



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

# Análisis de la revegetación en incendios mediante teledetección: el caso de los incendios de Mequinenza y Fayón

Autor:

**Jaime Cuchí Moreno**

Director:

**Fernando Pérez Cabello**

Grado en Geografía y Ordenación del territorio

Facultad de Filosofía y Letras

Universidad de Zaragoza

2019

## Resumen

Los incendios forestales constituyen uno de los principales problemas ambientales en cuanto a su incidencia en la vegetación. Por ello es necesario conocer el comportamiento de la vegetación tras el incendio. El presente trabajo aborda el análisis del proceso de revegetación en cinco incendios distribuidos en los últimos 40 años en la zona de Mequinenza-Fayón. Para ello se van a estudiar los valores de NDVI derivados de tres imágenes Sentinel 2 correspondientes a tres meses del año 2017 y su relación con las variables predictivas orientación, pendiente y radiación; los mejores resultados se han obtenido en las orientaciones N del incendio de 1986.

**Palabras clave:** ANOVA; Revegetación; NDVI; Incendio; Diferencias estadísticas.

---

## Abstract

Forest fires are one of the most important environmental problems in terms of their impact on forest vegetation. Therefore, it is necessary to know the behavior of the vegetation after the fire. This work deals with the analysis of the revegetation process in five fires distributed in the last 40 years in the area of Mequinenza and Fayon. To archive this purpose we are going to analyze NDVI values from three Sentinel 2 images, which were taken in three months in 2017 and their relationships with predictive variable orientation, slope and radiation; the best results were obtained in the orientations of the fire of 1986.

**Keywords:** ANOVA; Revegetation; NDVI; Fire; Statistical differences.

## Índice general

1.	Introducción .....	5
1.1	El fenómeno del fuego y sus consecuencias .....	5
1.2	Teledetección en incendios forestales .....	7
2.	Objetivos e hipótesis de partida. ....	8
3.	Área de estudio .....	9
3.1	Condiciones climáticas .....	10
3.2	Vegetación.....	11
3.3	Condiciones topo-morfológicas .....	13
4.	Material y métodos .....	14
4.1	Fuentes de información cartográfica y programas informáticos utilizados.....	14
4.2	Descarga y delimitación de las zonas quemadas .....	16
4.3	Índices de vegetación: Normalized Difference Vegetation index (NDVI) .....	17
4.4	Tratamiento estadístico .....	18
5.	Resultados y discusión .....	20
5.1	Caracterización de la regeneración vegetal mediante valores de NDVI.....	20
5.2	Relaciones entre los niveles de regeneración y variables predictivas .....	29
5.2.1	La influencia de la morfología topográfica sobre la regeneración vegetal .....	29
5.2.2	La influencia del tipo de vegetación.....	35
5.2.3	Interactuaciones entre las variables explicativas.....	37
6.	Plan de medidas para minimizar el impacto de los incendios forestales y facilitar su regeneración .....	41
6.1	Fichas de medidas de minimización.....	42
7.	Conclusión .....	45
8.	Fuentes de información consultadas .....	46
9.	Anexos.....	48

## Índice de tablas:

Tabla 4.1. Serie temporal de imágenes utilizadas.....	16
Tabla 4.2. Distribución de puntos por incendios y su porcentaje en cada uno de ellos.....	18
Tabla 5.2. Resultados del análisis de varianza aplicado.....	21
Tabla 5.3. Comparación por pares mediante el test de Bonferroni.....	22
Tabla 5.4. Medidas de centralidad y dispersión para cada imagen de la serie temporal... ..	23
Tabla 5.5. Resultados del análisis ANOVA en el mes de mayo de 2017.....	24
Tabla 5.6. Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en mayo de 2017.....	24
Tabla 5.7. Resultados del análisis ANOVA en el mes de agosto de 2017.....	26
Tabla 5.8. Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en agosto de 2017... ..	26
Tabla 5.9. Resultados del análisis ANOVA aplicado para el mes de octubre de 2017 .....	28
Tabla 5.10. Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en octubre de 2017. ....	28
Tabla 5.11. Resultados del análisis ANOVA para las exposiciones topográficas de los incendios forestales.....	30
Tabla 5.12. Comparación por pares mediante el test de Bonferroni para cada exposición.....	31
Tabla 5.13. Resultados del análisis ANOVA aplicado para las comunidades vegetales.....	36
Tabla 5.14. Resultados del análisis ANCOVA aplicado.....	38

## Índice de figuras:

Figura 3.1. Localización de la zona de estudio.....	11
Figura 3.2. Diagrama obrotérmico de Mequinenza. ....	11
Figura 3.3. Vegetación actual presente en nuestra zona de estudio. ....	13
Figura 4.1. Distribución de puntos por incendios.. ..	19
Figura 5.1. Datos medios e intervalos de confianza al 95%. ....	22
Figura 5.2. Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de mayo de 2017 .....	25
Figura 5.3. Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de agosto de 2017 .....	27
Figura 5.4. Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de octubre de 2017. ....	29
Figura 5.5. Relación de los valores del índice espectral NDVI y las exposiciones topográficas de los incendios.....	30
Figura 5.6. Exposiciones topográficas de la zona de estudio. ....	31
Figura 5.7. Pendiente topográfica del área de estudio. ....	32
Figura 5.8. Scatter plot de la relación entre la pendiente topográfica, la vegetación y los valores medios de NDVI.....	33
Figura 5.9. Radiación solar del área de estudio.. ..	34
Figura 5.10. Scatter plot de la relación entre la radiación solar, la vegetación y los valores medios de NDVI.....	35
Figura 5.11. Evolución del regenerado vegetal en los últimos 40 años... ..	37
Figura 5.12. Análisis ANCOVA de las comunidades vegetales y su NDVI respecto a la exposición topográfica.. ..	39
Figura 5.13. Análisis ANCOVA de la vegetación y su NDVI respecto a cada incendio forestal. ..	41

# 1. Introducción

## 1.1 El fenómeno del fuego y sus consecuencias

El fuego es un elemento de la naturaleza que en muchos ecosistemas determina la distribución de las especies vegetales y su extensión en el territorio. El hombre lo ha utilizado como herramienta para modelar su entorno, empleándolo en múltiples actividades ligadas a la agricultura, la ganadería o al ámbito forestal (Pausas et al. 2008).

Cuando el fuego se vuelve incontrolable se produce el incendio y, cuando éste pasa al monte, se produce el “Incendio Forestal”. Según el decreto legislativo 1/2017, de 20 de junio, del Gobierno de Aragón por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Montes de Aragón el incendio forestal es aquel en el que *“el fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte “entendiéndose por monte “todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas, o recreativas”*. Por lo tanto, siguiendo a Vélez (2000) podemos definir incendio forestal como el fuego que se propaga sin control sobre el terreno forestal, quemando vegetación que no estaba destinada a arder.

En los últimos 50 años y fruto, entre otros factores, del abandono del medio rural y de los cambios en las condiciones atmosféricas, el número de incendios forestales y su superficie quemada han aumentado, lo que ha intensificado las consecuencias negativas del fuego. En escasas ocasiones el origen se encuentra en la propia naturaleza (rayos). No obstante, existen algunos espacios en Aragón, caso de las sierras ibéricas turolenses o muchos ámbitos del Pirineo oscense, en donde las causas por rayo constituyen un porcentaje elevado.

Tanto los incendios por causas naturales como los provocados por el hombre, ya sea descuido o intencionadamente, pueden extenderse con gran virulencia y rapidez causando graves daños. Entre sus efectos, desde el punto de vista exclusivamente ambiental, podemos destacar los relacionados con la pérdida del

paisaje y la degradación de las comunidades vegetales; la alteración de las propiedades edáficas.

En lo que respecta a la pérdida de calidad paisajística, entiendo el paisaje como un elemento integrador del ecosistema, cuando se produce un incendio forestal se destruyen los ecosistemas y, a su vez, se desactivan o alteran múltiples usos del monte y funciones ecológicas y sociales. La fauna es una de aspectos más afectados por el fuego. La destrucción de los ecosistemas y a su vez de las cadenas tróficas son las grandes condicionantes para la regeneración de las especies animales, que se ven obligadas a huir de las llamas y los humos que producen asfixia. (Greenpeace.es, 2010).

La alteración de la estructura edáfica y el aumento de su degradación pueden originar la pérdida de suelo debido a la reactivación de los procesos hidrogeomorfológicos. A consecuencia de ello se altera el ciclo hídrico al disminuir la infiltración y con ello las reservas subterráneas, aumenta la escorrentía y el riesgo de crecidas con las lluvias torrenciales (Mataix-Solera et al., 2011).

Por último, con la combustión de la cubierta vegetal en un incendio, se produce una liberación a la atmósfera de una gran cantidad de CO<sub>2</sub> además de otros gases y partículas nocivos para la atmósfera como los compuestos nitrogenados, diversos hidrocarburos, partículas de ceniza o carbón etc. (Greenpeace.es, 2010).

Para combatir los incendios la Administración pública se encarga de desplegar equipos y medios para combatirlos y así reducir al máximo sus efectos. El sistema de defensa se basa en conseguir que los tiempos de respuesta sean lo más corto posible.

Por otro lado, la gestión post-incendio se encamina principalmente a controlar la escorrentía y la erosión mediante un recubrimiento del suelo capaz de protegerlo y así minimizar el arrastre de suelo y cenizas por el agua de las lluvias. En las laderas, se suele proteger mediante la siembra de herbáceas, la aplicación de cubiertas o acolchados acolchados (Mulch), la combinación de ambos tratamientos o la colocación de barreras discontinuas de troncos. Mientras que a nivel de red de drenaje se controlan mediante la construcción de diques. (Gimeno et al, 2014).

Saber que hacer tras el fuego es importante pero también es necesario saber que cada incendio es un mundo y que en función de cómo haya sido el mismo se tomaran o no estas u otras medidas.

## **1.2 Teledetección en incendios forestales**

Tal y como señala Chuvieco (2002), la teledetección espacial ha sido muy utilizada en la cartografía de áreas quemadas gracias al carácter sistemático de las observaciones de la superficie terrestre y la sensibilidad de las bandas del espectro sensible a la discriminación de las zonas quemadas. La información es obtenida gracias a los sensores remotos que portan los satélites y es por ello que podemos realizar un seguimiento exhaustivo de los diversos procesos ambientales que podemos encontrar en nuestro planeta, en este caso, los incendios.

La teledetección como herramienta de análisis es clave para facilitarnos información de las diferentes partes de un incendio (fase previa, durante y posterior). La información previa es de gran ayuda para conocer el tipo de combustible localizado en una determinada zona y por otra parte facilita el conocimiento sobre el riesgo a que se produzca otro incendio. La fase “durante” nos facilita la exacta localización de los focos activos y el avance de los mismos. Y por último, la fase posterior, en la que se inscribe este trabajo de fin de grado, nos aporta gran cantidad de información para el análisis de las zonas quemadas y su seguimiento en términos de regeneración vegetal.

La teledetección para estudiar superficies quemadas suele construirse mediante índices espectrales resultantes de la combinación de dos o más bandas. Su resultado nos permite conocer los diferentes estados y características de la superficie afectada. En relación con superficies quemadas hay que destacar fundamentalmente dos índices: *Normalized Difference Vegetation index* (NDVI) y *Normalized Burn Ratio* (NBR).

El NDVI es el índice espectral más utilizado como un indicador de la tasa de recuperación de la vegetación después del fuego (Viedma *et al.* 1997). La aceptación de este índice para este tipo de estudios se debe a la respuesta general del NDVI a la cantidad de biomasa verde presente en la zona independientemente de las especies vegetales que conforman la comunidad (Blackburn y Milton 1995; Gamon *et al.* 1995, citado por Díaz delgado 1999). Además el NDVI se satura cuando la vegetación alcanza

el 70% de recubrimiento, lo que le habilita para seguir los estados iniciales de la recuperación vegetal tras sufrir las devastadoras consecuencias derivadas de los incendios forestales.

A lo largo de las últimas décadas han sido muchos los trabajos, publicaciones... en los que se ha utilizado la teledetección para el análisis de los incendios forestales. Uno de los primeros fueron los trabajos de Salvador et al. (1997) quienes desarrollaron un método para la detección de áreas forestales quemadas en Cataluña. La metodología se basaba en la utilización del índice NDVI. Los resultados fueron contrastados con los inventarios de incendios disponibles de la administración (Díaz Delgado *et al.* 1997). Tras delimitar los perímetros de los fuegos, la gran cantidad de imágenes permitió iniciar un seguimiento de los cambios de NDVI a lo largo del tiempo en determinadas zonas que habían sufrido un incendio.

## **2. Objetivos e hipótesis de partida**

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado se concreta en el análisis del proceso de revegetación en cinco incendios distribuidos a lo largo de los últimos 40 años (que tuvieron lugar entre 1979 y 2009) en la zona de Mequinenza-Fayón, mediante la utilización del índice espectral NDVI<sup>1</sup>. Todo ello se llevará a cabo mediante la utilización de imágenes Sentinel-2 de diferentes fechas a lo largo de un año, en el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello se han establecido una serie de objetivos específicos:

- Caracterizar las superficies afectadas en función de diferentes factores físicos (exposición, pendiente, radiación).
- Cuantificar mediante el NDVI la magnitud de la regeneración en los 5 incendios de la zona Mequinenza-Fayón a lo largo de tres estaciones (primavera, verano y otoño).
- Analizar las diferencias entre incendios e identificar posibles factores explicativos de dichas diferencias.

---

<sup>1</sup> Para realizar el presente trabajo de fin de grado pensé en algo que pudiera motivarme, que me ilusionase y que, sobre todo, pudiera ayudar a mi pueblo y de alguna manera concienciarlo con el medio



- Establecer unas posibles fichas técnicas para la minimización de los impactos tras un incendio.

#### *Hipótesis de partida*

1. Los índices de vegetación a partir de imágenes Sentinel-2 constituyen una herramienta eficaz para la evaluación y seguimiento de las zonas quemadas en ambientes semiáridos.
2. La exposición topográfica en los ambientes semiáridos es uno de los factores que controla la regeneración vegetal tras el fuego.

### **3. Área de estudio**

Como se puede observar en la figura 3.1 y como se ha ido comentando con anterioridad, nuestra zona de estudio se encuentra localizada entre los municipios de Mequinenza y Fayón. Estos municipios están integrados en la comarca del Bajo Cinca (Mequinenza) y en la del Bajo Aragón-Caspe (Fayón), que se ubican al sur de la provincia de Zaragoza y al sureste de Aragón. Lindan hacia el norte con la comarca del Cinca Medio, al sur con la del Matarraña, al este con la comunidad autónoma de Cataluña y al oeste con las comarcas de los Monegros y Ribera baja del Ebro. En concreto los incendios se distribuyen en una reducida extensión localizada entre los ríos Ebro y Matarraña (la margen derecha del río Ebro, y en la izquierda del Matarraña).



**Figura 3.1.** Localización de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de los datos de un proyecto de investigación.

### 3.1 Condiciones climáticas

El clima constituye uno de los factores naturales de mayor influencia tanto en el desarrollo de la vida como en la evolución de los suelos y la configuración del paisaje, por lo que su caracterización se hace necesaria para poder comprender algunos de los aspectos desarrollados en el presente estudio.

El territorio en el que se encuentran las zonas quemadas se caracteriza por mostrar un clima de régimen mediterráneo semiárido, considerado BSk según la clasificación de Köppen-Geige.

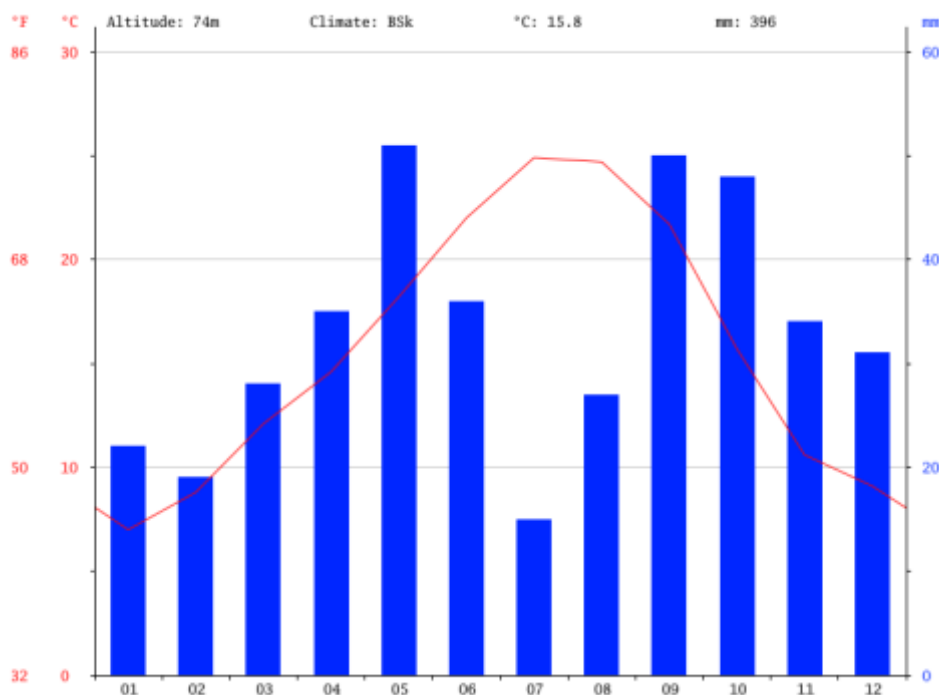


Figura 3.2. Diagrama ombrotérmico de Mequinenza. Elaboración Climate-Data.org

Los registros de temperaturas sitúan la media anual de este territorio entre los 14 y 15°C, valor similar al de otras poblaciones del valle del Ebro. Aunque algunos modelos climáticos señalan que las zonas más bajas, próximas a los cauces y embalses (como es el caso de nuestra zona) tendrían temperaturas medias anuales más bajas (alrededor de 1°C) que las colindantes o circundantes (Cuadrat, 2007; Ninyerola *et al.*, 2005 citado por Badía *et al.*, 2008).

### 3.2 Vegetación

Las plantas que crecen en una determinada zona están adaptadas al clima y al suelo de ese entorno. Cada vez que se repiten unas determinadas condiciones ecológicas las mismas especies vegetales tienden a coincidir en el espacio y tiempo. A ese conjunto de especies que tienden a encontrarse se les denomina comunidad vegetal (Badía *et al.*, 2008). La coexistencia de las comunidades vegetales en un entorno seco como el del área de estudio, configura un extraordinario y diverso mosaico propio de los ambientes xerófilos.

Esta vegetación es de tipo esclerófilo (hojas coriáceas y persistentes todo el año). Las plantas superan la aridez a través de diversas estrategias; regulación

estomática, defoliación estival, disminución del tamaño foliar o reducción de los morfotipos ectomicorrícicos (Martí, 1998; Martí y Badía, 2007). Las principales comunidades vegetales de estos ambientes son:

#### **Pinar con sotobosque esclerófilo**

Esta comunidad está dominada por un estrato arbóreo de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y diversos arbustos altos. Así, entre ellos son abundantes la coscoja (*Quercus coccifera*), la cambronera (*Rhamnus lycioides*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*), junto a enebros (*Juniperus oxycedrus*) y sabinas (*Juniperus phoenicea*). En el sotobosque son frecuentes especies como el romero (*Rosmarinus officinalis*), la aliaga (*Genista scorpius*) y el lastón (*Brachypodium retusum*) y en menor medida la ginestilla borde (*Genista biflora*) y la estepa blanca (*Cistus albidus*).

#### **Matorrales boscosos de transición**

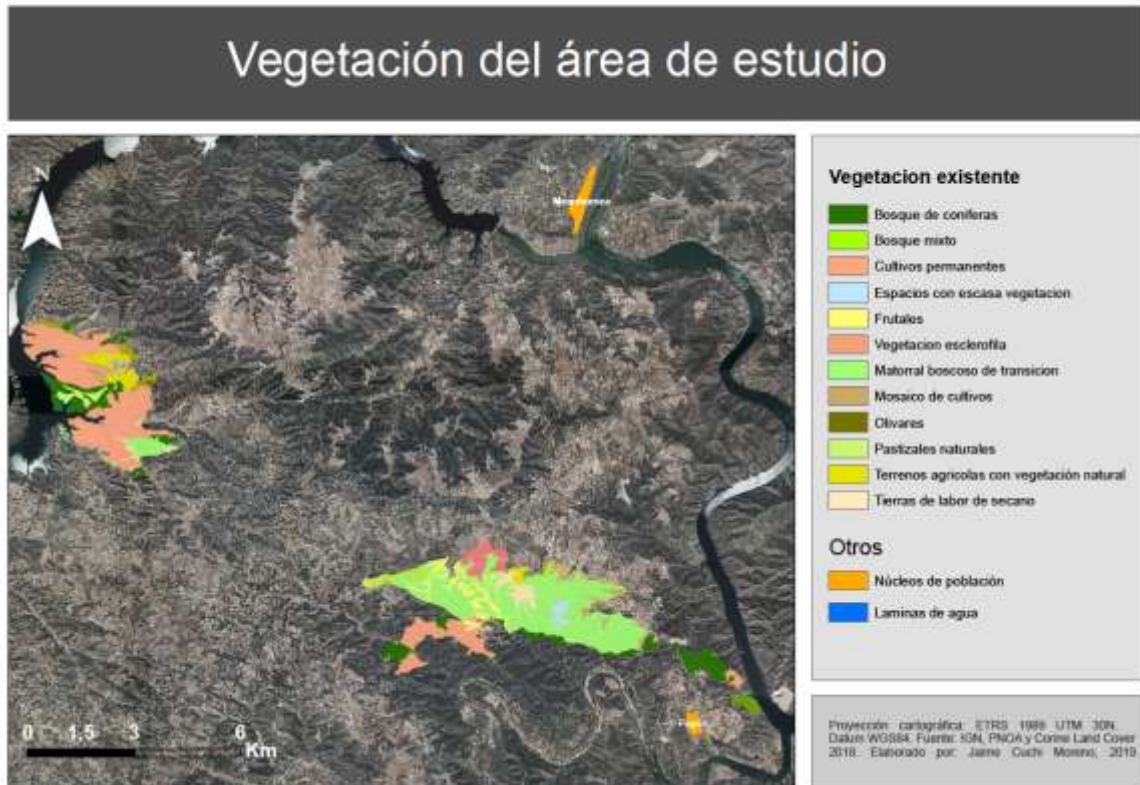
Esta formación está constituida básicamente por coscojares que en muchas zonas se ven sustituidos por matorrales bajos, de reducida densidad, ya sea por la escasa retención de agua por parte de los suelos, actividad antrópica e incluso los incendios forestales. Las especies más representativas dentro de esta comunidad vegetal son el romero (*Rosmarinus officinalis*), la aliaga (*Genista scorpius*) y el lino blanco (*Linum suffruticosum*) junto con varios heliantemos (*Rosmarino-Linetum suffruticosum*) y la ginestilla (*Genista biflora*).

#### **Herbazales-Pastizales naturales**

Las herbáceas como el lastonar y el espartal. Tras los incendios el tipo de vegetación en el área de estudio es muy diversa. Gracias a los datos del Corine Land Cover 2018 y a la consulta de la tercera edición del inventario forestal nacional, la figura 3.3 nos muestra el tipo de vegetación presente en nuestra zona de estudio actualmente.

Como podemos observar la vegetación predominante es esclerófila, que tiene gran representación en el incendio del 2003 y en el de 1979 seguida a su vez por el matorral boscoso de transición que cubre en su mayoría la superficie quemada en el año 2009. La representación marcada por el bosque de coníferas y el mixto se ve

reducida al incendio forestal que se produjo en el año 1983 y en menor medida al del 2003 y 1986. Seguidamente se aprecia la baja representación de los pastizales naturales así como las zonas con escasa vegetación que quedan relevadas a pequeñas zonas dentro de los incendios y las áreas dedicadas a la explotación agrícola.



**Figura 3.3.** Vegetación actual presente en nuestra zona de estudio. Elaboración propia a partir de los datos del Corine Land Cover 2018

### 3.3 Condiciones topo-morfológicas

En términos geomorfológicos, nuestra zona de estudio participa de los relieves típicos del área de transición entre la Zona Oriental o Catalana y la Central o Aragonesa de la Depresión del Ebro (relieves estructurales, laderas y fondos de valle). La morfología está condicionada por los tres grandes cursos fluviales que drenan el área; Cinca, Segre y Ebro, cuya confluencia recibe el nombre de Aiguabarreig. Las principales alturas las encontramos en la plataforma de Montnegre (410 m) al oeste y la de Montmeneu (495 m) al Este. Ambas enmarcan la desembocadura de los ríos Segre y Cinca en el Ebro, a menos de 75 m de altitud, la menor cota de Aragón (Badía, et al, 2008).

Las condiciones topo-morfológicas de la zona están condicionadas en gran medida por la escasez e irregularidad de las precipitaciones a lo largo del año, las temperaturas medias elevadas; la escasa densidad de la cubierta vegetal, las fuertes pendientes y la distinta resistencia de los dispositivos lito-estratigráficos formados por calizas, yesos y arcillas (Badía, et al., 2008).

## **4. Material y métodos**

### **4.1 Tratamiento y fuentes de información cartográfica**

Para el conocimiento del área de estudio y la integración en los análisis de los diferentes factores que han podido influir en el incendio se han descargado varias capas de información temática del centro de descargas del IGN y realizado diversas cartografías que se enumeran a continuación.

- Mapa de localización. A partir de imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), se pretende conocer la zona de estudio, la situación de cada uno de los incendios y el año en el que ocurrieron.
- Mapa de vegetación. Con esta cartografía se obtiene información de la vegetación actual del área de estudio. Para realizar el mapa de vegetación, se procedió a la descarga del *Corine Land Cover* del año 2018 del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional y seguimos los siguientes pasos:
  - Análisis de la leyenda y del documento resumen que la acompaña, para agrupar e identificar las categorías correspondientes al área de estudio; se identificaron los siguientes grupos: Bosques de coníferas, espacios con vegetación escasa, láminas de agua, matorral boscoso de transición, vegetación esclerófila.
- Mapas derivados del Modelo digital del terreno: pendiente y exposición topográfica y radiación solar.
  - Mapa de pendiente topográfica. La pendiente es una de las variables que puede condicionar los niveles de regenerado de las especies vegetales tras un incendio, en relación con la actividad hidrogeomorfológica. Esta se realizó siguiendo los pasos siguientes:

- A partir del Modelo Digital de Terreno (MDT\_05) con la aplicación ArcMap de Arcgis (herramienta SLOPE; expresado en grados) se extrajeron las pendientes y se reclasificaron sus valores en 5 intervalos: 0-7º, 7.01-14º, 14.01-21º, 21.01-27º, 27.01-57º.
  - Mapa de exposición topográfica: La orientación es uno de los factores topográficos que puede condicionar la regeneración de las comunidades vegetales presentes en la zona.
    - Para trabajar con ella se hicieron los cálculos oportunos a partir del MDT\_05 en el software Arcmap. Los resultados se agruparon en 4 categorías; N, S, E y W, considerando los siguientes intervalos: Norte (0-45º y 320-360º); Este (46-135º); Sur (136-224º); Oeste (225-319º).
  - Mapa de radiación solar: La radiación ofrece información sobre la cantidad de energía solar que se refleja desde la superficie de la tierra. Este dato nos permite conocer otra de las variables relativas a la topografía y, en este caso, la información de radiación solar incidente en un punto. Este dato lo podemos relacionar con el nivel de actividad fotosintética de la vegetación.
    - La realización de esta cartografía pasó a desarrollarse a través de las herramientas del Arcmap (*Area solar radiation*). En esta cartografía se consideró tanto la radiación directa como la difusa obteniendo el resultado en vatios hora por metro cuadrado (WH/m<sup>2</sup>). Posteriormente se transformó en Kilovatios hora, metro cuadrado, día (Kwh/m<sup>2</sup>/día) que es como lo expresa el atlas de radiación solar en España<sup>2</sup> y de esta manera poder comparar los resultados.

---

<sup>2</sup> El Atlas de radiación solar en España, utiliza datos del SAF (Climate Satellite Application Facilities) de clima de EUMETSAT (agencia para la explotación de los satélites meteorológicos europeos) y está regido por la agencia estatal de meteorología (AEMET).

Todas estas cartografías se realizaron con la proyección cartográfica ETRS 1989 UTM 30 N y el Datum WGS84. Durante la realización de todas éstas y la integración de las imágenes de satélite surgieron problemas con la proyección cartográfica debido a que el área de estudio se encuentra en entre los usos UTM 30 y 31. En este sentido fue necesario realizar reproyecciones con el propósito de unificarlas.

#### **4.2 Descarga de imágenes de satélite y delimitación de las zonas quemadas**

La delimitación de las áreas quemadas procede de la base de datos de incendios forestales del Gobierno de Aragón (Dirección General de Gestión Forestal) y de los productos cartográficos desarrollados en el proyecto de investigación GA-LC-042/2011 (Caixa-DGA), realizado por el grupo de investigación GEOFOREST.

Una vez que se disponía de las zonas delimitadas, se descargaron imágenes satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA). En concreto se han utilizado imágenes Sentinel 2, satélite incluido en el programa COPERNICUS (*European Space Agency-ESA*), que lleva a bordo un sensor multiespectral (*MultiSpectral Instrument- MSI*) que proporciona imágenes en 13 bandas espectrales en un rango comprendido entre los 443 nm y los 2190 nm (VNIR y SWIR), a diferente resolución espacial. Se ha utilizado el producto Level-2A que presenta un nivel de procesamiento avanzado proporcionando información de reflectividad superficial (Botton Of the Atmosphere -BOA) para realizar un seguimiento fenológico de la vegetación en los tres meses seleccionados como observamos en la tabla 4.1 representativos de la primavera, verano y otoño.

**Tabla 4.1.** Serie temporal de imágenes utilizadas. Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Espacial Europea (ESA)

<b>FECHA</b>	<b>SATELITE</b>
<b>26/05/2017</b>	Sentinel 2
<b>24/08/2017</b>	Sentinel 2
<b>13/10/2017</b>	Sentinel 2



Para el tratamiento de estas imágenes, se trabajó con Arcgis 10.5<sup>3</sup> utilizando las herramientas “Sentinel Index ToolBox”.

### **4.3 Índice de vegetación: Normalized Difference Vegetation index (NDVI)**

Los índices de vegetación se presentan como medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales, cuya función es medir vigor o biomasa vegetal. Este índice nos permite estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación, en base a la medición de la radiación que las comunidades vegetales reflejan.

Existe una variedad de índices de vegetación que han sido desarrollados para ayudar en el monitoreo de la vegetación. La mayoría de estos índices están basados en relaciones entre la vegetación y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo e infrarrojo. Pero por lo que a nosotros respecta, será el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) el que nos ayudará a realizar este estudio.

Este índice fue introducido con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo (Rouse *et al.*, 1974) y se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta. El cálculo del NDVI implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED). Y se realiza mediante de la siguiente manera:

$$\text{NDVI} = (\text{IFC} - \text{R}) / (\text{IFC} + \text{R})$$

Siendo en Sentinel 2:

- a) IFC = Banda 8a de la imagen
- b) R = Banda 4 de la imagen

Los niveles NDVI presentan un rango real desde el punto de vista matemático que va desde -1 a +1. Sin embargo, por debajo de 0.1 se consideran zonas con escasa vegetación.

---

<sup>3</sup> Se valoró en un primer momento trabajarlas desde el software estadístico SNAP, pero al final se tomó la decisión de trabajarlas con las herramientas del Arcgis.

Este procedimiento ha sido realizado en cada una de las imágenes de la serie temporal para así poder conocer la evolución del estado de la vegetación en el área estudiada y así poder corroborar si está siendo regenerada o no con el transcurso del tiempo.

#### 4.4 Tratamiento estadístico

Para la extracción de los datos y su posterior análisis se ha realizado un muestreo de 2466 píxeles repartidos de manera aleatoria dentro de los perímetros de los incendios. El número de puntos varía en función de cada incendio, ya que el muestreo de los mismos se realizó teniendo en cuenta la superficie de cada área quemada. Este número representa el porcentaje del total de la superficie quemada.

Cada punto o “RandPoint” contiene la información de todas las variables que se han ido mencionando a lo largo de los apartados anteriores. Tras diferentes análisis de los datos, consistentes básicamente en inspecciones de carácter visual, se identificaron 565 puntos erróneos (correspondientes la mayoría a vales con uso agrícola y campos de cultivo), que fueron eliminados quedando un total de 1901 datos. Y para darle mayor robustez al análisis estadístico se han realizado tres muestreos diferentes con el 1% de los datos.

En la tabla 4.2 se recoge la distribución de puntos en cada uno de los incendios en función del muestreo realizado anteriormente, siendo el incendio del año 2009 el que mayor representación de puntos tiene. A continuación, en la figura 4.1 se representa cartográficamente la distribución de estos puntos para cada una de las áreas quemadas.

**Tabla 4.2.** Distribución de puntos por incendios y su porcentaje en cada uno de ellos. Elaboración propia a partir de los datos extraídos de los análisis de varianza.

<i>Variable</i>	<i>Categories</i>	<i>Frequencies</i>	<i>%</i>
<b>RandPoint</b>	1979	194	10,205
	1983	87	4,577
	1986	24	1,262
	2003	760	39,979
	2009	836	43,977



**Figura 4.1.** Distribución de puntos por incendios. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el Arcmap.

Los análisis estadísticos aplicados para la realización de este estudio son los siguientes: ANOVA, ANCOVA, Test de *Bonferroni* y análisis de regresión.

- El ANOVA (Análisis de varianza) es un índice estadístico que sirve para comparar una variable cuantitativa en varios grupos (variable categórica). Se aplica para constatar la igualdad de medias entre dos o más poblaciones independientes con distribución normal. En este estudio lo vamos a utilizar para ver si hay diferencias estadísticas entre los valores medios de NDVI de los incendios analizados. Mediante el estadístico F, se compara la variabilidad debida a las diferencias entre subpoblaciones. De tal modo que cuanto mayor es el valor de F, mayor es la probabilidad de que haya diferencias significativas entre estas subpoblaciones, siempre y cuando se respeten unos niveles de significación estadística del 95% ( $p\text{-values} < 0,05$ ) (García Martínez, E.D., 2014).

- El ANCOVA o también denominado análisis de covarianza es un modelo lineal con una variable cuantitativa y uno o más factores. El ANCOVA es una “fusión” entre el análisis de regresión lineal y el ANOVA (Cayuela, L. 2014).
- El test de *Bonferroni* es un estadístico de comparaciones múltiples que permite comparar las medias de t niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula (H0) de igualdad de medias mediante el uso del análisis de varianza.
- El análisis de regresión permite cuantificar el grado de relación entre dos variables (Cayuela, L. 2014).

Los análisis de los datos se han realizado mediante el software XLSTAT.

## **5. Resultados y discusión**

En este apartado se presentan y discuten los principales resultados obtenidos en relación con objetivos propuestos. En el primer apartado (5.1) se analizan los niveles de regeneración vegetal, a partir de los valores promedio de NDVI, de manera global y por incendio forestal y fecha; se incluyen también, los resultados estadísticos de los análisis ANOVA para la identificación de las diferencias entre los incendios forestales. En el segundo apartado (5.2) se muestran los resultados de los análisis de las relaciones entre los niveles de regeneración y variables predictivas: morfología topográfica, tipo de vegetación afectada, iluminación, etc.

### **5.1 Caracterización de la regeneración vegetal mediante valores de NDVI**

En primer lugar, se caracterizan los diferentes incendios en función de los valores promedio de NDVI a lo largo de la serie multi-estacional analizada (tres meses). La Tabla 5.1 recoge los valores de los parámetros de centralidad y dispersión del índice NDVI correspondientes a todos los incendios. El nivel promedio es de 0,35 con una desviación estándar del 0,12, teniendo en cuenta que en zonas no quemada los valores están próximos a 0,5. Estos valores se corresponden con un nivel intermedio de

regenerado y una alta variabilidad espacial. De hecho, encontramos píxeles con valores muy bajos (0,08), propios de zonas sin recubrimiento vegetal, por debajo del umbral establecido para la identificación de las zonas sin vegetación (~0,15), y máximos de 0,81, representativos de zonas con alta actividad fotosintética.

**Tabla 5.1.** Valores promedio de parámetros de centralidad y dispersión del índice NDVI para cada incendio. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en los análisis de varianza.

<b>Incendio</b>	<b>n</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx.</b>	<b>Med</b>	<b>Des. Std.</b>
<b>1979</b>	194	0.18	0.71	0.40	0.12
<b>1983</b>	87	0.21	0.71	0.42	0.12
<b>1986</b>	24	0.25	0.78	0.53	0.13
<b>2003</b>	760	0.09	0.81	0.32	0.12
<b>2009</b>	836	0.08	0.79	0.34	0.12
<b>Promedio</b>	1901	0,08	0,81	0,35	0,12

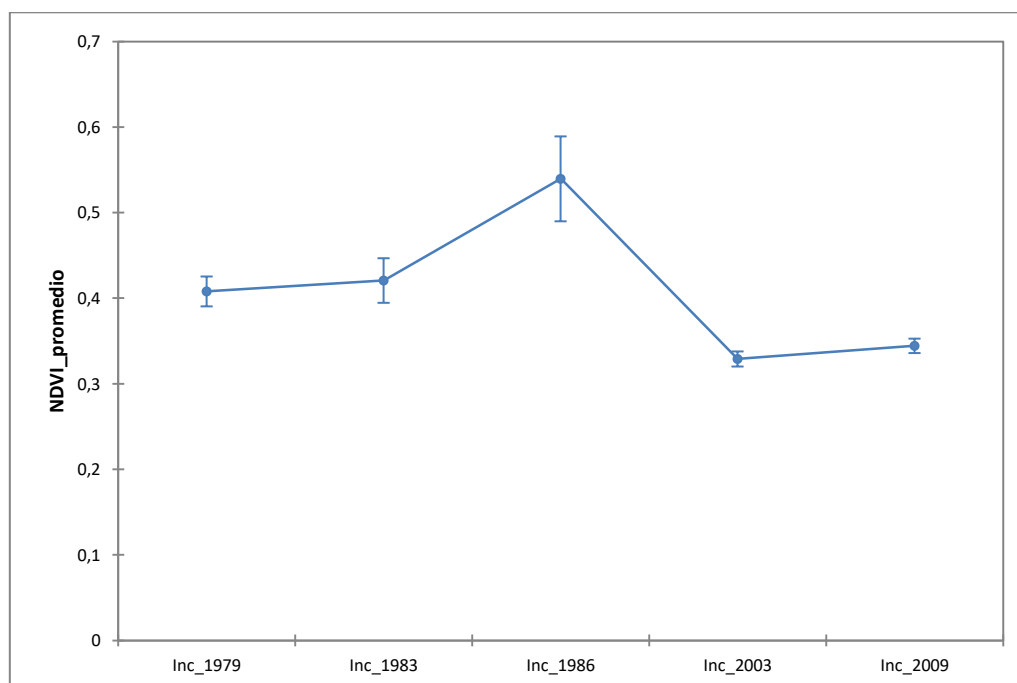
La Tabla 5.2 recoge los resultados del análisis de varianza aplicado. Como se puede apreciar existen diferencias significativas entre los incendios analizados ( $F=37,56$ ;  $p\text{-values} < 0,05$ ). De manera específica, la tabla 5.3 y la figura 5.1 nos muestran, con un intervalo de confianza del 95%, las comparaciones por pares aplicando el test de *Bonferroni*. Se puede ver que existen diferencias entre todos los incendios exceptuando entre los incendios de 2003 y 2009 y entre el par 1979 y 1983.

**Tabla 5.2.** Resultados del análisis de varianza aplicado. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Sum of squares</b>	<b>Mean squares</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Model</b>	4	2,30	0,57	37,56	< 0,0001
<b>Error</b>	1896	29,14	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	31,45			

**Tabla 5.3.** Comparación por pares mediante el test de Bonferroni. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Contrast</i>	<i>Difference</i>	<i>Standardized difference</i>	<i>Critical value</i>	<i>Pr &gt; Diff</i>	<i>Significant</i>
<b>2003 vs 1986</b>	-0,21	-8,19	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1983</b>	-0,09	-6,53	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1979</b>	-0,07	-7,91	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 2009</b>	<b>-0,01</b>	<b>-2,46</b>	<b>2,810</b>	<b>0,014</b>	<b>No</b>
<b>2009 vs 1986</b>	-0,19	-7,60	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1983</b>	-0,07	-5,46	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1979</b>	-0,06	-6,43	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1986</b>	-0,13	-4,90	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1983</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,79</b>	<b>2,810</b>	<b>0,425</b>	<b>No</b>
<b>1983 vs 1986</b>	-0,11	-4,15	2,810	< 0,0001	Yes



**Figura 5.1.** Datos medios e intervalos de confianza al 95%. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis de la varianza

Como observamos en la figura 5.1 y cómo podemos corroborar con la tabla 5.1, el incendio del año 1986 es el que mejor ha regenerado seguido a su vez por el del año 1983 y 1979. Esto puede estar causado por una mejor exposición y pendiente que el resto o por el tipo de vegetación que ha regenerado en esos incendios. Por otra parte los incendios correspondientes al año 2003 y 2009, que apenas presentan diferencias entre sí, son los que peor han evolucionado en materia de regeneración vegetal. Hecho que podría deberse al menor intervalo de tiempo que ha pasado desde la fecha de su quema.

La tabla 5.4 nos muestra para los tres meses en los que basamos el estudio, los valores de los parámetros de centralidad y dispersión del índice NDVI. Cabe destacar que los valores más altos en promedio de NDVI aparecen en el mes de octubre (0,40) seguido de mayo (0,34) y de agosto (0,30). Siguiendo este mismo orden el resto de las medidas analizadas exceptuando los mínimos, en los que los valores de mayo son los mayores 0,06 seguidos de agosto 0,05 y octubre 0,01.

**Tabla 5.4.** Medidas de centralidad y dispersión para cada imagen de la serie temporal. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico<sup>4</sup>

<i>Variable</i>	<i>Observations</i>	<i>Obs. with missing data</i>	<i>Obs. without missing data</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. deviation</i>
<b>NDVI_MY17</b>	1901	0	1901	0,06	0,89	0,34	0,13
<b>NDVI_AG17</b>	1901	0	1901	0,05	0,85	0,30	0,11
<b>NDVI_OC17</b>	1901	0	1901	0,01	0,96	0,40	0,15

A continuación se detalla para cada mes los resultados del análisis de la varianza del índice NDVI promedio de los 3 incendios, analizando así las diferencias entre cada uno de ellos.

<sup>4</sup> Cabe destacar que dado los altos valores de los máximos en comparación con las medias, esos valores superiores a 0.85 se relacionan con ubicaciones específicas con escasa representación espacial.

*Análisis de la Varianza en Mayo del 2017*

La tabla 5.5 es la salida básica de un análisis ANOVA, a través de los datos que muestra podemos ver las diferencias estadísticas ( $F=40,48$ ;  $p\text{-values}<0,05$ ) en esta época del año. Tras haber demostrado que existen tales diferencias, si aplicamos el test de *Bonferroni*; la tabla 5.6 recoge la comparación por pares de incendios concluyendo con un intervalo de confianza del 95% que todos los incendios presentan diferencias entre sí. Exceptuando la relación 1979 -1983.

La figura 5.2 representa mediante un gráfico de líneas los datos medios e intervalos de confianza al 95% de cada uno de los incendios para el mes de mayo de 2017, apreciando un patrón que parece repetirse al de la figura 5.1

**Tabla 5.5.** Resultados del análisis ANOVA en el mes de mayo de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

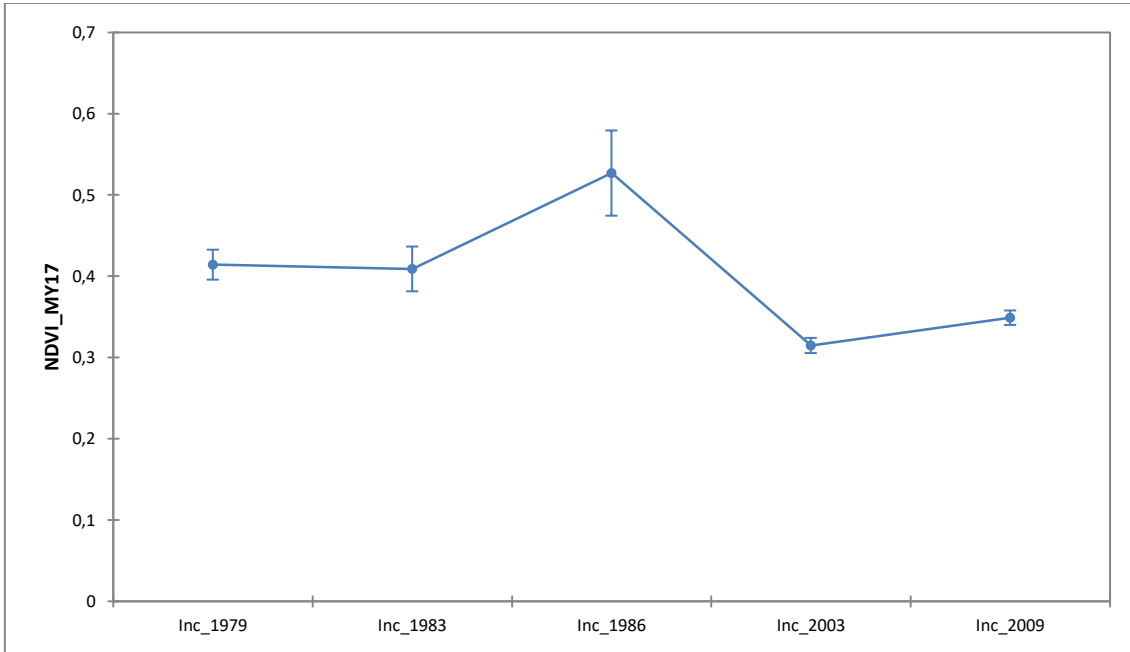
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	4	2,77	0,69	40,48	< 0,0001
<b>Error</b>	1896	32,53	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	35,31			

**Tabla 5.6.** Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en mayo de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados con el software estadístico.

<i>Contrast</i>	<i>Difference</i>	<i>Standardized difference</i>	<i>Critical value</i>	<i>Pr &gt; Diff</i>	<i>Significant</i>
<b>2003 vs 1986</b>	-0,21	-7,81	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1979</b>	-0,09	-9,43	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1983</b>	-0,09	-6,35	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 2009</b>	-0,03	-5,20	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1986</b>	-0,17	-6,56	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1979</b>	-0,06	-6,25	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1983</b>	-0,06	-4,06	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1983 vs 1986</b>	-0,11	-3,90	2,810	< 0,0001	Yes



<b>1983 vs 1979</b>	-0,00	-0,31	2,810	0,756	No
<b>1979 vs 1986</b>	-0,11	-3,97	2,810	< 0,0001	Yes
<b>Modified significance level:</b>			0,005		



**Figura 5.2.** Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de mayo de 2017. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis de la varianza

*Análisis de la Varianza en Agosto del 2017*

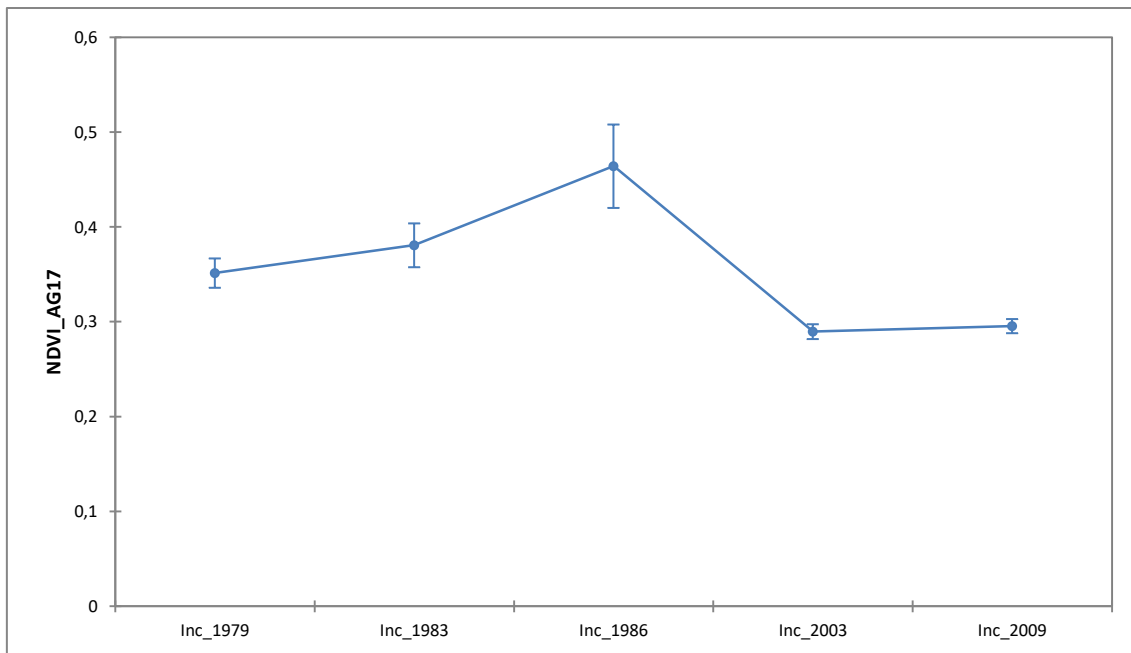
En el mes de agosto también se han identificado diferencias estadísticas. La tabla 5.8 y su correspondiente figura 5.3, nos muestran con un intervalo de confianza del 95% las diferencias estadísticas entre todos los incendios exceptuando el par 1983 y 1979 y 2003 vs 2009. Ambas diferencias se pueden apreciar también en el análisis de manera global que recoge la tabla 5.3 y la figura 5.1.

**Tabla 5.7.** Resultados del análisis ANOVA en el mes de agosto de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	4	1,77	0,44	36,81	< 0,0001
<b>Error</b>	1896	22,89	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	24,66			

**Tabla 5.8.** Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en agosto de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Contrast</i>	<i>Difference</i>	<i>Standardized difference</i>	<i>Critical value</i>	<i>Pr &gt; Diff</i>	<i>Significant</i>
<b>2003 vs 1986</b>	-0,17	-7,65	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1983</b>	-0,09	-7,32	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1979</b>	-0,06	-6,98	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 2009</b>	-0,00	-1,05	2,810	0,291	No
<b>2009 vs 1986</b>	-0,16	-7,41	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1983</b>	-0,08	-6,88	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1979</b>	-0,05	-6,38	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1986</b>	-0,11	-4,74	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1983</b>	-0,02	-2,06	2,810	0,039	No
<b>1983 vs 1986</b>	-0,08	-3,29	2,810	0,001	Yes
<b>Modified significance level:</b>				0,005	



**Figura 5.3.** Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de agosto de 2017. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis de la varianza

#### *Análisis de la Varianza en Octubre del 2017*

Por último la tabla 5.9, al igual que las anteriores descritas en este apartado, caracteriza cómo son las diferencias entre los incendios en el mes de octubre de 2017.

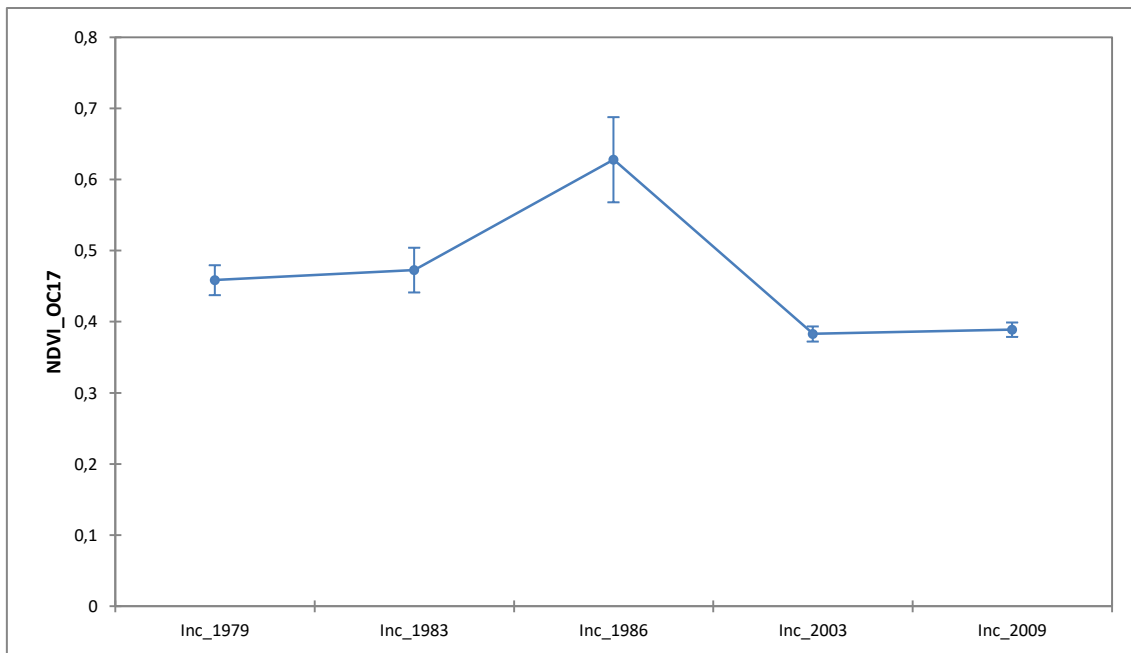
A su vez, la figura 5.4 representa los datos medios e intervalos al 95% en el mes de octubre del 2017. Este gráfico muestra de nuevo lo que se viene anunciando a lo largo de este apartado; el incendio de 1986 es el que mejor regenera seguido a su vez por el del 1983 y 1979, con apenas diferencias entre sus valores de NDVI al igual que los incendios respectivos a la primera década de los años 2000.

**Tabla 5.9.** Resultados del análisis ANOVA aplicado para el mes de octubre de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	4	2,69	0,67	30,16	< 0,0001
<b>Error</b>	1896	42,38	0,02		
<b>Corrected Total</b>	1900	45,08			

**Tabla 5.10.** Comparación por pares mediante el test de Bonferroni en octubre de 2017. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Contrast</i>	<i>Difference</i>	<i>Standardized difference</i>	<i>Critical value</i>	<i>Pr &gt; Diff</i>	<i>Significant</i>
<b>2003 vs 1986</b>	-0,24	-7,90	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1983</b>	-0,09	-5,30	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 1979</b>	-0,07	-6,29	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2003 vs 2009</b>	-0,00	-0,80	2,810	0,422	No
<b>2009 vs 1986</b>	-0,23	-7,72	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1983</b>	-0,08	-4,97	2,810	< 0,0001	Yes
<b>2009 vs 1979</b>	-0,07	-5,84	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1986</b>	-0,16	-5,23	2,810	< 0,0001	Yes
<b>1979 vs 1983</b>	-0,01	-0,73	2,810	0,463	No
<b>1983 vs 1986</b>	-0,15	-4,50	2,810	< 0,0001	Yes
<b>Modified significance level:</b>			0,005		



**Figura 5.4.** Datos medios e intervalos de confianza al 95% en el mes de octubre de 2017. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis de la varianza

Por lo tanto, independiente de la estación, se observa el mismo patrón en los tres meses que en los datos promedio; mejor regenerado en el año 1986. Esta tendencia podría venir dada por la distribución de las especies vegetales a lo largo de los diferentes incendios, su exposición y pendiente topográfica y su radiación. Para dar respuesta a este tipo de evolución, el apartado 5.2 tratará la relación entre los niveles de regeneración y las variables predictivas.

## 5.2 Relaciones entre los niveles de regeneración y variables predictivas

### 5.2.1 La influencia de la morfología topográfica sobre la regeneración vegetal

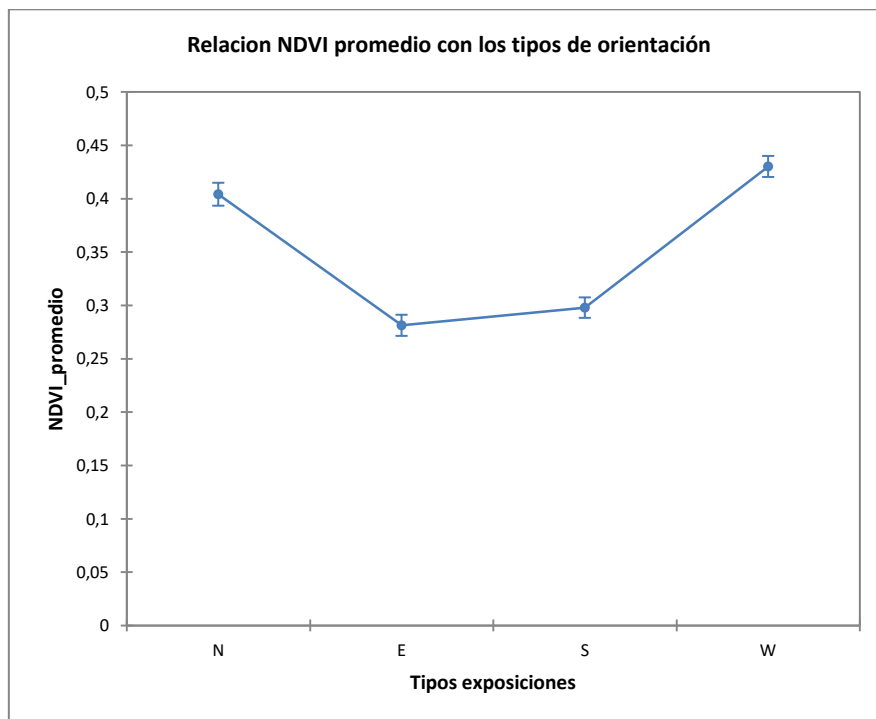
#### *Exposición topográfica*

La tabla 5.11 nos muestra las diferencias significativas entre las cuatro exposiciones topográficas de los incendios analizados ( $F= 217,11$ ;  $p\text{-values} < 0,05$ ) mientras, la figura 5.5 representa gráficamente la distribución de los valores medios de NDVI en los 5 incendios analizados y su respectiva representación junto a la variable exposición topográfica y la figura 5.6 la representación cartográfica de dichas exposiciones del área de estudio. Como se puede apreciar en las orientaciones N y W

encontramos los valores más elevados de NDVI (~ 0,42). Por otro lado, en las orientaciones S y E se identifican los valores más bajos; en este caso los valores promedio de NDVI se sitúan en torno a 0,28.

**Tabla 5.11.** Resultados del análisis ANOVA para las exposiciones topográficas de los incendios forestales. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	3	8,03	2,67	217,11	< 0,0001
<b>Error</b>	1897	23,41	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	31,45			



**Figura 5.5.** Relación de los valores del índice espectral NDVI y las exposiciones topográficas de los incendios. Elaboración propia a partir de los análisis de la varianza.



**Figura 5.6.** Exposiciones topográficas de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en Arcmap.

En relación con el análisis por pares de tipos de exposición, la tabla 5.12 recoge las diferencias entre tipos de orientación y su identificación en función del grado de significación estadística. En este sentido, se comprueba que existen diferencias estadísticamente significativas entre todos los pares excepto entre las orientaciones S y E.

Con estos cálculos podríamos deducir que las comunidades vegetales que regeneran en estas orientaciones (N y NW) presentan un mayor desarrollo que aquellas que se encuentren en las orientaciones S-SE y, por consiguiente, unos valores más altos de NDVI.

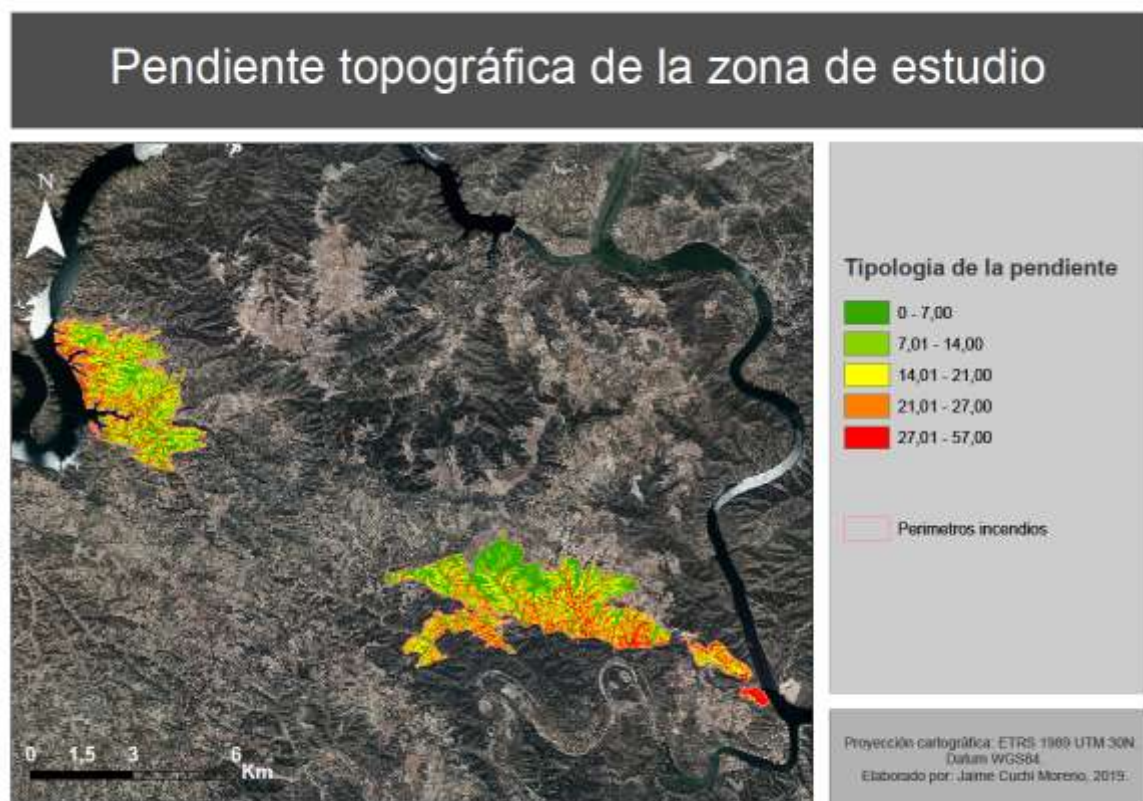
**Tabla 5.12.** Comparación por pares mediante el test de Bonferroni para cada exposición. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Contrast</i>	<i>Difference</i>	<i>Standardized difference</i>	<i>Critical value</i>	<i>Pr &gt; Diff</i>	<i>Significant</i>
E vs W	-0,14	-20,90	2,641	< 0,0001	Yes

<b>E vs N</b>	-0,12	-16,48	2,641	< 0,0001	Yes
<b>E vs S</b>	-0,01	-2,35	2,641	0,018	No
<b>S vs W</b>	-0,13	-18,87	2,641	< 0,0001	Yes
<b>S vs N</b>	-0,10	-14,46	2,641	< 0,0001	Yes
<b>N vs W</b>	-0,02	-3,50	2,641	0,000	Yes
<b>Modified significance level:</b>			0,008		

### *Pendiente topográfica*

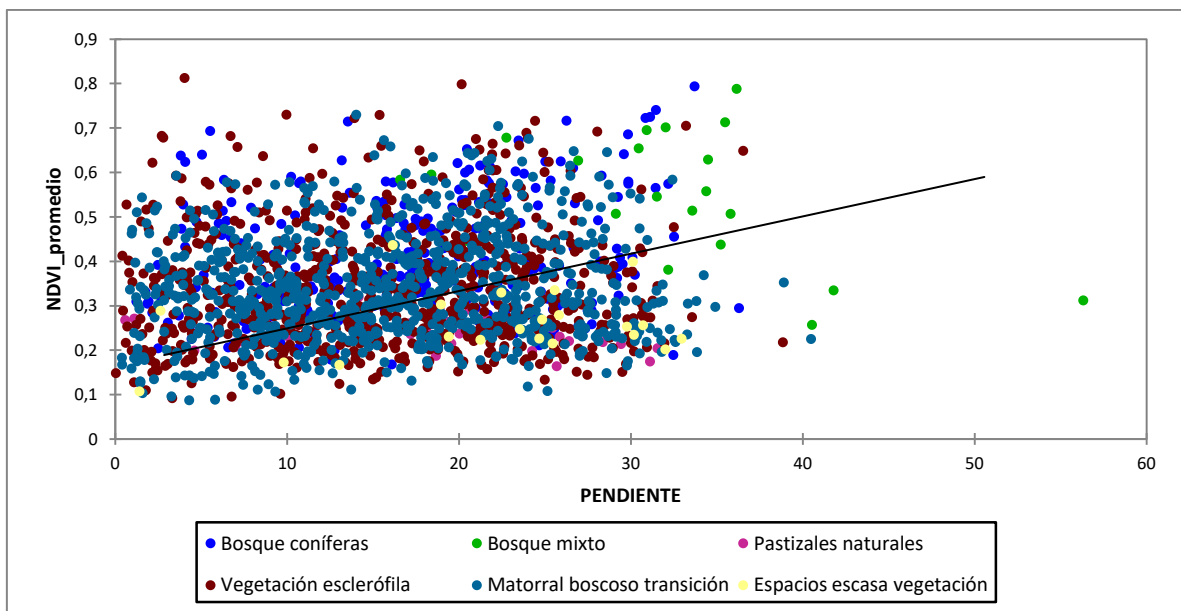
Junto a las características de la orientación, otra variable predictiva de la morfología topográfica que puede explicar la distribución espacial de los valores de regenerado vegetal es la pendiente topográfica (Figura 5.7).



**Figura 5.7.** Pendiente topográfica del área de estudio. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en Arcmap.



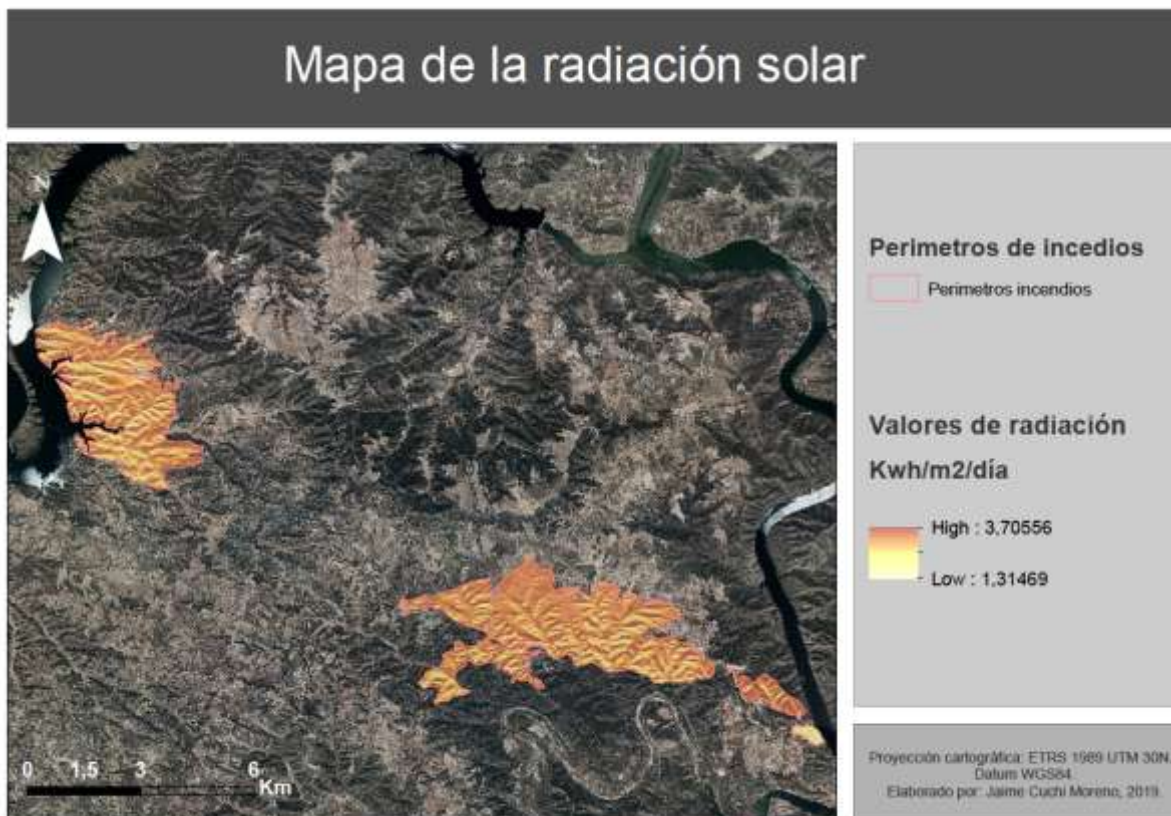
En el diagrama de dispersión de la figura 5.8 se muestra como se relacionan los valores de la pendiente con los valores promedio de NDVI. Se trata de una correlación lineal positiva débil e incluso sin relación ya que la mayoría de nuestros puntos se alejan de la línea de tendencia. Aun así podemos confirmar que los valores de NDVI no muestran gran relación con la pendiente ya que no hay un incremento de los mismos a medida que incrementan los valores de la variable pendiente y que la mayoría de comunidades vegetales ha presentado su regenerado entre pendientes de 0 a 30°, exceptuando algunas comunidades vegetales como son los bosques de coníferas y mixtos que presenta unos altos niveles de actividad fotosintética y por consiguiente unos de pendiente; que tendrán que ver con el incendio de 1986.



**Figura 5.8.** Scatter plot de la relación entre la pendiente topográfica, la vegetación y los valores medios de NDVI. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el análisis de la varianza.

### *Radiación solar*

La última de las variables predictivas a la hora de estudiar el regenerado vegetal es la radiación. La figura 5.9 nos muestra la representación cartográfica de la misma expresada en Kwh/m2/día que como se ha comentado con anterioridad es la expresión que aparece en el atlas de radiación solar en España. Si observamos el mismo, se puede apreciar como los valores de radiación presentes en el valle del Ebro, son muy similares a los que se extraen y representan en nuestra cartografía. (~4,00)



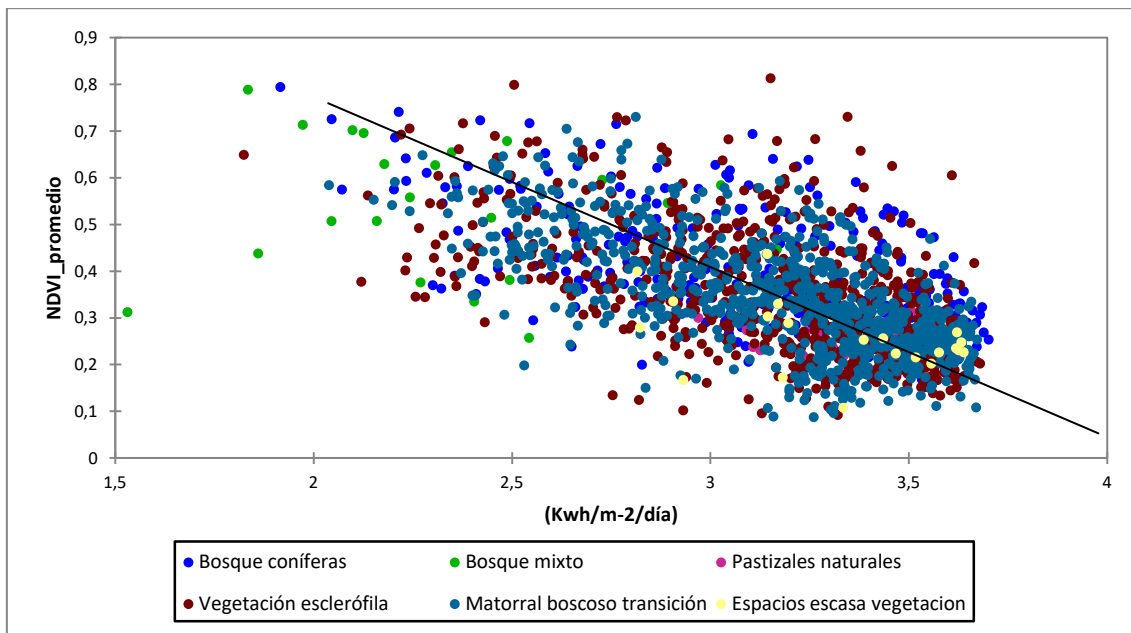
**Figura 5.9.** Radiación solar del área de estudio. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en Arcmap.

En función de la radiación solar que recibe nuestra zona de estudio, la figura 5.10 representa un *Scatter plot* entre los valores medios de NDVI, la radiación y los tipos de vegetación. Como se observa, este grafico de dispersión tiene una correlación negativa, y a mayor radiación, menor es el índice de vegetación.

La mayoría de las comunidades vegetales se concentran entre unas radiaciones de 3 a 3,5 Kwh/m<sup>2</sup>/día (matorral boscoso de transición, vegetación esclerófila, pastizales naturales...) mientras que el resto de comunidades como pueden ser los bosques apreciamos que reciben una radiación menor pero que por el contrario presentan valores más altos de vigor vegetal. Esto puede ser debido al tipo de orientación al que están expuestas cada una de las comunidades o la pendiente de las mismas.

Como ejemplo, la figura 5.1 nos mostraba las diferencias estadísticas y la comparación mediante el método de *Bonferroni* de los diferentes incendios, dando conclusión a que el incendio de 1986 era el que mejor había regenerado dado a sus

altos valores de vigor vegetal. Ahora, si nos fijamos en la figura 5.9 el perímetro que engloba ese incendio, tiene unos niveles de radiación muy bajos en comparación con el resto, lo que se traduce en un mejor regenerado y en concreto de los bosques de coníferas y mixtos.



**Figura 5.10.** Scatter plot de la relación entre la radiación solar, la vegetación y los valores medios de NDVI. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en los análisis de varianza.

### 5.2.2 La influencia del tipo de vegetación

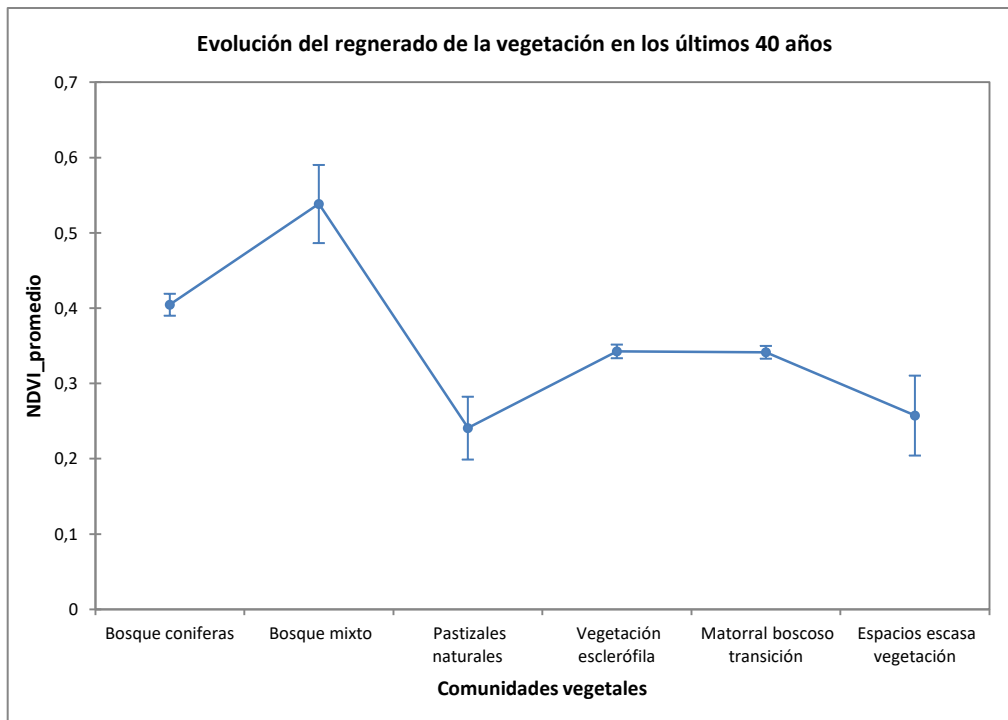
En el ámbito mediterráneo, numerosos estudios afirman que cada formación, dentro de un tipo dominante de vegetación tiene frecuentemente una respuesta similar frente al fuego. Esto conlleva que la evolución posterior a un incendio, en términos de regeneración vegetal, pueda predecirse como consecuencia de la estrategias reproductivas de las especies vegetales (Pausas y Vallejo, 2008).

La tabla 5.13 recoge el análisis de la varianza aplicado entre los niveles medios del NDVI y las comunidades vegetales de nuestra zona de estudio. La figura 5.11 nos muestra los valores medios de NDVI para cada comunidad vegetal en el año 2017; el Bosque mixto es el que presenta los valores de NDVI más altos (~ 0,53) seguido, a su vez, por el Bosque de coníferas (~ 0,40). Por otra parte, la vegetación esclerófila, el

matorral boscoso de transición y los espacios con escasa vegetación, tienen una magnitud similar en cuanto a valores de NDVI (~ 0,25). Son comunidades vegetales, que tienen poca representación en nuestro estudio, como es el caso de los espacios con escasa vegetación, que solo se encuentran en una pequeña parte de los perímetros del incendio, o que han regenerado peor debido a las condiciones climáticas presentes en nuestra zona o al corto espacio de tiempo que ha transcurrido desde el incendio hasta la actualidad (como es el caso de los incendios del 2003 y 2009, donde mayor representación tienen esos tipos de vegetación). (Véase figura 3.3).

**Tabla 5.13.** Resultados del análisis ANOVA aplicado para las comunidades vegetales. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	5	2,29	0,45	29,86	< 0,0001
<b>Error</b>	1895	29,15	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	31,45			



**Figura 5.11.** Evolución del regenerado vegetal en los últimos 40 años. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en los análisis de varianza.

### 5.2.3 Interactuaciones entre las variables explicativas

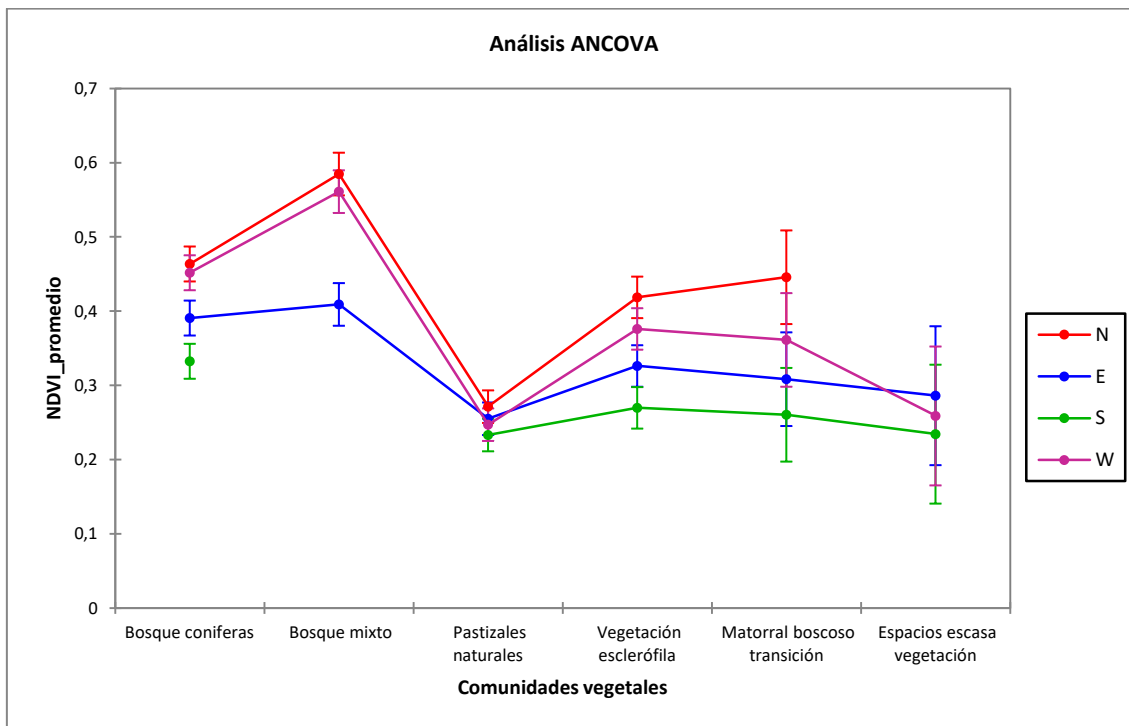
A través de los análisis ANCOVA se analizan las interacciones entre la variable orientación topográfica y el tipo de vegetación, y entre la variable años de los incendios y vegetación dando lugar a la tabla 5.14 y 5.15 respectivamente.

Como se ha argumentado anteriormente la exposición N es la que presenta valores de NDVI más altos seguida a su vez de la exposición W (Ver figura 5.12). Las comunidades vegetales que mejor han regenerado en dichas orientaciones son el Bosque mixto compuesto por pino carrasco, coscojares, sabinas... y el matorral boscoso de transición, aquellos bosques de coníferas y de matorral esclerófilo, degenerado que está evolucionando tras sufrir las consecuencias de estos incendios. Por otra parte se puede observar como en la misma orientación los pastizales naturales son los que peor han regenerado.

Tras realizar el análisis de varianza, la tabla 5.14 recoge las diferencias estadísticas entre los tipos de vegetación, en NDVI y su orientación. Siendo  $F=42,04$ :  $p\text{-value}<0,05$ .

**Tabla 5.14.** Resultados del análisis ANCOVA aplicado. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	21	10,05	0,47	42,04	< 0,0001
<b>Error</b>	1879	21,39	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	31,45			



**Figura 5.12.** Valores medios e intervalos de confianza al 95%, correspondientes a las comunidades vegetales y su NDVI respecto a la exposición topográfica. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en los análisis de varianza.

**Tabla 5.15.** Resultados del análisis ANCOVA aplicado. Elaboración propia a partir de los cálculos realizados en el software estadístico.

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>Mean squares</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
<b>Model</b>	14	3,80	0,27	18,51	< 0,0001
<b>Error</b>	1886	27,64	0,01		
<b>Corrected Total</b>	1900	31,45			

La figura 5.13 y la tabla 5.15 representan las interacciones que se producen entre el tipo de vegetación regenerada y los incendios.

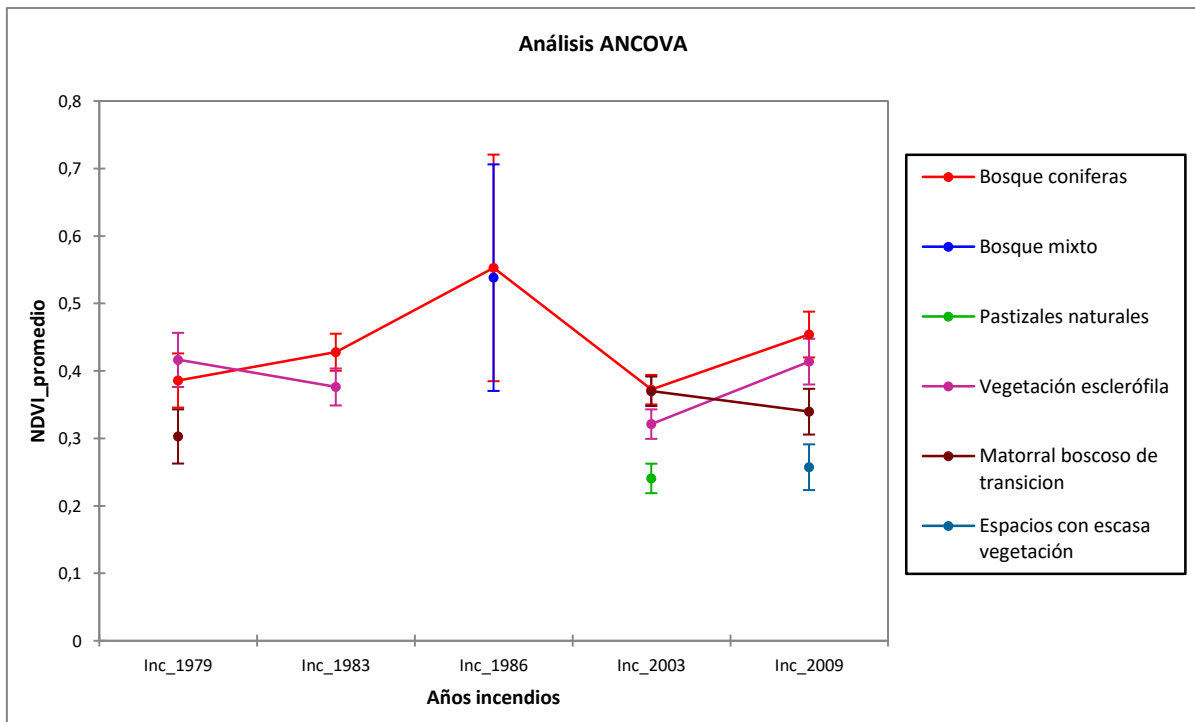
En el incendio de 1979 aparece representado por el Bosque de coníferas , vegetación esclerófila (0,38 – 0,45) y matorral boscoso de transición con unos valores

de regenerado de 0,25 – 0,32. El incendio de 1983 recoge un tipo menos de vegetación en comparación con el anterior. En este caso el bosque de coníferas ha regenerado un poco mejor que en el año 1979 alcanzando unos niveles de NDVI de aproximadamente 0,45 mientras que la vegetación esclerófila ha tenido menor papel de regenerado descendiendo a unos niveles de NDVI de aproximadamente 0,35 – 0,40. En el incendio de 1986, solo aparecen representadas dos comunidades vegetales; el bosque de coníferas con unos valores muy dispares de NDVI (entre ~0,35 y 0,72) y el bosque mixto con unos valores muy similares (0,32 – 0,70).

Al estudiar el incendio del 2003 se aprecia los tres tipos de vegetación presentes en él y, valores de regenerado. Siendo el bosque de coníferas, junto al matorral boscoso de transición los que presentan valores más altos de NDVI (~0,29 – 0,32), y los pastizales naturales, con muy poca representación, los que presentan los valores más bajos de NDVI (~0,20 – 0,25).

Por último el incendio de 2009 presenta cuatro de los seis tipos de comunidades vegetales analizadas en este estudio. En este caso sigue siendo, al igual que en el resto de incendios, el bosque de coníferas el que mayor representación espacial tiene, mostrando además los valores más elevados (~0,44) seguido a su vez por la vegetación esclerófila (~0,41), el matorral boscoso de transición (~0,33) y los espacios con escasa vegetación que presentan unos valores de (~ 0,25).





**Figura 5.13.** Valores medios e intervalos de confianza al 95%, correspondientes al tipo de vegetación respecto a cada incendio forestal. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en los análisis de varianza.

En términos generales, los bosques de coníferas aparecen representado en todos los incendios pero es en el ocurrido en 1986 en donde se observan los valores de NDVI más elevados ( $\sim 0,5$ ). Los espacios con escasa vegetación y los pastizales naturales tan solo aparecen representados en los incendios más cercanos en el tiempo (2003 y 2009). Mientras, el bosque mixto, se encuentra en el incendio de 1986 con valores altos de NDVI pero con una gran variabilidad. La vegetación esclerófila presenta guarismos intermedios ( $\sim 0,4$ ) independientemente del incendio aunque se aparece representado en el incendio de 1986. Por tanto, el incendio de 1986 presenta las condiciones mejores de regeneración en términos de NDVI protagonizado por las coníferas y el bosque mixto; sin embargo, son estas formaciones vegetales las que mayor variabilidad presentan.

## 6. Plan de medidas para minimizar el impacto de los incendios forestales y facilitar su regeneración

En este marco es en el que cobra sentido el incendio forestal y la revegetación, conocer de antemano los impactos negativos que pueden producirse como consecuencia de este fenómeno e intentar paliarlos, puede ser un beneficio de

cara al medio ambiente. Hay que partir de la premisa de que siempre es mejor no producir un impacto que tener que corregirlo, pero por desgracia en este aspecto como es el del incendio forestal, es complicado por no decir imposible paliar los efectos y evitar que se produzcan. Para ello podemos sugerir una serie de medidas de minimización de impactos que podrían llevar a cabo las administraciones públicas y así intentar, de alguna forma, evitar que los impactos sean de mayor magnitud:

- Medidas preventivas o protectoras: evitan la aparición de un efecto ambiental negativo.
- Medidas correctoras: aquellas que al modificar las acciones o los efectos consiguen corregir o atenuar un impacto recuperable.
- Medidas compensatorias: ni evitan, ni atenúan, ni anulan la aparición de un efecto negativo, pero contrarrestan la alteración del factor al realizar acciones con efectos positivos que compensan los impactos negativos que no es posible corregir y disminuyen el impacto final.

### 6.1 Fichas de medidas de minimización

Para intentar aplicar esta serie de medidas se proponen unas fichas de minimización de impactos que recogen el tipo de impacto, la acción en la que se enmarca, el factor afectado, su descripción, etc.

**IMPACTO:** Destrucción de la cubierta vegetal

**Acción:** Incendio forestal

**Factor afectado:** Suelo y vegetación

**Fase:** Durante el fuego

**Descripción del Impacto:** Destrucción de zonas con cubierta vegetal debido a la magnitud del incendio

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** Plan de revegetación para las medidas descubiertas

**IMPACTO:** Pérdida de zonas de cultivo

**Acción:** Incendio forestal

**Factor afectado:** tierra-suelo

**Fase:** Durante el fuego

**Descripción del Impacto:** Expansión del fuego hacia zonas de cultivo. Cosechas perdidas...

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** Compensar económicamente a los agricultores afectados por el incendio

**IMPACTO:** Emisiones de partículas y gases a la atmósfera, además de la contaminación del suelo.

**Acción:** Incendio forestal y los gases consecuentes del mismo

**Factor afectado:** Atmósfera y suelo

**Fase:** Durante el incendio

**Descripción del Impacto:** Emisiones de gases contaminantes a la atmósfera derivados de los gases producidos en el incendio, además de las partículas de cenizas y carbón

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** Mojar las zonas que se han quemado para compactar la tierra y evitar el desplazamiento de esas cenizas y partículas de carbón en los días ventosos

**IMPACTO:** Aumento del riesgo de erosión

**Acción:** Lluvias torrenciales

**Factor afectado:** tierra-suelo

**Fase:** Post-incendio

**Descripción del Impacto:** Aumento del riesgo de erosión al quedarse el suelo sin recubrimiento vegetal

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** Acopio y reposición de la tierra vegetal, construcción de diques, siembra de herbáceas, aplicación de cubiertas y acolchados...

**IMPACTO:** Pérdida de la calidad paisajística del entorno

**Acción:** Incendio forestal

**Factor afectado:** Entorno paisajístico

**Fase:** Post-incendio

**Descripción del Impacto:** Destrucción de zonas con alto valor paisajístico

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** Plan de revegetación y recuperación del entorno paisajístico de una zona

**IMPACTO:** Destrucción de los ecosistemas de la fauna

**Acción:** Todas las fases del fuego

**Factor afectado:** Fauna.

**Fase:** Todo el incendio

**Descripción del Impacto:** Al producirse el incendio la fauna se ve obligada a escapar y en ciertas ocasiones varias especies no lo consiguen. Además los ecosistemas de las mismas se ven destruidos teniendo estas que vivir en otro

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** A través de la revegetación antrópica intentar adecuar la zona con comida, balsas de agua...

**IMPACTO:** Afección a las especies de fauna protegidas, en especial al águila perdicera (*Aquila fasciata*)

**Acción:** Incendio forestal

**Factor afectado:** Fauna.

**Fase:** Durante y post-incendio

**Descripción del Impacto:** La alteración de su hábitat provocado por el fuego y la presencia de elementos ajenos a su entorno hace que esta especie vea disminuida su calidad de vida

**Medidas protectoras y correctoras a adoptar:** aplicar un régimen de protección para estas especies y concienciar a la población con el tipo de especies protegidas de la zona

## 7. Conclusión

La metodología propuesta en este trabajo basada en la utilización de imágenes satélite procedentes del Sentinel-2 y su relación con las diferentes variables predictivas, supone una primera aproximación al estudio de la regeneración vegetal tras un incendio. En concreto estas imágenes constituyen una fuente de datos muy útil para el análisis del regenerado tras un incendio forestal al proporcionar datos de libre distribución, así como el significativo incremento en resolución espacial, espectral y temporal. La mejora de la resolución espacial de Sentinel-2 en comparación con la de otros satélites como puede ser Landsat, nos proporciona una mejor calidad del análisis, sobre todo en aquellos incendios de pequeña envergadura (como son los referentes a nuestra área de estudio) ya que la información a detalle es más precisa.

Tras analizar los resultados obtenidos, los datos obtenidos de las interacciones entre las diferentes variables predictivas, nos permiten concluir con una cuestión tratábamos en el apartado 5.1; el incendio de 1986 es el que mejor ha regenerado y esto es debido al tipo de exposición (N) en el que se encuentra y a la representación que tienen las comunidades vegetales presentes en esa zona (El bosque de coníferas y mixto). Por lo tanto podemos aceptar nuestras dos hipótesis; *“Los índices de vegetación a partir de imágenes Sentinel-2 constituyen una herramienta eficaz para la evaluación y seguimiento de las zonas quemadas en ambientes semiáridos”* y *“La exposición topográfica en los ambientes semiáridos es uno de los factores que controla la regeneración vegetal tras el fuego”*.

Las variables topográficas nos muestran su fiabilidad a la hora de explicar el regenerado en ambientes semiáridos como en el que trabajamos. La exposición topográfica recoge que aquellas orientaciones N son las que mejor van a regenerar en el transcurso de los años, seguidas de las W. Esta regeneración no solo está marcada por el tipo de exposición sino que también tiene que ver con el papel que juega la pendiente y radiación en estos ambientes. Como hemos podido ver, aquellas zonas que presentan una radiación menor son las que mejor han regenerado en comparación con las que presentaban unos niveles más altos de Kwh/m<sup>2</sup>/día. Mientras que los valores de la pendiente topográfica varían entre 0 y 30 °, pendientes

que favorecen un mejor regenerado que otras mayores, exceptuando casos aislados. Por lo tanto tras el transcurso de estos últimos 40 años las comunidades vegetales que mejor han ido regenerando en los diferentes incendios son los bosques de coníferas y mixtos, compuestos principalmente por pino carrasco y sotobosque esclerófilo (aliaga, romero, coscoja...), seguido a su vez de la vegetación esclerófila y el matorral boscoso de transición y por último los pastizales naturales.

Por lo tanto, “El fuego siempre estará presente en los ecosistemas mediterráneos, por ello se debe aplicar aquello que ya descubrieron nuestros antepasados para que la convivencia con el fuego no sea traumática. Es indispensable una correcta gestión del territorio que posibilite la disminución de la biomasa forestal y que aumente la discontinuidad en el territorio forestal; esto es, un aumento de la diversidad paisajística” (Aznar Javier, M., 2013).

## 8. Bibliografía

Aznar JM. (2013). El régimen de incendios actual y la influencia humana. *Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED)*. Ficha técnica FGR2013/10.

Badía, D., Ibarra, P., Marti, C. Longares L.A. y Belmonte, A. (2008). *El Aiguabarreig: Suelos y paisajes*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.

Badía, D., J.L. Escuer (2004). *El medio natural en el Bajo Cinca*. En: F. Montón (coord.). Comarca del Bajo Cinca, pp. 41-63. Colección territorio, 1. Gobierno de Aragón.

Boletín oficial de Aragón (BOA). (2017). Recuperado de <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=969341483131> Último acceso 07/09/2019

Cayuela, L (2014, 14 de Junio). *Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA*. Extraído el 11 de septiembre de 2019 desde [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig202218/informacion\\_academica/2-Modelos%20lineales.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig202218/informacion_academica/2-Modelos%20lineales.pdf)

Chuvieco, E. (2009). *Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección*. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat (1), pp 173-181.

Chuvieco, E., Martín, M.P (2004). *Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp 190.

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp, Madrid, pp 568.

Cuadrat, J.M, Saz, M.A., Vicente, S.M. (2007). *Atlas climático de Aragón*. Gobierno de Aragón, Zaragoza.

Díaz-Delgado, R. (1999). *Seguimiento de la regeneración vegetal post-incendio mediante el empleo del NDVI*. Revista de Teledetección, pp 1-4.

Gilabert, M.A., González-piqueras, J. y García-haro, J. (1997). *Acerca de los índices de vegetación*. Revista de Teledetección (8). Pp 35-46.

Greenpeace (2010). *Incendios forestales. ¿Qué perdemos?* Recuperado de <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf> Último acceso 12/09/2019.

Guerrero, A., Pineda, L., Palà, V. y Corbera, J. (2017). Estudio de severidad en el incendio de Albinñana (Catalunya) a partir de los datos de Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 49. 115-121.

Gobierno de Aragón: Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas. IGN. *Instituto Geográfico Nacional. Centro de descargas*. Disponible en línea <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> Último acceso 17/05/2019.

Mataix-Solera J, Cerdà A, Arcenegui V, Jordán A, Zavala LM. 2011. *Fire effects on soil aggregation: a review*. Earth-Sci Rev. 109:44-60

Ministerio de Medio Ambiente (2002): Los incendios forestales en España. Decenio 1991-2000. Área de Defensa contra Incendios Forestales. Secretaría General de Medio Ambiente.

Montorio, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., de la Riva, J. (2007). Estudio de los procesos de regeneración vegetal postincendio en parcelas experimentales mediante radiometría de campo. *Cuadernos de investigación Geográfica*, 33. 59-84.

Sancho, JM., Riesco, J., Sanchez de Cos, M<sup>a</sup> Carmen., Montero, J. y López, María. (2012) Atlas de radiación solar en España. *Agencia estatal de meteorología (AEMET)*. Recuperado de [https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas\\_radiacion\\_solar/atlas\\_de\\_radiacion\\_24042012.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf) Último acceso 14/09/2019.

Pausas J.G., Llovet J., Rodrigo A., Vallejo R 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin - A review. *International Journal of Wildland Fires* 17(6):713-723

Pausas, J.G., Vallejo R. 2008. Ecological bases for coexisting with forest fire in the Mediterranean Region - Decalogue. [Original text in Spanish: Bases ecológicas para convivir con los incendios forestales en la Región Mediterránea decálogo]. *Ecosistemas* 17(2):128-129, 5/2008

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. y Harlan, J.C. (1974): Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Type III, Final Report, NASA/GSFC, Greenbelt, 371 pp.

Vélez, R. (1993): Manual de formación para la lucha contra incendios. ICONA.

Vélez, R. (2000): La defensa contra los incendios forestales en el plan forestal español.

Viedma, O., Meliá, J., Segarra, D. y García-Haro, J. (1997). Modelling rates of ecosystem recovery after fires by using Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 61: 383-398.

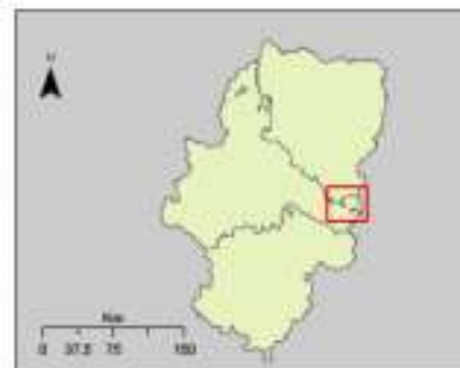
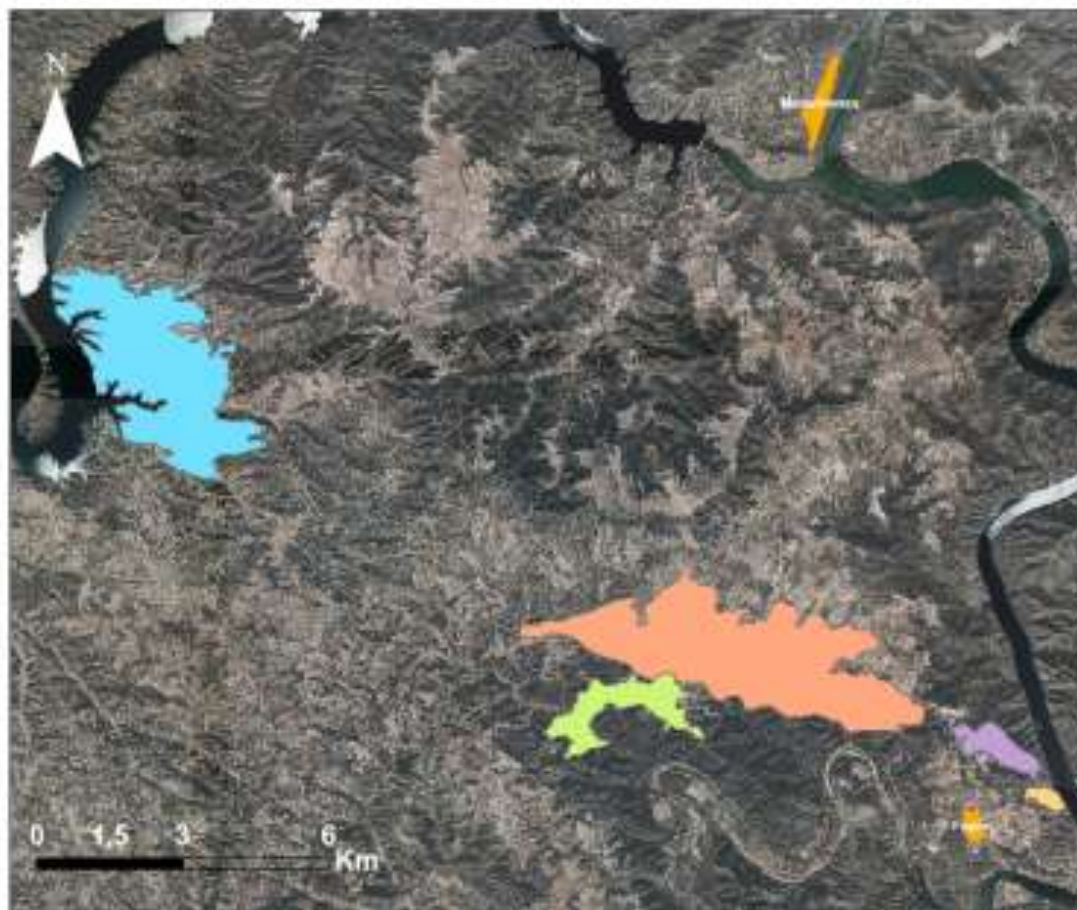
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> Último acceso 08/05/2019

## 9. Anexos

A continuación se presentan las cartografías realizadas a lo largo del trabajo y que han servido para la realización del mismo.



## Localización del área de estudio



### Áreas quemadas

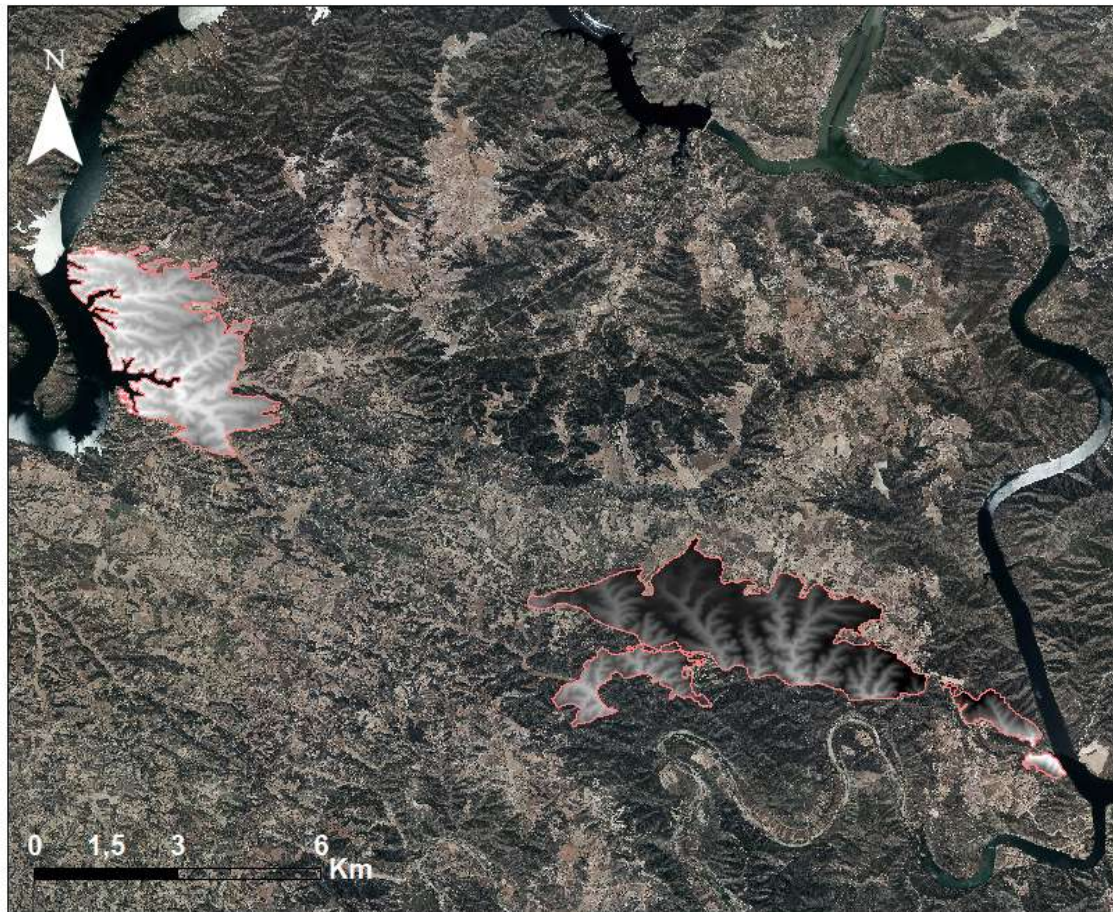
- Incendio 1979
- Incendio 1983
- Incendio 1986
- Incendio 2003
- Incendio 2009

### Otros

- Núcleos de población

Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N  
Datum: WGS84. Fuente: IGN, PNOA.  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2019

# Modelo digital del terreno



## Perímetros de incendios

 Perímetros incendios

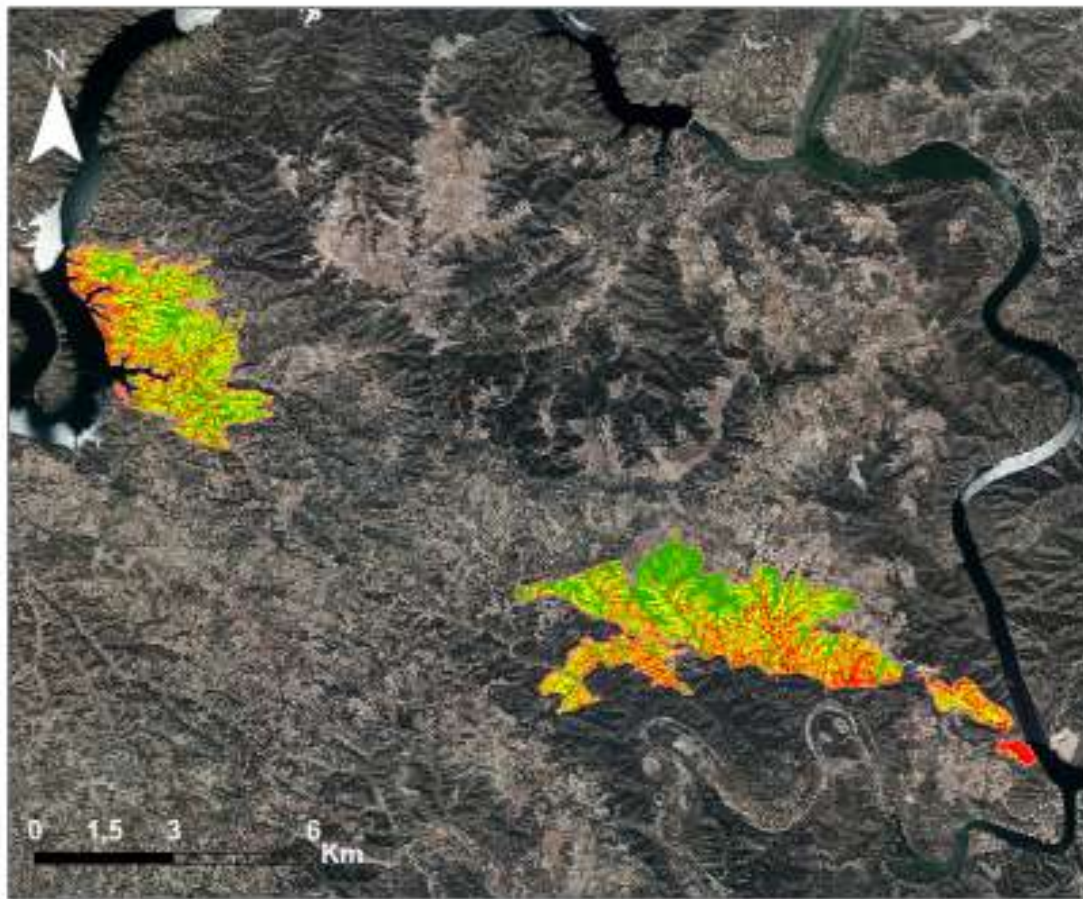
## Valores del MDT



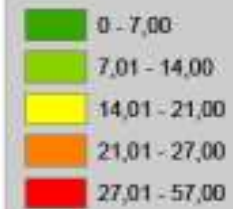
Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N.  
Datum WGS84.  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2019.




## Pendiente topográfica de la zona de estudio



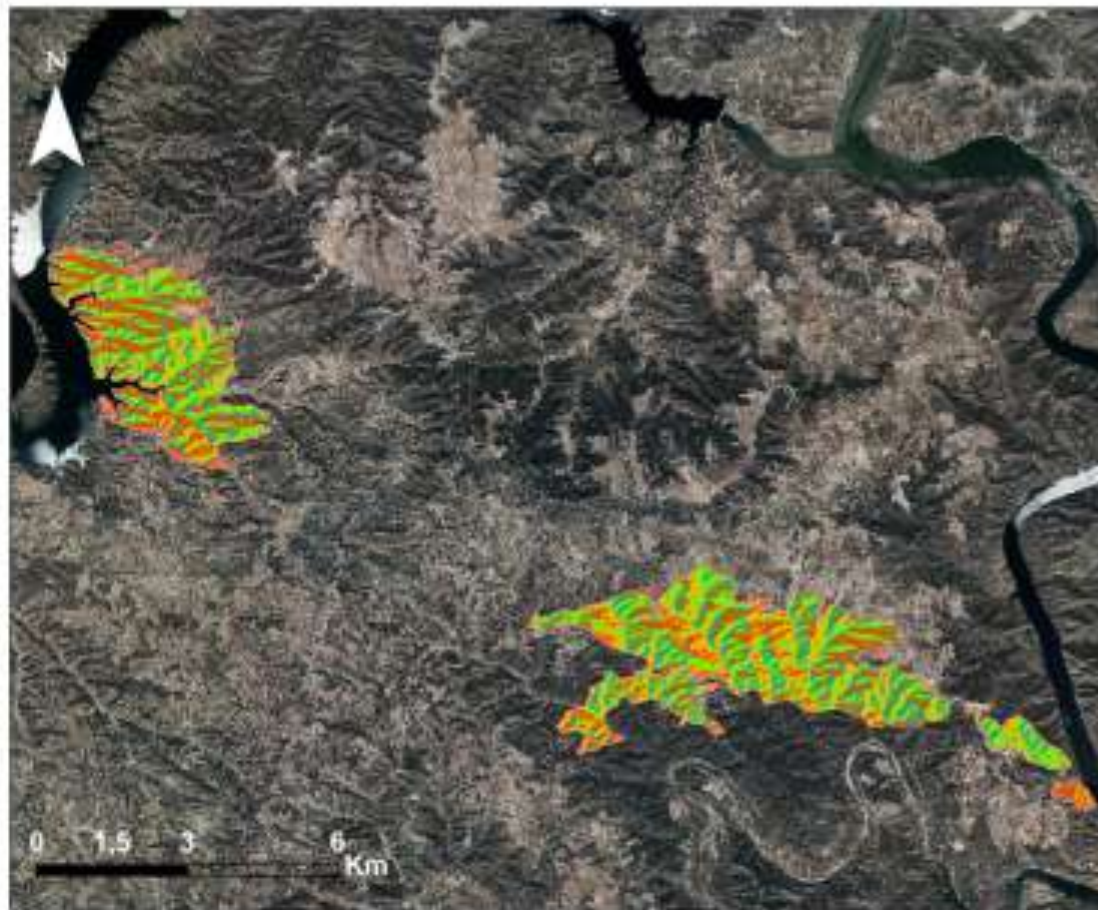
### Tipología de la pendiente



 Perímetros incendios

Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N  
Datum WGS84  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2015.

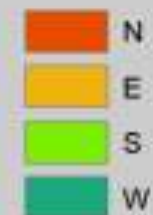
# Orientaciones de los incendios forestales



## Perímetros de incendios

Perímetros incendios

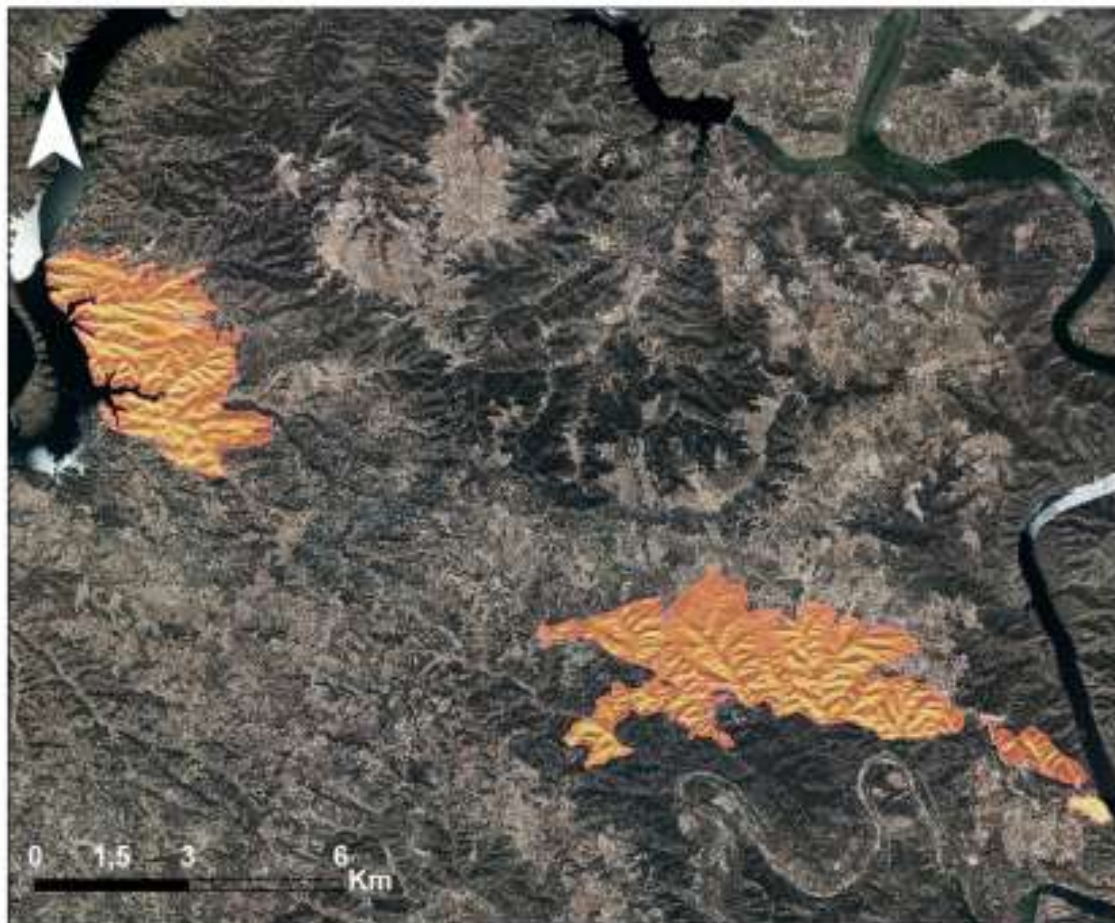
## Leyenda



Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N  
Datum WGS84  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2019



# Mapa de la radiación solar



## Perímetros de incendios

Perímetros incendios

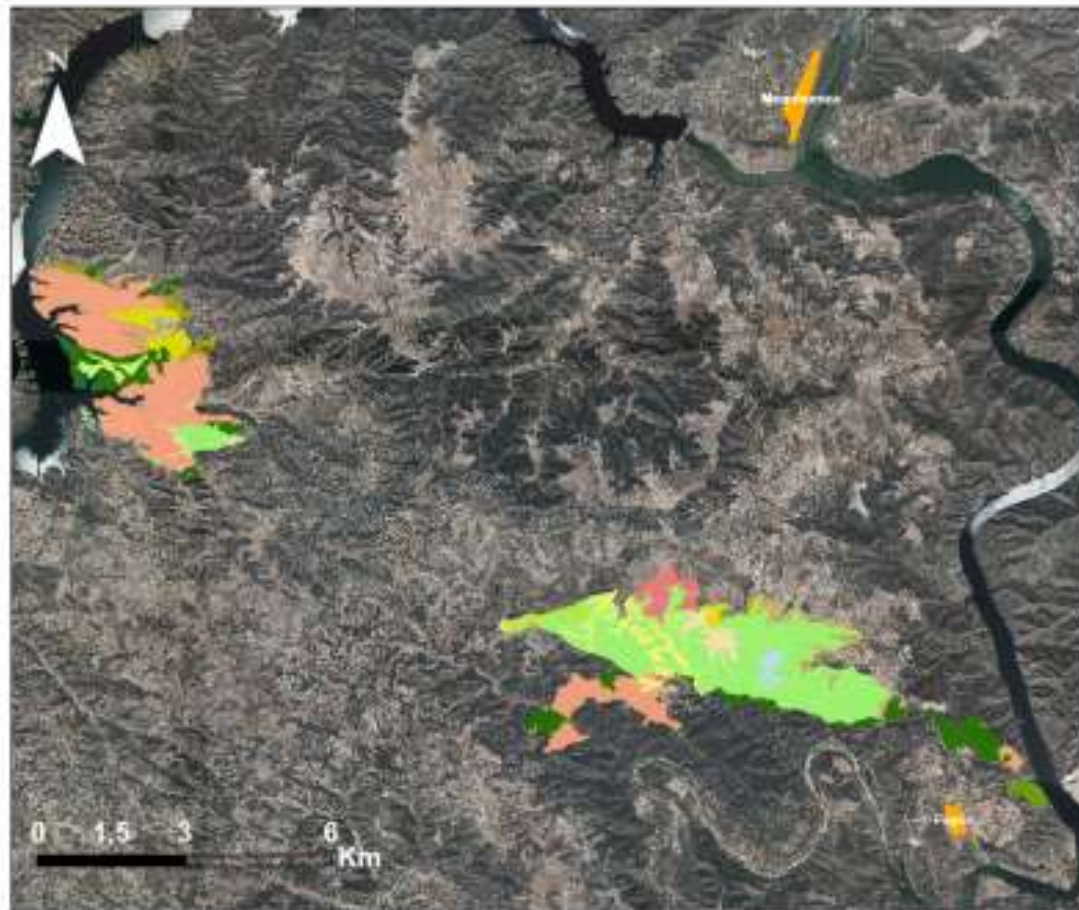
## Valores de radiación

Kwh/m2/día



Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N.  
Datum WGS84.  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2019.

# Vegetación del área de estudio



## Vegetación existente

- Bosque de coníferas
- Bosque mixto
- Cultivos permanentes
- Espacios con escasa vegetación
- Frutales
- Vegetación esclerofila
- Matorral boscoso de transición
- Mosaico de cultivos
- Oliveros
- Pastizales naturales
- Terrenos agrícolas con vegetación natural
- Tierras de labor de secano

## Otros

- Núcleos de población
- Laminas de agua

Proyección cartográfica: ETRS 1989 UTM 30N.  
Datum: WGS84. Fuente: IGN, PNOA y Corine Land Cover 2018. Elaborado por: Jaime Guich Moreno, 2019.



## Muestreo de puntos para el análisis del estudio



### Leyenda

- Puntos de muestreo
- Perímetros incendios

Proyección cartográfica: ETRS-1989 UTM 30N  
Datum WGS84  
Elaborado por: Jaime Cuchi Moreno, 2019.

