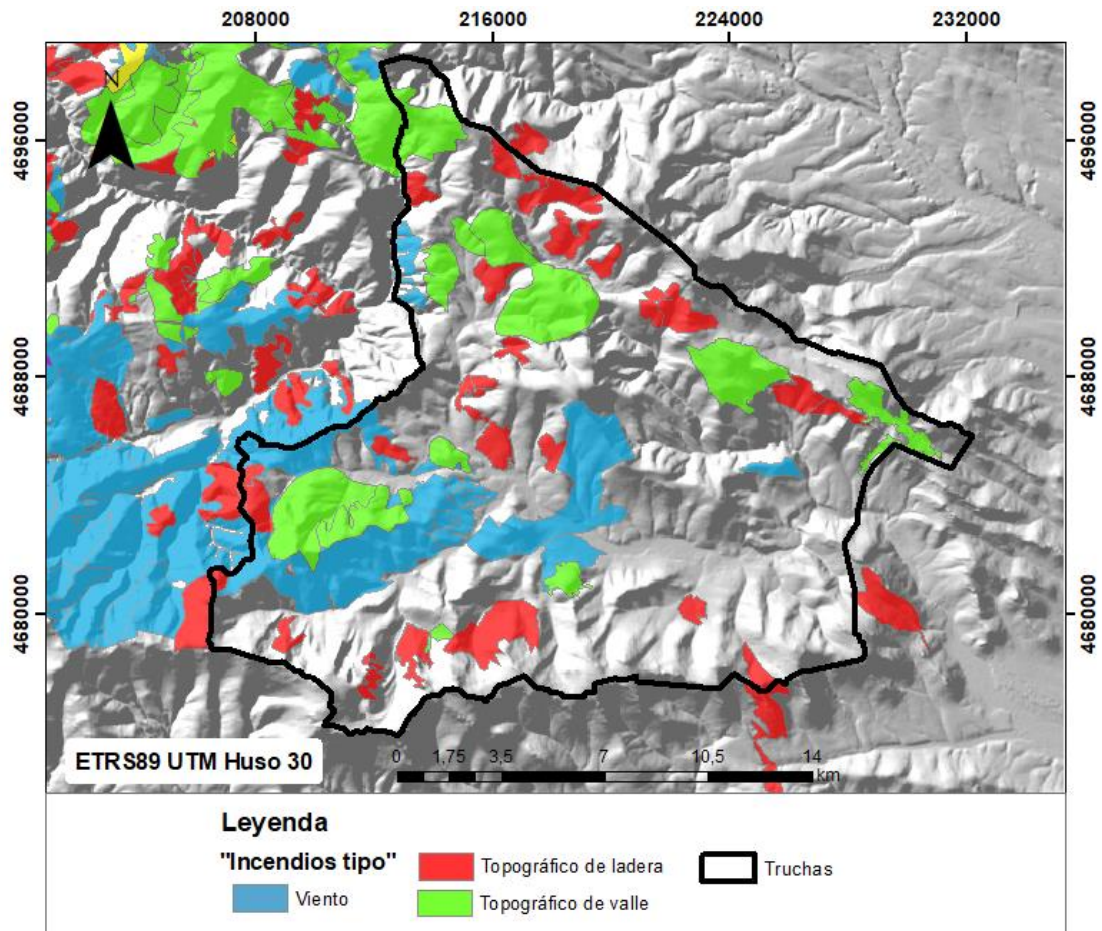


Figura 5.31: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Truchas por "incendios tipo".

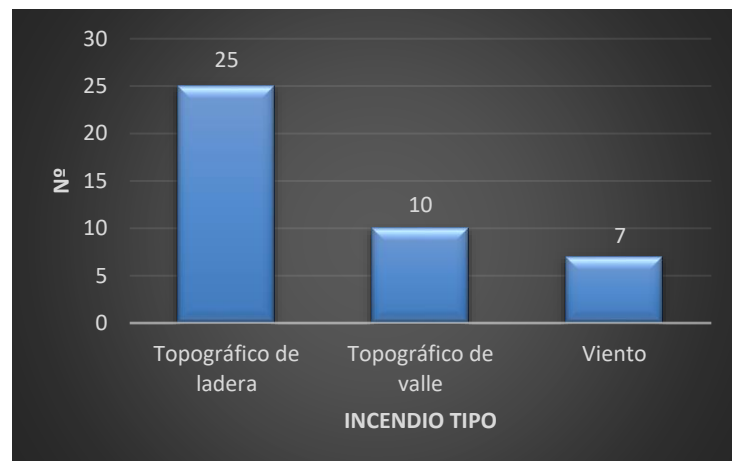


Figura 5.32: Distribución del número de incendios por "incendios tipo" en Truchas.

Si se analiza la distribución temporal de los incendios en el municipio de Truchas se puede ver que los siniestros tienen lugar tanto en verano como en invierno, mientras que en otoño y primavera hay un número de incendios más reducido (**Figura 5.33**). La frecuencia de incendios durante el invierno en Truchas parece estar ligada a intereses ganaderos.

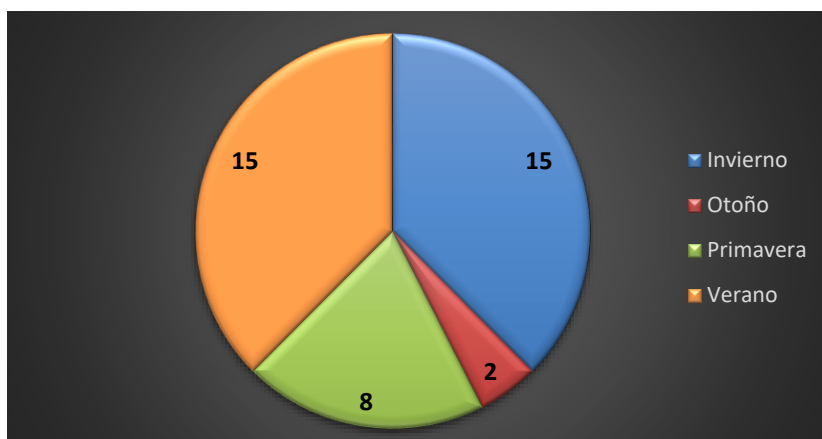


Figura 5.33: Distribución temporal de los incendios en Truchas.

5.6.2 Encinedo

El municipio se encuentra dentro de la Cabrera Baja, formada por relieves escarpados y redes hidrográficas muy ramificadas. Los principales incendios del municipio son los topográficos de ladera, de valle y de viento (**Figura 5.34**), pero en función del relieve hay una mayor frecuencia de cada tipo. Así, los de viento se localizan en la zona sureste, donde hay un relieve menos escarpado y los valles son más abiertos. Por su parte los incendios de ladera principalmente se sitúan en la cara sur del relieve, pues los vientos locales son más intensos en esas áreas debido al calentamiento producido por el sol. Los incendios de valle se localizan en la zona más al oeste del municipio, donde las cuencas hidrográficas son más escarpadas (**Figura 5.35**). En total, el municipio presenta el 31% de los siniestros de la comarca y el 39% de la superficie ardiada, como consecuencia de los numerosos incendios de valle que se asocian a grandes superficies. Además, el incendio de viento 2017240584 del 21 de agosto de 2017 consumió 9817 ha en este municipio, lo que incrementa notablemente el porcentaje de superficie quemada asociada a Encinedo.

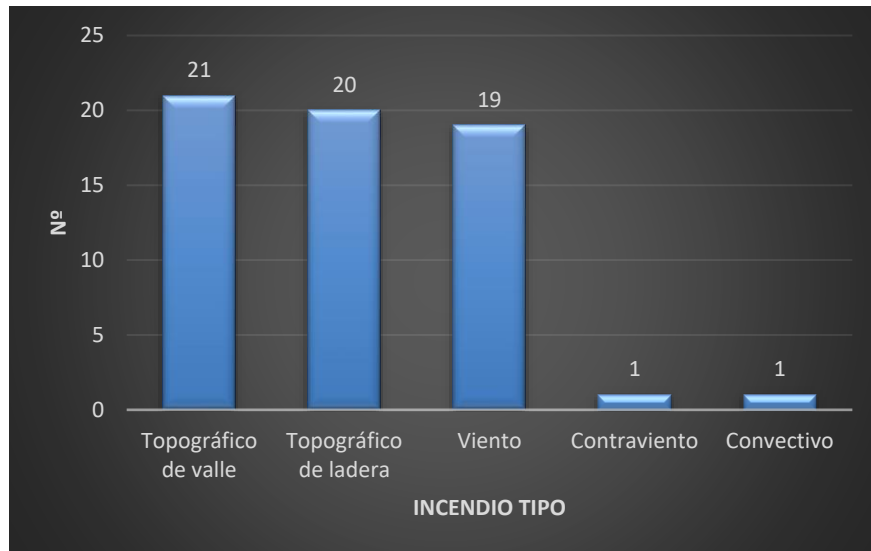


Figura 5.34 : Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Encinedo.

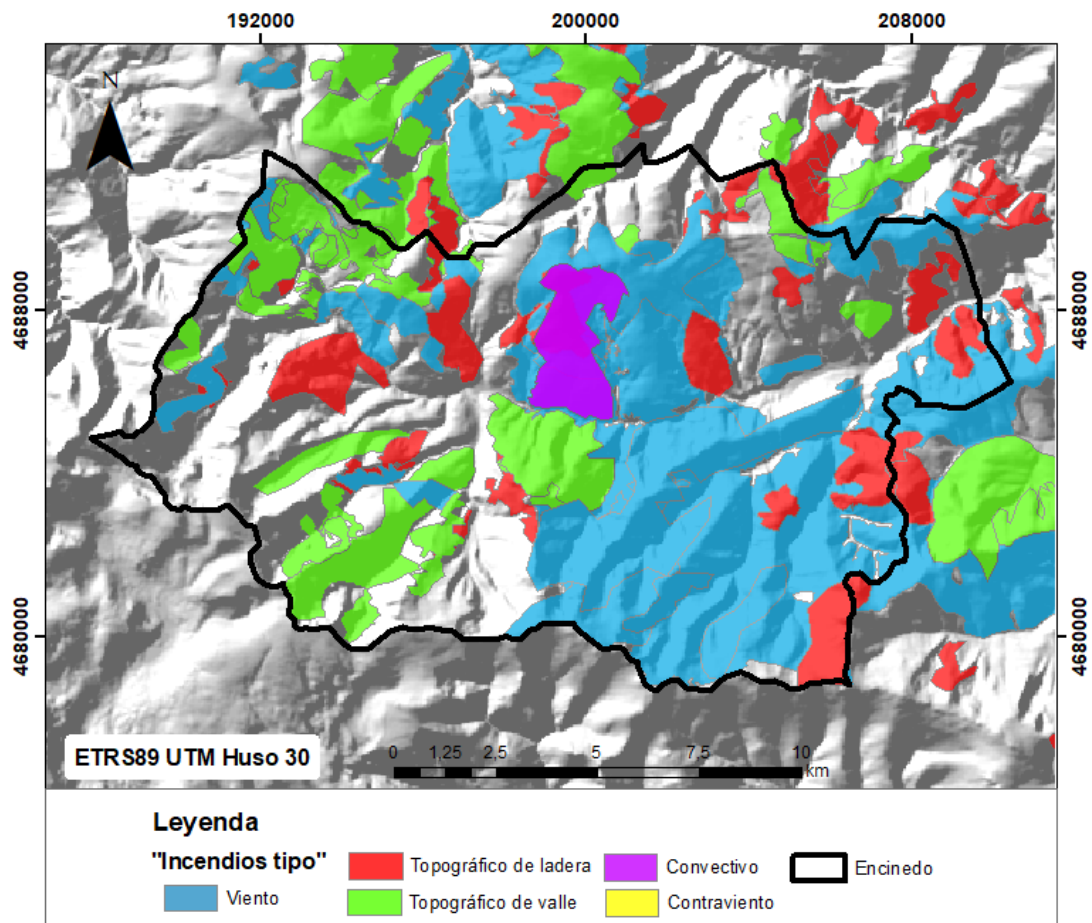


Figura 5.35: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Encinedo por “incendios tipo”.

En cuanto a la distribución temporal destacan los incendios que tienen lugar en verano, pues las condiciones climáticas son más favorables para el desarrollo de grandes incendios (**Figura 5.36**).

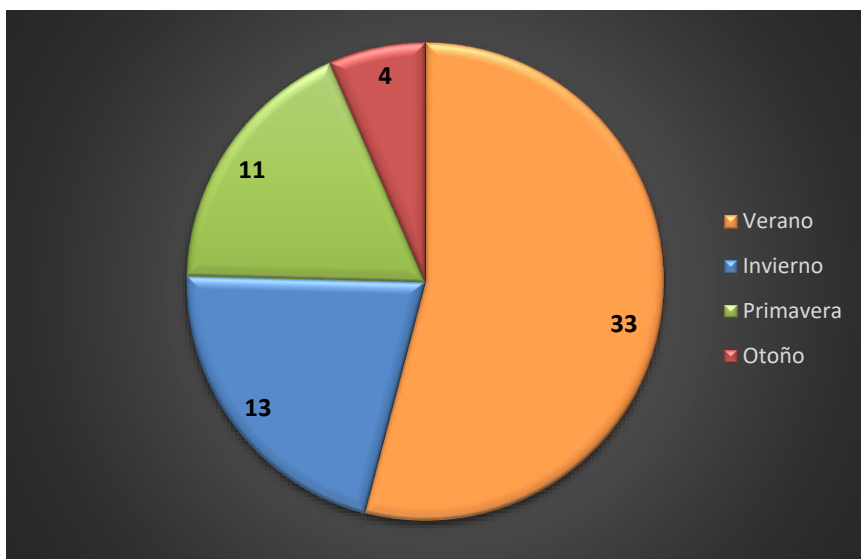


Figura 5.36: Distribución temporal de los incendios en Encinedo.

5.6.3 Castrillo de Cabrera

Situado en la zona de relieve más abrupto de la Cabrera Baja, tiene incendios topográficos de valle, de ladera y de viento, además, ha sufrido 1 de los 3 incendios de contraviento que se han dado en la comarca (**Figura 5.37**). Los incendios de ladera suelen estar asociados a laderas sur o este y los incendios de valle se localizan en la zona norte del municipio, pues es donde las cuencas son más escarpadas (**Figura 5.38**). Representa el 14% de los incendios y el 15% de la superficie que se ha quemado en la comarca.

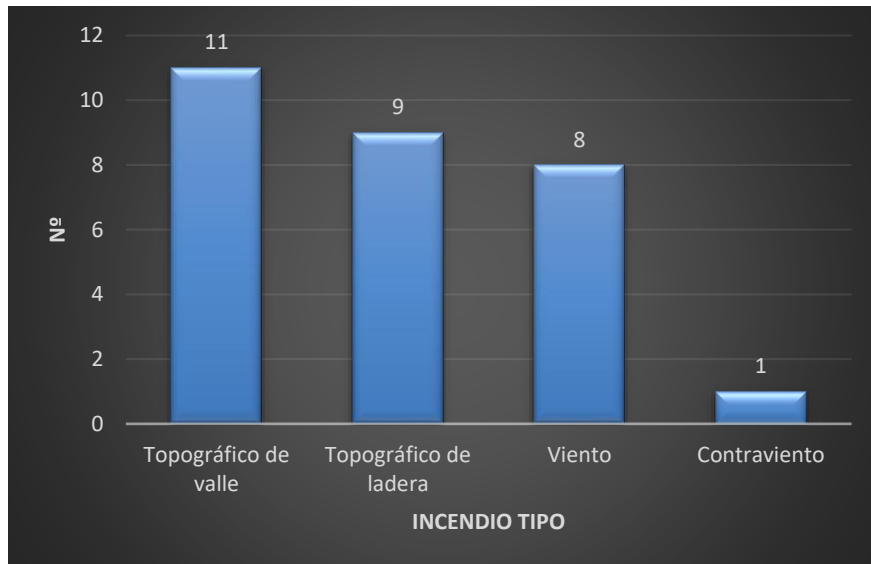


Figura 5.37: Distribución del número de incendios por “incendios tipo” en Castrillo de Cabrera.

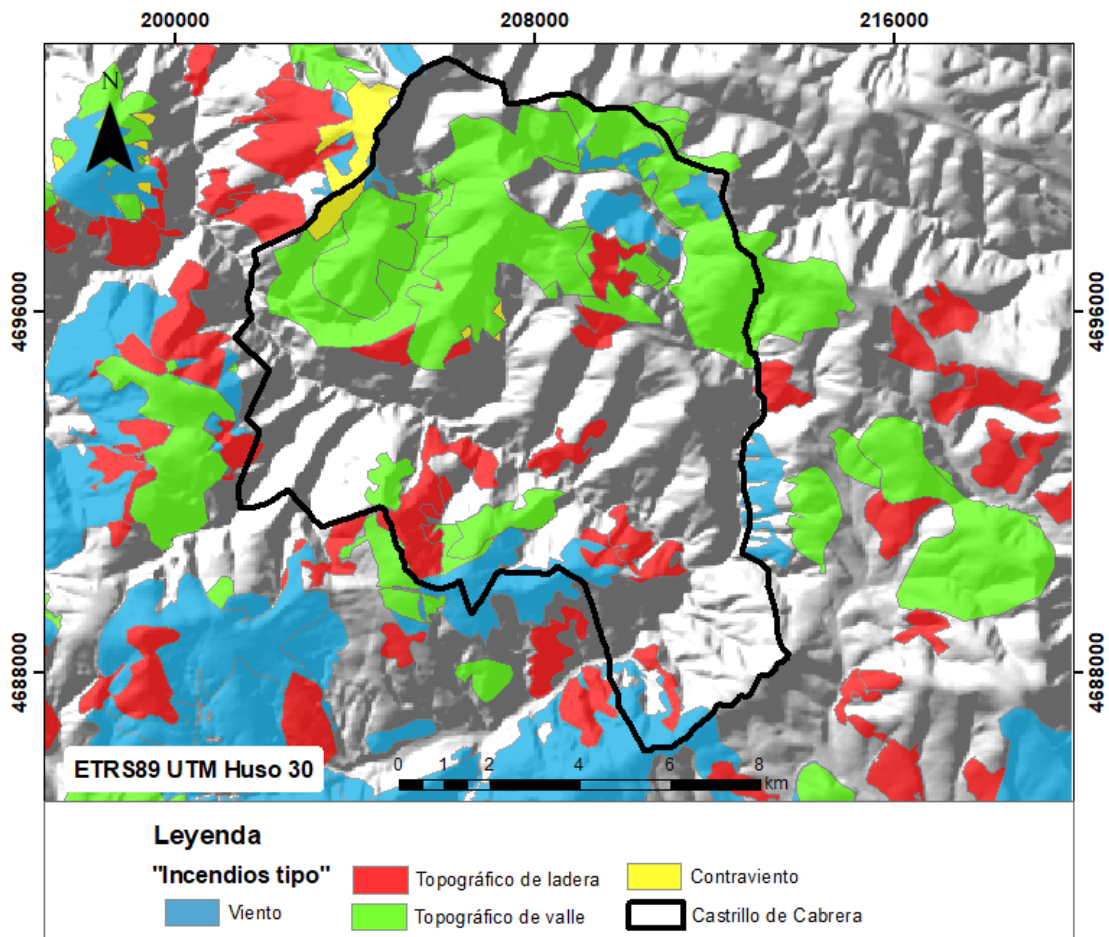


Figura 5.38: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Castrillo de Cabrera por “incendios tipo”.

En cuanto a la distribución por estaciones, la mayoría de los incendios tienen lugar tanto en verano como en invierno, siendo la primavera y el otoño las estaciones con un menor número incendios (**Figura 5.39**).

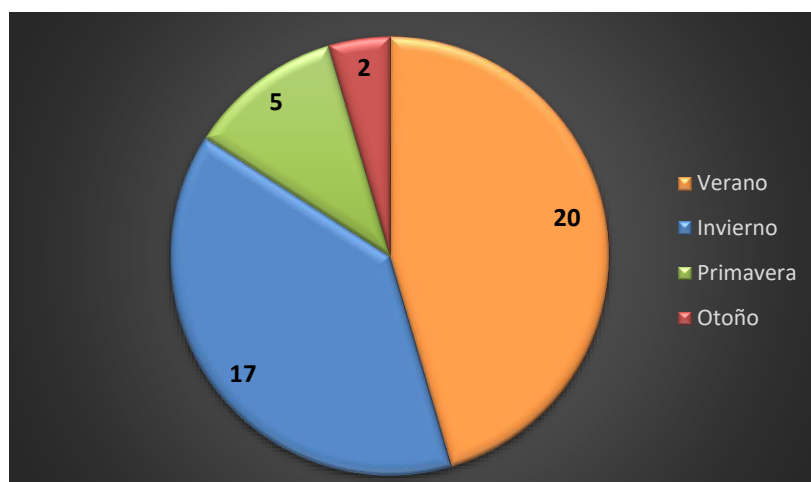


Figura 5.39: Distribución temporal de los incendios en Castrillo de Cabrera.

5.6.4 Benuza

Benuza se encuentra dentro de la Cabrera Baja, es decir el territorio más escarpado y con una red hidrográfica más ramificada. Sin embargo, en el municipio podemos diferenciar dos áreas, la zona norte que tiene un relieve abrupto y cuyas cuencas hidrográficas están altamente ramificadas, y la zona sur, que aún no teniendo un relieve tan suave como la Cabrera Alta si podría asemejarse a sus condiciones. Debido a esta distribución orográfica se pueden explicar dos zonas de ocurrencia de incendios en el municipio. Así en la zona norte son más los incendios de valle, mientras que en la zona sur son más frecuentes los incendios de ladera (**Figura 5.40**), muy numerosos en este caso (**Figura 5.41**). Es el municipio que más siniestros ha sufrido para el periodo estudiado (34%), no obstante en cuanto a superficie representa el 31%, es decir el segundo con más superficie quemada, puesto que la mayor parte de sus incendios son topográficos de ladera y no afectan a tanto territorio como los topográficos de valle.

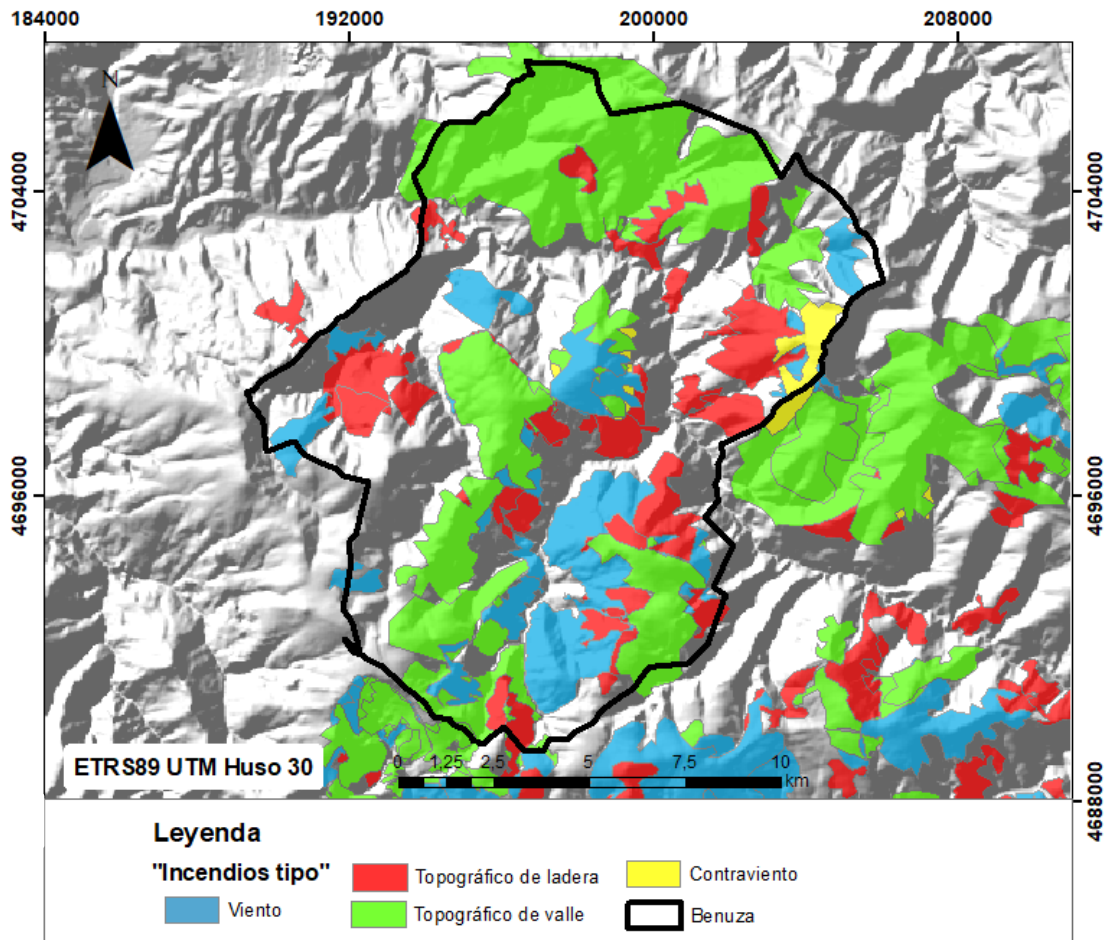


Figura 5.40: Distribución espacial de los incendios en el municipio de Benuza por "incendios tipo".

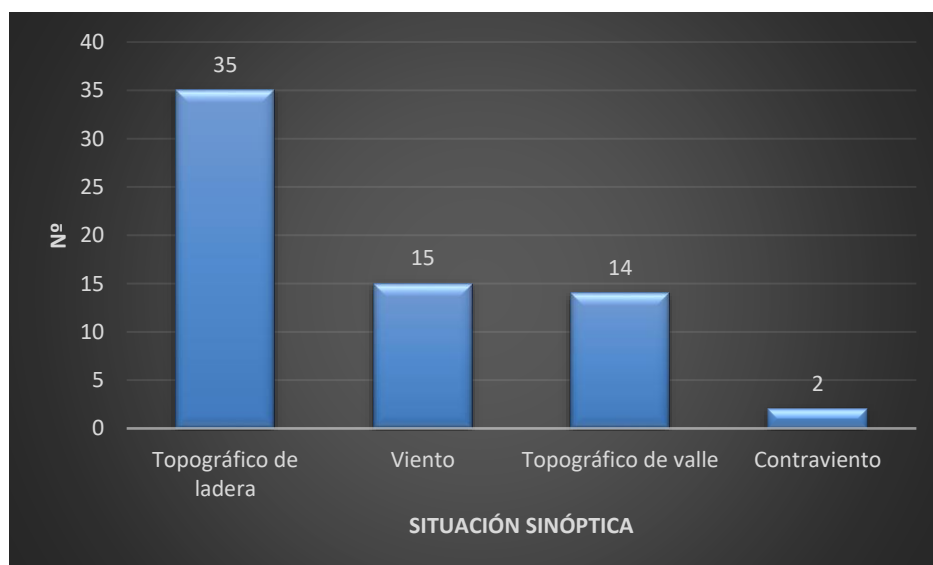


Figura 5.41: Distribución del número de incendios por "incendios tipo" en Benuza.

En la distribución temporal se puede observar que su comportamiento es similar al de Truchas y Castrillo de Cabrera, pues los incendios se dan principalmente en las épocas de verano e invierno (**Figura 5.42**). El clima en verano y las quemadas para regeneración de la vegetación son los motores principales de estos incendios.

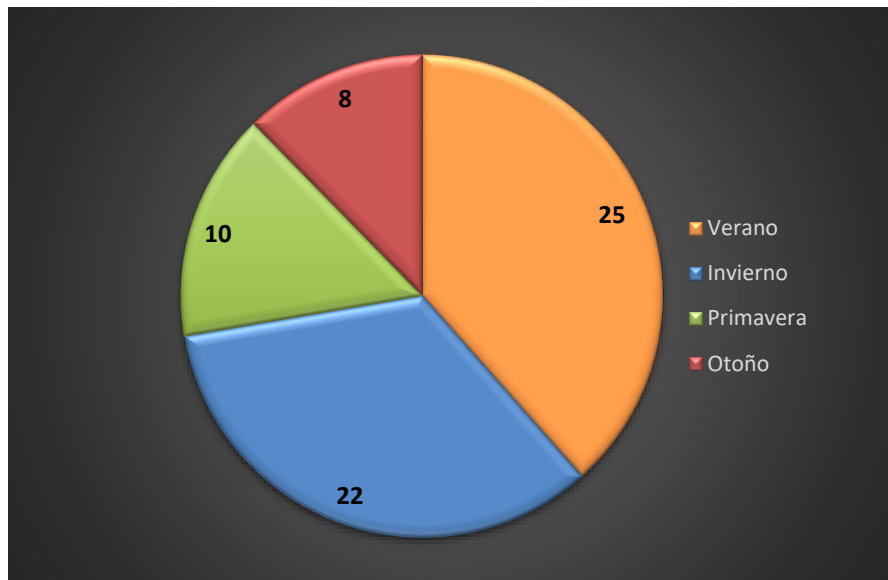


Figura 5.42: Distribución temporal de los incendios en Benuza.

6.- CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados se pudo concluir:

1. La digitalización manual de incendios mediante comparación de composiciones RGB pre y post-incendio es una metodología adecuada para la recuperación de perímetros históricos en áreas con alta recurrencia de incendios, como es la comarca forestal de Truchas. Este método posibilita la correcta discriminación de las áreas individuales de cada incendio y permite minimizar los errores de sobreestimación de superficie quemada que se asocian habitualmente a la consideración de islas interiores no quemadas.
2. La situaciones meteorológicas sinópticas más frecuentes en la comarca son la Advección del Sur, Oeste Anticiclónica y Oeste. Sin embargo, considerando la superficie afectada por los incendios, las situaciones más importantes son la Advección del Sur y Suroeste, pues están asociadas con masas tropicales de origen tanto marítimo como continental que producen aumentos en la temperatura, favoreciendo la propagación de los incendios.
3. Para los incendios de más de 50 ha en el área de estudio hay un elevado efecto de recurrencia geográfica de superficies quemadas, como consecuencia de las interacciones entre el combustible post-incendio, la orografía y las condiciones climáticas. Este hecho ha propiciado que el 31,7% de la superficie de la comarca haya sufrido al menos dos incendios, con un pico de 0,8% de superficie que ha sufrido hasta cinco siniestros entre 1990 y 2018.
4. El patrón dominante de propagación en la comarca es el topográfico, con más del 70% del total de incendios. Destacan los incendios topográficos de ladera, casi con un 45% del total, siendo incendios especialmente favorecidos por los vientos locales. Por su parte, los incendios topográficos de valle destacan por la superficie a la que afectan (un 38% del total) y la duración de sus eventos, derivada de la apertura de sus frentes a lo largo de las cuencas.

5. Los incendios de viento se corresponden con el 25% de los siniestros y el 39% de la superficie afectada, aunque la superficie no se reparte de manera homogénea entre ellos, ya que 9817 ha de las 22081 ha de ese tipo se asocian a un único incendio.
6. La interacción entre la orografía y meteorología de la comarca ha condicionado la distribución espacial de cada una de las tipologías de incendio. Así, los incendios topográficos de valle dominan en las cuencas hidrográficas altamente ramificadas de la Cabrera Baja, debido a su escarpado relieve. Los incendios topográficos de ladera se localizan en relieve poco abruptos, siendo favorecidos por los vientos locales que se originan en las ladera de exposición este y sur, debido al calentamiento del sol. Los incendios de viento, se ubican en los municipios más al sur de la comarca, concretamente en las áreas con un relieve más suave. Los de contraviento, por su parte, están ligados indefectiblemente a grandes cadenas montañosas. El único incendio convectivo, se encuentra en el municipio de Encinedo.
7. La tipificación de los incendios mejorará el conocimiento de la posible evolución de futuros siniestros en la comarca, ayudando a la optimización de los medios de extinción y la minimización de las superficies afectadas. La metodología aquí usada puede ser aplicable a otras comarcas con problemática de incendios.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- Acebrón, M. L., (2017) "Tipificación de los incendios forestales en la provincia de Guadalajara" *Foresta*, 67 (1), pp. 32-39.
- Ávila, E. F. (2020). "Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Sentinel-2". *La geomática*, (15)., pp. 25-32. <https://doi.org/10.14483/23448407.15260>
- Baretino Fraile, D., Alberruvhe del Campo, E., Arránz González, J.C., Digéquez de la Barrera, R., Hidalgo Casrto, N., Plédel Martínez, B., Laín Huerta, L. y Delgado Martínez, F. J. (1995) "Ordenación minero-ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de la cabrera (león)" Instituto Geológico y Minero de España. (eds.) León: Diputación Provincial de León. *Documento I Inventario Ambiental*. pp. 1-353.
- Barros Lorenzo, J.C. (1989) "Nuevos datos Geológicos y cartográficos sobre el flanco Sur del Sinclinatorio de Truchas" *Cuadernos de laboratorio Xeológico de Laxe*, 14 (2), pp. 93-116.
- Cabrero, V. (1976) *Estudio geográfico de un espacio marginal en las montañas galaico-leonesas: La Cabrera*. Tesis. Universidad de Salamanca.
- Calle, A., Casanova, J.L., y Romo, A. (2005) "Cartography of a large fire in Extremadura (Spain) in the summer 2003 using AVHRR, MODIS, BIRD & TM sensor" *Remote Sensing Laboratory of University of Valladolid (LATUV)*, España
- Castellnou, M., Pagés, J., Miralles, M. y Piqué, M., (2009) "Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal", en S.E.C.F Junta de Castilla y León (eds.) *5º Congreso Forestal Español. Montes y sociedad*. Ávila, 21-25 de septiembre de 2009, pp. 2-16.
- Chuvieco, E (2008). "Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio". 3ª ed. rev. y amp. Madrid: Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E., Martín, M. P., Martínez, J. y Salas, J. (1998) "Geografía e Incendios Forestales" *Serie Geográfica*, 7 (1), pp.11-17.

- Consejería de Fomento y Medio Ambiente - Junta de Castilla y León (2008) *Mapa Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)*. Disponible en: <https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-ambiente/zonas-especial-proteccion-aves-cyl/1284688139345> (Accedido: 20 junio 2020).
- Consejería de Fomento y Medio Ambiente - Junta de Castilla y León (2008) *Mapa Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Lugares de Interés (LIC)*. Disponible en: <https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-ambiente/1284688139345> (Accedido: 20 junio 2020).
- Corine-Instituto Geográfico Nacional (2018) *Corine Land Cover*. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/copernicus/productos-a-descargaCorine> (Accedido: 20 junio 2020).
- Costa, P., Castellnou, M., Larranaga Otxoa de Egileor A. y Miralles Bover, M. y Kraus, P.D. (2011) “*Prevention of Large Wildfires using the Fire Types Concept*”. Barcelona: Unitat Tècnica del GRAF
- De Santis A. (2009) “Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas”, *Recursos Rurais*, 5 (3), pp. 93-100.
- Doerr, S.H. y Santín, C. (2016) “Global trends in wildfire and its impacts: Perceptions versus realities in a changing world” *Philosophical transactions B*, 371 (5), pp 201-223.
- Dorrego, X. y Álvarez, G. (2006) “Teledetección y SIG en la gestión de los incendios forestales en Galicia” en Montesino Aranda, S. y Fernández Fornos, L. (eds.) *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Cataluña (23-26 de septiembre) pp. 297-300.
- European Space Agency (2019) *ESA Climate Office*. Disponible en: <https://climate.esa.int/en/esa-climate/> (Accedido: 25 noviembre 2020).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2007) *Los incendios Forestales en España*. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/35587/es/> (Accedido: 21 enero 2021).

- Gallegos A., Gerardo A., Gerardo R., Marcelli C. y Hernández E. (2017) "Efecto de la recurrencia de incendios forestales sobre la diversidad arbórea", *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5 (3), pp. 110-125
- García, J.L. (2006). *La Cabrera, Cuadernos de Arquitectura. Materiales, Sistemas y Elementos Constructivos*. Disponible en: <https://www.dipuleon.es/extfrontdipuleon/books/cabrera/laCabrera20.html> (Accedido: 5 mayo 2020).
- IGN, Instituto Geográfico Nacional (2015). *PNOA Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*. Disponible en: <http://pnoa.ign.es/> (Accedido: 20 noviembre 2020)
- Illera, P., Fernández, A., Calle, A. y Casanova, J.L. (1995) "Evaluation of forest fire danger in Spain by means of NOAA-AVHR images Proceedings of International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management", Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá de Henares, pp. 101-103.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2017) *Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional*. Disponible en: <https://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaDesdeHome&nombrePoblacion=Cabrera> (Accedido: 21 junio 2020).
- Iñesta, J. (2016) "Análisis del histórico y definición de las tipologías de Incendios Forestales en Navarra" *Jornadas Técnicas Incendios Forestales ante el Cambio climático*, en Pamplona 21 y 22 de noviembre 2019. Life Adapta, pp. 104-121.
- ITACyL-AEMET (2020) *Atlas Agroclimático de Castilla y León*. Disponible en: <http://atlas.itacyl.es/> (Accedido: 21 enero 2021)
- Keeley, J. E., (2009) "Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage", *International Journal of Wildland Fire*, 18 (1), pp. 116–126.
- Lahaye, S. A., Curt, T. D., y Fre, T. (2017) "What are the drivers of dangerous fires in Mediterranean France?", *Int. J. Wildland Fire*, 27, pp. 155–163, <https://doi.org/10.1071/WF17087>, 2017.

- Lázaro, M.A., Cortés, J., Hernández, R., López, R. y Martín, V. (2015) "Meteorología sinóptica y comportamiento del fuego en Aragón". *6º Congreso Forestal Español. Montes y sociedad*. Pontevedra, 10-14 junio 2013, pp.2-16.
- Llopis, N. y Fontbote, J.M. (1959). *Estudio Geológico de la Cabrera Alta (León)*. Oviedo: Departamento de Geografía Aplicada del Instituto Elcano (S.A.I.C. Librería General).
- López, M. J. y Caselles, V. (1991) "Mapping burn and natural reforestation using thematic Mapper data". *Geocarto international*, 6 (1), pp. 31-37.
- Mancebo-Quintana, S., Ortega-Pérez, E., Valentín-Criado, A.C., Martín-Ramos, B. y Martín-Fernández, L. (2008). *LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Madrid: Mancebo Quintana, S., Ortega Pérez, E., Valentín Criado, A.C., Martín Ramos, B. y Martín Fernández, L.
- Manrique, J., Díaz, V., Oliver Villanueva, J. V. y Quílez Moraga, R., (2018) "Gestión de Incendios Forestales en el context de Cambio Climatico" en Vicerrector de Participación Territorial de la Universidad de Valencia (ed.) *III Congreso Forestal de la Comunidad Valenciana: Gestión de incendios Forestales en el Contexto del Cambio Climático*. Alicante 15-16 de noviembre. Valencia: Unidad de soporte del Vicerrectorado de Proyeccion Territorial y Social de la Universidad de Valencia.
- Manzo-Delgado L., y López-García J. (2013) "Detención de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post - incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS". *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2(13), 66-83.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) (2019) *Los Incendios Forestales en España 2006-2015*. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollorural/estadisticas/incendios_default.aspx (Accedido: 20 junio 2020)
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) (2014) *Plan de Prevención de Incendios Forestales mediante quemas controladas en la comarca forestal de Truchas, León*

- MAPAMA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente (2015) “*Estadística General de Incendios Forestales*”. Disponible en http://www.mapama.gob.es/es/desarrollorural/estadisticas/Incendios_default.aspx. (Accedido 19 diciembre 2020).
- Martín, M.P., Díaz Delgado, R., Chuvieco, E. y Ventura, G. (2002) “Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS”, en Viegas D. X. (ed.). *IV International Conference on Forest Fire Research Wildland Fire Safety*, Portugal, 18-23 de noviembre de 2002, pp. 45-60.
- Mena, S., (2017) “Identificación de áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Landsat 8” *GeoSur*, 8 (12), pp.15-25.
- Merino-de-Miguel, S., González-Alonso, F., GARCÍA-GIGORRO, A., Roldán-Zamarrón, A. y Cuevas, J. M. (2005) "Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques", *New Strategies for European Remote Sensing*, 7, pp. 81–88.
- Meteoblue (2020) *Rosa de los Vientos Ponferrada*. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/ponferrada_espa%C3%B1a_3113236 (Accedido: 15 febrero 2021)
- Miller, J. D. y Yool, S. R. (2002) "Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data", *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 481–496. doi:10.1016/S0034-4257(02)00071-8.
- MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto demográfico) (2016) *Frecuencia de Incendios Forestales por Término Municipal*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/incendios-forestales.aspx> (Accedido: 22 enero 2020)
- Montserrat, D. (1998) “Situaciones sinópticas relacionadas con el inicio de grandes incendios forestales en Cataluña”. *Nimbus*, 1 (2), pp. 93-112.
- Nafria, D., Garrido, N., Álvarez, M., Cubero, D., Fernández, M., Villarino, I., Gutierrez, A. y Abia, I. (2013) “Atlas Agroclimático de Castilla y León”, Instituto Tecnológico

de Castilla y León y Agencia Estatal de Meteorología 1ªEd (septiembre de 2013)
Disponible en: <http://atlas.itacyl.es/>

NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) (2019) *Fire Information for Resource Management System*. Disponible en: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (Accedido: 22 noviembre 2020)

Naveh Z. (1994) "The Role of Fire and Its Management in the Conservation of Mediterranean Ecosystems and Landscapes". Moreno J.M., Oechel W.C. (eds) vol 107. Springer, New York, NY.

Pausas, J. G. y Fernández-Muñoz, S. (2012) "Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to droughtdriven fire regime". *Climatic Change*, 110, pp. 215-226.

Pereira, J.M.C., Sousa, A.M.O., Sá, A.C.L., Martín, M.P. y Chuvieco, E. (1999) "Regional-scale burnt area mapping in Southern Europe using NOAA-AVHRR 1 km data. In Remote Sensing of Large Wildfires". *Heidelberg*, 4 (2), pp. 139-155.

Quintano Pastor, C., Fernández Manso, A., Delgado de la Mata, J.A. y Shi-mabuko, Y.E. (2002) "Determination of spectral mixture analysis validity for estimating burned area using AVHRR data and multitemporal analysis" en Viega D. X. (ed.). *IV International Conference on Forest Fire Research Wildlan Fire Saftey*, Portugal 18-23 de noviembre de 2002, pp. 39-49.

Reynosa, E. (2016) "Índices espectrales de vegetación para la detección de áreas quemadas" *La Calera*, 16 (27), pp. 111-114.

Rodríguez-Moreno V.M. y Bullock S.H. (2013) "Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense". *En Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (4), pp. 611-623.

Rouse, JW, Haas, RH, Schell, JA y Deering, DW, (1973) "Monitoring vegetation systems in the Great plains with Third ERTS". *ERTS Symposium, NASA*, 351, pp. 309-317.

- San-Miguel-Ayanz, J. y Camia, A. (2009) "Living with Wildfires: What Science Can Tell Us " en Birot, Y. (ed.) *Forest fires at a glance: Facts, figures and trends in the EU*", Finlandia: European Forest Institute.; pp. 11–21.
- San-Miguel-Ayanz, J., Pereira, J.M.C., Boca, R., Strobl, P., Kucera, J. y Pekkarinen, A. (2009) "Forest fires in the European Mediterranean region: Mapping and analysis of burned areas". Springer,1 (1), pp. 189–203.
- San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G. y Camia, A. (2013) "The European Forest Fire Information System in the context of environmental policies of the European Union", *Forest Policy and Economics*, 29 (2), pp.19–25. doi:10.1016/j.forpol.2011.08.012.
- Servicio Territorial de Medio Ambiente (2019) *Estadística de Unidades Ganaderas*. Disponible en: <https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-rural-pesca/unidades-ganaderas/1284801672971> (Accedido: 15 febrero 2020)
- Silva, J. S., Rego, F., Fernandes, P. y Rigolot, E. (2010) "*Towards Integrated FireManagement - Outcomes of the European Project Fire Paradox*". Finlandia: European Forest Institute.
- USGS, Unites States Geological Survey (2019) "EarthExplorer". Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Accedido 22 de junio 2020).
- Velez 2000 "Las quemadas incontroladas como causa de incendios forestales", *Cuadernos de Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 4 (9), pp. 13-26
- Vide, J. (2005). *Los mapas del tiempo*. Ed. Davinci. Barcelona.
- Videma, O., y Chuvieco, E., (1994) "Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya Buñol (Valencia)", *Revista de la asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho*,167, pp. 60-66.
- Viedma O., y Chuvieco E. (2005). *Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la Hoya de Buñol (Valencia)*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares.

Wetterzentrale (2020) *Reanalysis archives*. Disponible en: <https://www.wetterzentrale.de/es/reanalysis.php?model=cfsr> (Accedido: 23 junio 2020).

Yankovich, K., Yankovich, E. y Baranovskiy, N. (2019) "Classification of Vegetation to Estimate Forest Fire Danger Using Landsat 8 Images: Case Study" *Mathematical Problems in Engineering*, 1(9), pp. 1-14 <https://doi.org/10.1155/2019/6296417>