

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**ESTUDIO DE SEVERIDAD Y AFECCIÓN DE
CUBIERTAS EN EL INCENDIO DE
MARXUQUERA (GANDIA) A PARTIR DE
IMÁGENES SENTINEL 2**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autora:

Daniela Lührsen

Tutor/a:

Jesús Martí Gavilá

Javier Estornell Cremades

GANDIA, 2019

Resumen

Es necesario establecer sistemas de evaluación del impacto de un incendio y detección de las diferentes especies presentes en estas áreas que permitan diseñar un plan de actuación en función del índice de severidad del incendio, la vegetación y la ocupación del suelo. Se analizará la severidad del fuego en el incendio de agosto 2018 en la zona de Marxuquera (Valencia). Este proyecto tiene como objetivo aplicar imágenes del satélite Sentinel 2 para calcular el dNBR (*Delta Normalized Burn Ratio*) para la evaluación y seguimiento de dinámicas de regeneración de la superficie quemada. Para ello se aplicarán índices espectrales derivados de imágenes de satélite y calculados en diferentes fechas: anterior, posterior y pasado un periodo de 10 meses. Además, se utilizarán datos LIDAR para distinguir las diferentes cubiertas de vegetación afectada utilizando algoritmos aplicados a la nube de puntos 3D derivada del LIDAR del PNOA 2015. A continuación, se realizará una superposición de los resultados obtenidos entre ambas técnicas. Finalmente, se evaluará las clasificaciones realizadas a partir de la información geográfica del CORINE 2018 o SIOSE 2015. Los resultados finales se publicarán mediante Leaflet, biblioteca de código fuente abierta de JavaScript que se utiliza para crear aplicaciones de mapas web.

Palabras clave: LIDAR, teledetección, Sentinel 2, dNBR, Incendio

Abstract

It is necessary to establish an evaluation system to quantify the impact of wildfires on the ecosystem and detect present species. This data can be used to make an action plan in accordance with the burn severity, the present vegetation and soil occupation. The severity of the wildfire in August 2018 in the Marxuquera (Valencia) zone will be analysed. The objectives of this project are to apply Sentinel 2 satellite images to calculate the dNBR (delta normalized burn ratio) and to monitor the dynamics of the post fire recovery. To do this, spectral indices derived from Sentinel 2 satellites, from different dates are calculated. More especially from before the fire, immediately afterwards and 10 month later. Moreover, a 3D LIDAR point cloud from PNOA 2015 is used to create a canopy model to identify the vegetational structure. This is complemented by spatial data from SIOSE 2015 and CORINE 2018. The final results will be published by Leaflet, an open source JavaScript library that is used to create web map applications.

Keywords: LIDAR, Teledetection, Sentinel 2, dNBR, Wildfire

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos.....	2
3. Materiales y Métodos.....	3
3.1 Material.....	3
3.1.1 Descripción de la zona de estudio	3
3.1.2 Índice de severidad.....	4
3.1.3 Usos del suelo, SIOSE y CORINE	5
3.1.4 Datos LIDAR.....	7
3.1.5 Validación visual.....	7
3.2 Métodos.....	8
3.2.1 Índice de severidad.....	8
3.2.2 Usos del suelo SIOSE y CORINE.....	9
3.2.3 Datos LIDAR.....	10
3.2.4 Validación visual.....	12
4. Resultados NBR	14
4.1 Índice de severidad - agosto 2018	14
4.2 Índice de severidad - junio 2019	15
4.3 Evolución de la vegetación – agosto 2018 a junio 2019.....	17
4.4 Usos del suelo, CORINE	17
4.5 Usos del suelo, SIOSE	20
4.6 Datos LIDAR.....	21
4.7 Validación visual.....	24
5. Discusión	28
6. Conclusión.....	36
7. Bibliografía.....	37
7.1 Páginas Web y Programas usados.....	38
8. Anexo	39

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Localización del incendio.....	3
Ilustración 2: Elementos protegidos dentro del perímetro del incendio.....	4
Ilustración 3: Imágenes satélites de Sentinel 2 del 24 de agosto de 2018, Banda 8 (izquierda) y Banda 12 (derecha).....	5
Ilustración 4: Captura del SIOSE en la región de la costa de Gandía	6
Ilustración 5: Captura del CORINE en la región de la costa de Gandía	6
Ilustración 6: Fichero de datos LIDAR, visualizado desde muy cerca	7
Ilustración 7: Raster reclasificado del área quemada	9
Ilustración 8: Polígono equivalente a la superficie del incendio.....	9
Ilustración 9: Nube de puntos LIDAR recortado con el perímetro del incendio y visto desde muy cerca	11
Ilustración 10: Modelos digitales de elevación (izquierda) y superficie (derecha) en formato raster	12
Ilustración 11: Ubicación de la zona visitada el 3 de abril de 2019.....	13
Ilustración 12: NBR antes del incendio (izquierda) y NBR posterior al incendio (derecha)	14
Ilustración 13: Mapa del delta Normalized Burn Ratio (dNBR) inmediatamente después del incendio	14
Ilustración 14: Composición de grados de afección en agosto 2018.....	15
Ilustración 15: NBR antes del incendio (izquierda) y NBR 10 meses después del incendio (derecha)	15
Ilustración 16: Mapa del delta Normalized Burn Ratio 10 meses después del incendio	16
Ilustración 17: Composición de grados de afección en junio 2019.....	16
Ilustración 18: Grados de afección en agosto 2018 (eje X) y su cambio de afección hasta agosto 2019.....	17
Ilustración 19: Mapa de cobertura y uso de suelo según el CORINE	17
Ilustración 20: Representación gráfica de la combinación de datos entre el grado de afección inmediato y el CORINE.....	19
Ilustración 21: Representación gráfica de la combinación de datos entre el grado de afección tras 10 meses y el CORINE.....	20
Ilustración 22: Mapa de cobertura y uso de suelo según el SIOSE	21
Ilustración 23: Modelo de altura de dosel.....	22
Ilustración 24: Representación gráfica del grado de afección inmediata según la altura de la vegetación.....	22
Ilustración 25: Representación gráfica del grado de afección 10 meses después según la altura de la vegetación.....	23
Ilustración 26: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con afección media baja (1).....	24
Ilustración 27: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con afección media baja (2).....	25
Ilustración 28: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afección media alta.....	25
Ilustración 29: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afección alta (1)	26
Ilustración 30: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afección alta (2)	27
Ilustración 31: Perímetro del incendio según el CEAM.....	28
Ilustración 32: Imagen mostrando la diferencia entre cultivos y bosque	29

Ilustración 33: Ejemplos de dNBR en situaciones con diferentes intensidades de fuego y densidades de vegetación.....	30
Ilustración 34: Brote en un Quercus suber	32
Ilustración 35: Casos de especial atención, Izquierda: Caso 1 en el mapa del dNBR inmediato, Derecha: Caso dos en el mapa del dNBR a plazo intermedio.....	33
Ilustración 36: zona del caso 1 encima de mapa topográfico	33
Ilustración 37: Imagen del caso 2.....	34
Ilustración 38: Imagen de Pla de Junquera comparando Pinos (izquierda) y Alcornosques (derecha)	35

1. Introducción

A estas alturas de 2019 nadie puede negar que existe un cambio climático, es más, la prensa y varios movimientos sociales están empezando a hablar de la “crisis climática” que estamos viviendo ahora mismo. ¿Pero qué significa esto para nosotros, los humanos? La evaluación preliminar de los impactos de los efectos del cambio climático que habrá en España sobrepasa las 800 páginas. Algunas de las conclusiones con respecto a los incendios forestales son que la inflamabilidad del combustible y los índices de peligro aumentarán, la temporada de peligro se alargará, las igniciones por rayos aumentarán, y en consecuencia de todo esto la frecuencia, la intensidad y la magnitud de los incendios aumentará (Moreno Rodríguez, 2005). Ahora que España está más susceptible que nunca a incendios forestales es necesario mejorar las actuaciones de prevención, pero para esto previamente se tienen que analizar cómo el fuego afecta a cada ecosistema.

Según el informe reciente del WWF (Hernández, 2019) el problema al que España, y toda la cuenca mediterránea, se tienen que enfrentar son los grandes incendios forestales o “Superincendios”. Estos son los incendios en los que arden más de 500 hectáreas y aunque solo representan un porcentaje pequeño de la cantidad de incendios (España: 0,2%) constituyen gran parte de la superficie quemada (España: 37%). Estos Superincendios son un fenómeno nuevo causado por causas sociales como el abandono rural o la falta de aprovechamiento del bosque en conjunto con el cambio climático. Aún si se logra alcanzar la meta del acuerdo de París y mantener el incremento de temperatura por debajo de 1,5 la superficie quemada anualmente en la zona del mediterráneo aumentará en un 40% (Turco, y otros, 2018).

Esta tendencia hacia los superincendios lo podemos observar en los medios ahora mismo. En Tarragona hubo un incendio que arrasó aproximadamente 6.000 hectáreas, mientras que Madrid todavía está ardiendo un incendio que ha quemado 4.000 hectáreas y cerca de Toledo hay otro superincendio que ya ha arrasado más de 1.600 hectáreas. (La Vanguardia, 2019).

El incendio objeto de este estudio fue causado por un rayo el 6 de agosto de 2018 y no se pudo extinguir hasta el 12 de agosto. Se produjo en la provincia de Valencia, en concreto en los municipios de Ador, Barx, Gandia, Llutxent, Pinet, Quatretonda y Rótova. En el siguiente capítulo se podrá ver la zona afectada, así como una descripción detallada del terreno. Las primeras aproximaciones exponen que la superficie total quemada alcanza los 3.270 ha. No ha habido ningún herido, sin embargo, el impacto social no ha sido menor: más de 40 viviendas fueron quemadas y más de 3.000 personas han tenido que ser evacuadas por su propia seguridad (Miller y Thode, 2007).

El alcalde de Llutxent comentó que este incendio “ha de servir para aprender y que no se repita”. En este contexto la mejor manera de aprender es estudiar en profundidad lo que ha ocurrido. Existen varios métodos para la evaluación de la severidad de fuegos, entre ellos bosquejos cartográficos aéreos o superficiales, interpretación de fotografías post incendio, interpretación de imágenes aéreas y la detección digital de cambios en datos satelitales. Brewer (2005) condujo un estudio para comparar 6 diferentes métodos de cálculo de severidad y halló que el “Normalized Burn Ratio” (NBR) es el más

consistente y flexible, en el sentido de que se puede aplicar en cualquier sitio. Por esto, se ha elegido como método principal en este trabajo.

Se realizarán tres análisis. Primero se usarán imágenes satélites multiespectrales para calcular un índice que, comparando imágenes anteriores y posteriores al incendio, indica la cantidad de biomasa perdida y, por lo tanto, el grado de afección. A continuación, se superpondrá este índice con una base de datos de ocupación del suelo, para averiguar qué uso de suelo tuvo la mayor afección y cuales han sido afectados en un grado menor. Además, se usará una nube de puntos LIDAR para crear un modelo tridimensional de la vegetación. Esto servirá para determinar la estructura de la vegetación, que también puede ser un factor condicionante del fuego. El tercer análisis es una comparación de imágenes anterior y posterior (10 meses) al incendio para poder hacer una evaluación cualitativa. Finalmente se creará una página web para visualizar los resultados de una forma interactiva.

Una vez recopilados todos estos datos se hará una valoración para averiguar la resistencia durante, y la resiliencia después de un incendio de cada uso/estructura de vegetación. Este trabajo podrá servir como documento consultorio en la elaboración de planes de prevención y planes de recuperación en la Comunidad Valenciana.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la repercusión del incendio en la Marzuquera en la vegetación mediante el método del dNBR.

Otros objetivos secundarios son:

- Analizar la relación entre la severidad de un incendio y la ocupación del suelo.
- Establecer una correlación entre la estructura de la vegetación y la severidad de un incendio.
- Exponer los resultados hallados mediante una página web creada mediante Leaflet y su biblioteca de fuente en JavaScript.

3. Materiales y Métodos

3.1 Material

3.1.1 Descripción de la zona de estudio

El incendio se produjo en la provincia de Valencia en las comarcas de La Safor y el Valle de Albaida. Se encuentra en un monte a menos de 10 km de la costa de Gandía. En la Ilustración 1 se puede ver su ubicación exacta dentro del territorio nacional. El relieve es montañoso con unas pocas zonas llanas en la periferia.

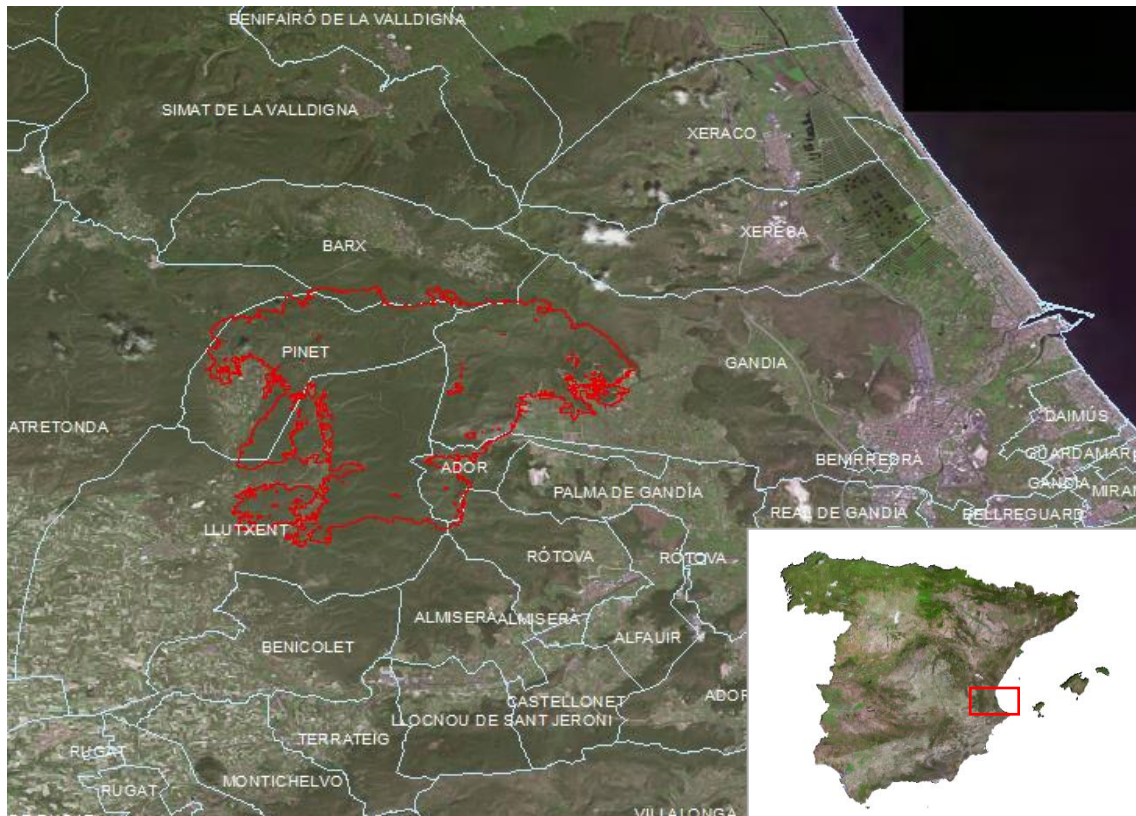


Ilustración 1: Localización del incendio.

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS, una ortofoto del PNOA y el catastro

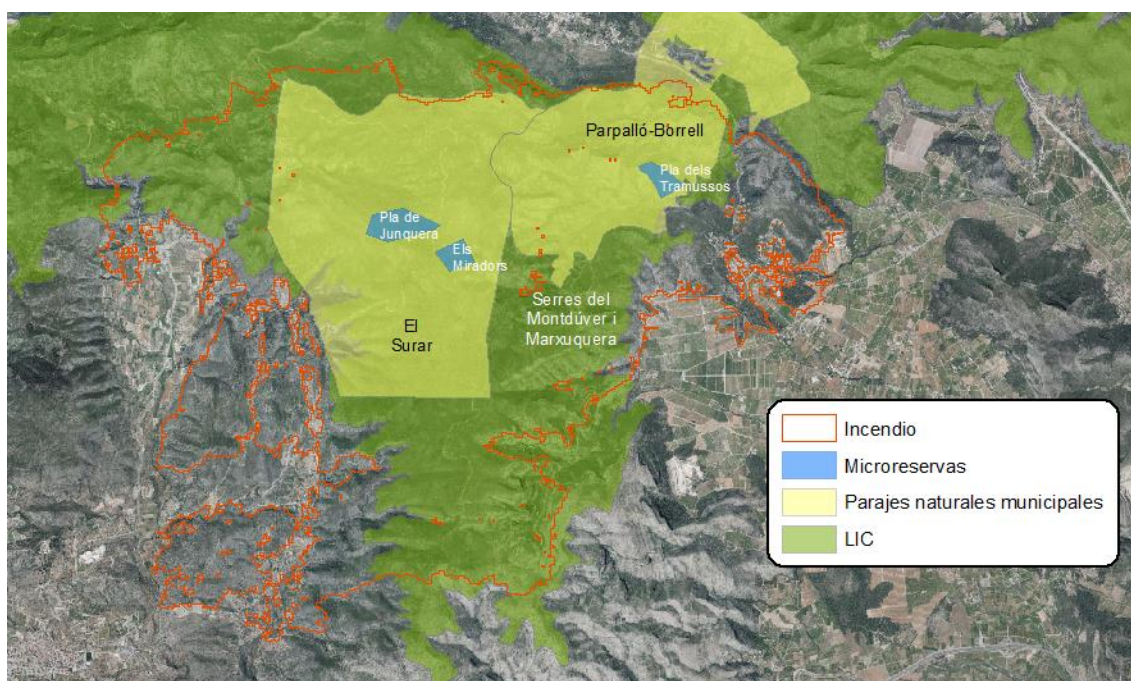
Alcanza altitudes de 750 metros por encima del mar, mientras que las zonas más bajas se encuentran a 200 metros. Alrededor de un tercio de la superficie quemada tiene una pendiente muy elevada de más de 45%.

Según el informe del CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) el 90% de la vegetación afectada ha sido matorral, seguido por pinares compuestos por *Pinus halepensis* (5,5%) y *Pinus pinaster* (1,1%). Otros ecosistemas que se han mencionado en el informe son arbolados de *Quercus ilex*, matorral con *Quercus suber* y vegetación de ribera, aunque ninguno de estos supera 1% de la superficie.

La vegetación de este monte se considera esclerófila. Según 'La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España' (Acosta Gallo y Díaz Pineda, 2012), la vegetación esclerófila se compone por un mosaico de pastizales, matorral y arbolado que están adaptados al clima mediterráneo con un estrés hídrico considerable durante el verano. Generalmente, se forma de especies adaptadas al fuego, ya que es un fenómeno

recurrente en este tipo de ecosistema y justo por la recurrencia de incendios se forman los mosaicos nombrados anteriormente.

El 96% del terreno quemado ha sido terreno forestal clasificado por el PATFOR (Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana) y el 64% del terreno está dentro de alguna herramienta de protección de biodiversidad. El LIC Serres del Montdúver i la Marxuquera destaca por su gran superficie que ocupa dos tercios de la superficie quemada y por su gran variedad de formaciones vegetales. En ella se pueden encontrar entre otros bosques de laurel, vegetación de roquedos y alcornoques (Nebor, 2004). Los otros elementos protegidos se encuentran dentro del LIC y se pueden ver en la Ilustración 2. Hay dos parajes naturales municipales: El Surar y Parpalló-Borrell; y 3 microreservas: Els Miradors, Pla de Junquera y Pla dels Tramussos.



*Ilustración 2: Elementos protegidos dentro del perímetro del incendio
Fuente: Elaboración propia mediante el visor de la Generalitat Valenciana*

3.1.2 Índice de severidad

El dNBR es un índice normalizado que indica la pérdida de masa orgánica. Para calcularlo se utilizan imágenes satélites multispectrales que indican el contenido de clorofila de la vegetación y el contenido de agua en el suelo y la vegetación. Para este fin se usará imágenes Sentinel 2, una misión del programa Copernicus de la ESA que obtiene imágenes cada 5 días. Las imágenes de Sentinel 2, se descargan desde el Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>). La misión Sentinel 2 registra imágenes multispectrales, en concreto 13 bandas espectrales, en dos diferentes niveles: Nivel 1 (S2_MSI_L1C), que corresponde a reflectancias en el tope de la atmosfera, y nivel 2 (S2_MSI_L2A), el cual corresponde a las reflectancias a nivel del suelo.

En este trabajo se usarán exclusivamente las imágenes de nivel 1, que se corregirán manualmente hasta alcanzar el nivel 2 (INTA Copernicus Relay, 2017). Se comprobará la calidad de las imágenes seleccionando aquellas libres de nubes en el área del incendio. Para este trabajo se ha escogido la imagen del 4 de agosto del 2018 para establecer las condiciones previas al incendio, una imagen del 24 de agosto del 2018 para poder calcular el dNBR inmediato al incendio y una imagen del 15 de junio del 2019 para evaluar la recuperación de la vegetación un año después del incendio. En la Ilustración 3 se pueden ver las imágenes de satélites usadas para calcular el índice de severidad inmediato posterior al incendio.

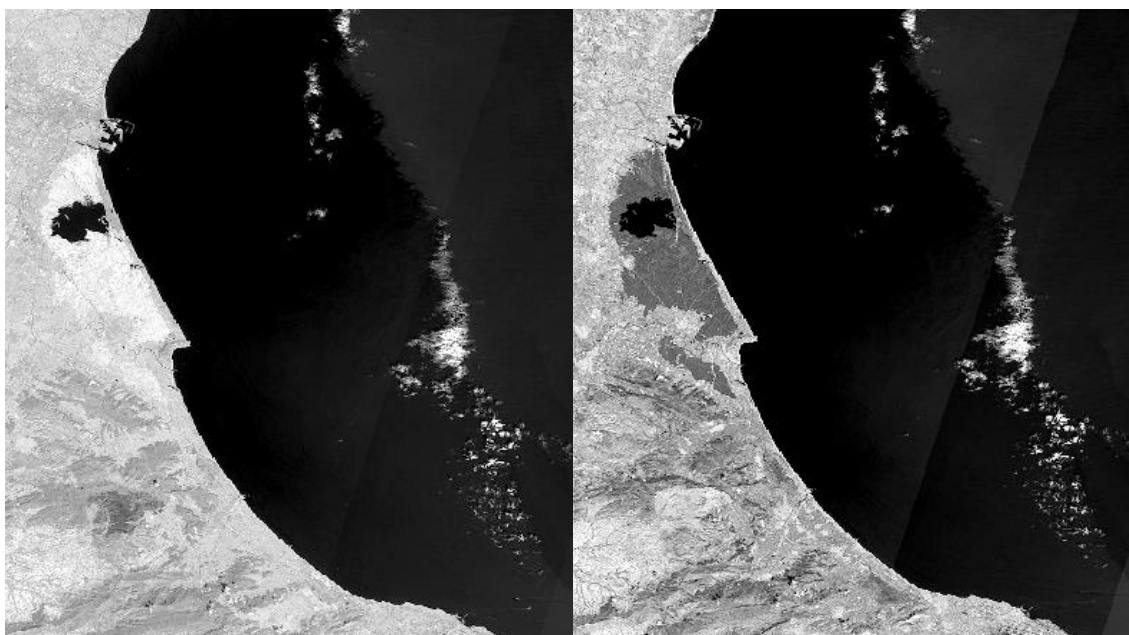


Ilustración 3: Imágenes satélites de Sentinel 2 del 24 de agosto de 2018, Banda 8 (izquierda) y Banda 12 (derecha)

Fuente: Copernicus Open Access Hub

3.1.3 Usos del suelo, SIOSE y CORINE

Para obtener el uso del suelo en la zona quemada se utilizarán dos bases de datos diferentes. El SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) el cual es una base de datos a nivel nacional que opera con una precisión planimétrica de 5 m. La última actualización se produjo en el año 2015. La otra base de datos empleada es el CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment), un proyecto de la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente) para cartografiar toda la Unión Europea con una precisión planimétrica de 100 metros. La última actualización fue en 2018. Se han utilizado las dos fuentes de forma complementaria, ya que el SIOSE tiene una precisión mucha más alta (25 m² por pixel comparado a los 10000 m² del CORINE), pero no está tan actualizada como el CORINE.

El SIOSE destaca por ser un base de datos orientado a objetos, esto significa que no existe una clasificación en ciertas categorías, sino que se forman asociaciones o mosaicos con información porcentual de su composición. De este modo no existe ninguna pérdida de información (Equipo técnico nacional SIOSE, 2018). Una desventaja de este sistema es la poca claridad y la dificultad elevada al clasificar, como se puede observar en Ilustración 4. La mayoría de los polígonos se categorizan primero en: Asociación, Mosaico regular o Mosaico irregular, y a continuación se nombran sus elementos y el porcentaje de cobertura correspondiente. Un ejemplo podría es:

I(80PST_15MTR_05ARR)

Mosaico irregular compuesto por 80% pastizal, 15% matorral y 5% afloramientos rocosos y roquedos

Además, a algunas coberturas de suelo se le asignan atributos para aumentar la información proporcionada.

R(50LFNsc_50PSTpc)

Mosaico regular compuesto por 50% frutales no cítricos de secano y 50% de pastizal procedentes de cultivos

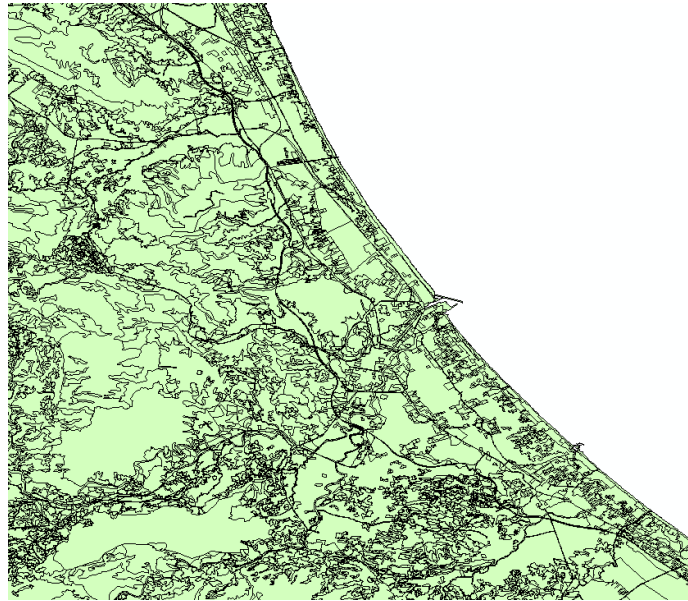


Ilustración 4: Captura del SIOSE en la región de la costa de Gandía

Fuente: Elaboración propia

La base de datos del CORINE sigue un modelo de datos jerárquico. Clasifican el territorio en número reducido de categorías. En la comunidad valenciana en concreto existen 38 diferentes categorías siendo bosque de coníferas (540.000ha) y vegetación esclerófila (475.000ha) las con mayor superficie; y pastizales (1.774 veces) y frutales (1.374 veces) las con mayor número de ocurrencias. En la Ilustración 5 se nota que los polígonos se pueden distinguir con mucha más facilidad que en el SIOSE.

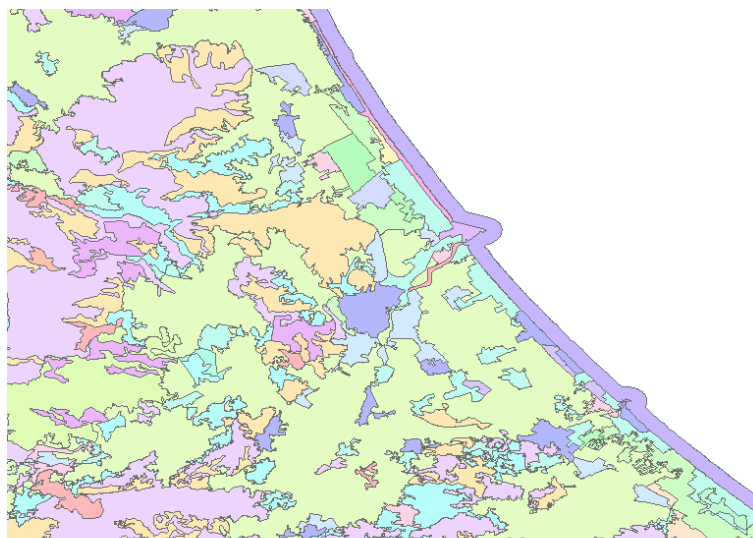
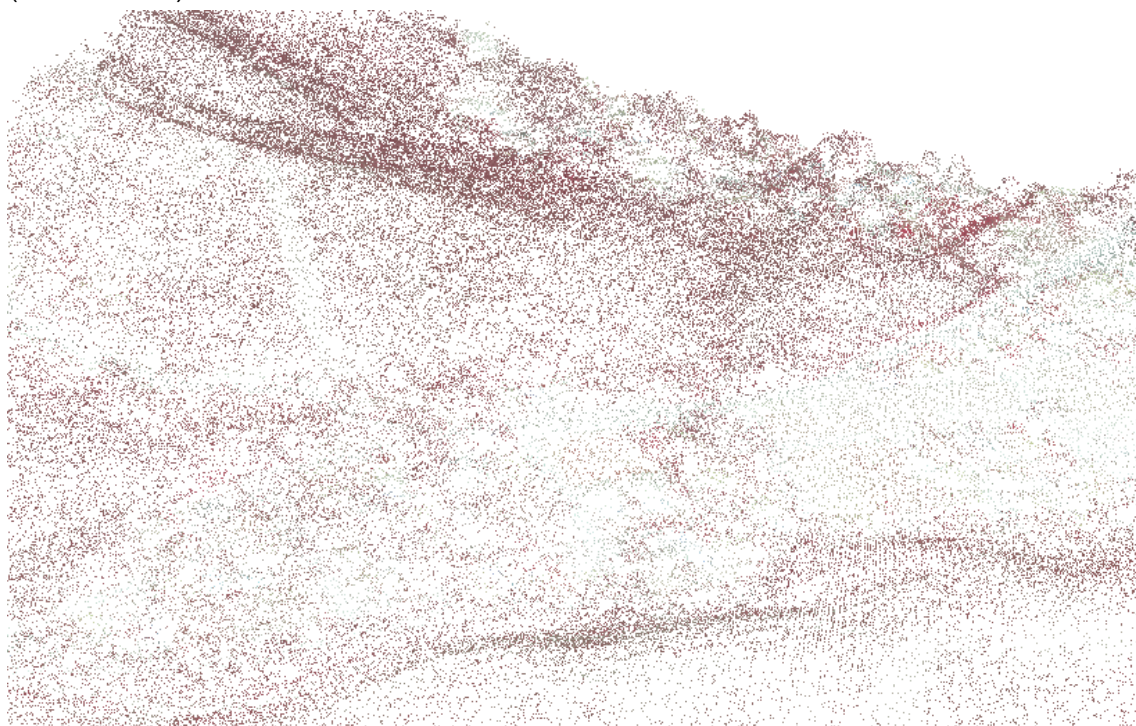


Ilustración 5: Captura del CORINE en la región de la costa de Gandía

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Datos LIDAR

LIDAR (por sus siglas en inglés Light Detection and Ranging) es un sistema de captura de datos altimétricos de alta precisión. Se basa en un emisor, generalmente aéreo, que emite pulsos de luz hacia la tierra y que mide el tiempo de retorno. Calculando el tiempo que tarda cada pulso de luz en volver se puede crear un modelo tridimensional de la superficie (Magdaleno Mas y Martínez Romero, 2006). Esta información se guarda en ficheros “las” que también se denominan “nubes de puntos”, ya que eso es lo que parece (Ilustración 6).



*Ilustración 6: Fichero de datos LIDAR, visualizado desde muy cerca
Fuente: Datos LIDAR 2015 del PNOA*

Para este estudio se necesitarán las nubes de puntos de la zona del incendio. Estos se pueden descargar desde la página del centro nacional de información geográfica (CNIG), seleccionando la zona afectada y luego descargando el listado completo de ficheros de extensión “laz”. Los datos LIDAR del CNIG son del año 2015.

Además, para poder modificar y analizar los datos LIDAR hará falta el programa FUSION y la caja de herramientas de LasTools. FUSION es un programa de código público desarrollado por el servicio forestal del departamento de agricultura de Estados Unidos, que sirve como una herramienta forestal para el análisis de datos LIDAR. LasTools es una caja de herramientas distribuida por RapidLasso que se pueden implementar en Qgis o Arcgis.

3.1.5 Validación visual

Para la validación visual se usaron como únicos recursos Google Street View y fotografías tomadas durante una salida de campo.

3.2 Métodos

3.2.1 Índice de severidad

A continuación, es necesario corregir las imágenes atmosféricamente para eliminar el ruido atmosférico que pueden haber producido las condiciones meteorológicas en cada día. Esto se hizo mediante el programa SNAP (Sentinel Application Platform), una aplicación distribuida por la ESA para el procesado y análisis de las imágenes de satélite. En concreto se hizo uso del plug-in sen2cor. Se utilizó una resolución espacial de 20 m.

Una vez corregidas las imágenes se puede proceder a calcular los NBR de cada una de las imágenes. El índice combina dos bandas espectrales: el infrarrojo próximo, (banda B8 - 865 nm) y el infrarrojo medio (banda 12 – 2190 nm), los cuales son sensibles a la clorofila y al contenido de agua, respectivamente (Miller y Thode, 2007).

Para esto se usará la calculadora ráster y se insertará en la ecuación 1:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} = \frac{B8 - B12}{B8 + B12}$$

Ecuación 1: Cálculo del Normalized Burn Ratio (NBR)

El cálculo del dNBR (ecuación 2), se hace mediante la sustitución de los NBRs obtenidos previamente. La NBR_{pre} será en todos los casos el calculado para el 4 de agosto 2018, y el NBR_{post} será de la fecha del 24 de agosto 2018, para el dNBR inmediato, y del 15 de junio 2019, para el dNBR en un plazo posterior:

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

Ecuación 2: Cálculo del delta Normalized Burn Ratio (dNBR)

Los dos resultados se reclasificarán según los rangos establecidos por Key y Benson (2006) (Tabla 1):

*Tabla 1: Clasificación de la afección según el dNBR
Fuente: Key y Benson, 2006*

Afección	dNBR
No quemado	<100
Baja	100-270
Media baja	270-439
Media alta	440-659
Alta	>660

3.2.2 Usos del suelo SIOSE y CORINE

Para poder obtener la ocupación del suelo de la zona del incendio es necesario hacer un recorte a las capas del SIOSE y CORINE con un polígono que tiene la misma delimitación del incendio. Para este fin se ha reclasificado el raster anterior en dos categorías: valores de dNBR menores a 100 y valores mayores a 100. Este último es el que se considera como área quemada. En la Ilustración 7 se puede observar el raster reclasificado, en el cual las áreas blancas representan una alteración negativa de la vegetación.



Ilustración 7: Raster reclasificado del área quemada
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

A continuación, en la Ilustración 8, se debe transformar este raster a una capa vectorial mediante la herramienta “Raster to polygon” y extraer el polígono más grande – el del incendio. En la Ilustración 8 se puede ver el polígono.

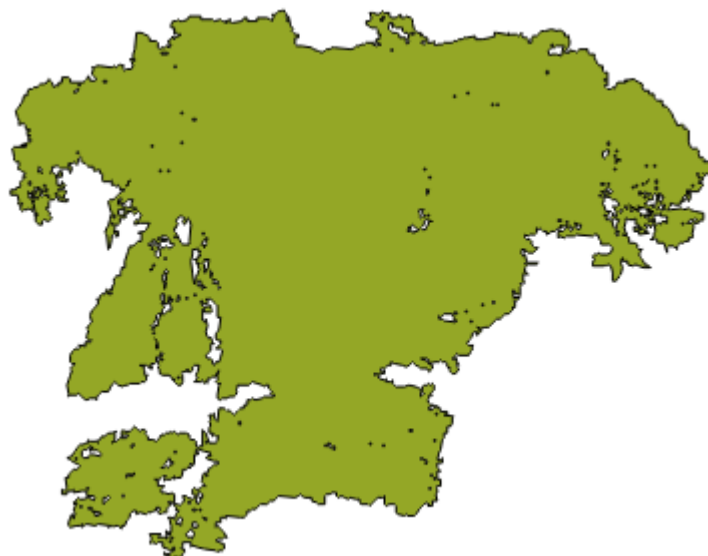


Ilustración 8: Polígono equivalente a la superficie del incendio
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

Para obtener la ocupación del suelo según el CORINE o el SIOSE se debe hacer un recorte a las capas mencionadas. Se cargan las capas, se selecciona el CORINE/SIOSE como input y la capa de la delimitación del incendio como plantilla para el recorte.

Finalmente, se usará la herramienta “combine” para combinar la información espacial del CORINE/SIOSE con el grado de afección. Esta herramienta utiliza 2 rasters como input, por eso antes de empezar será necesario convertir las capas de ocupación de suelo de shapefiles a rasters mediante la herramienta “Feature to raster”.

3.2.3 Datos LIDAR

Con los datos LIDAR se pueden crear 2 diferentes tipos de modelos: modelos de elevación (DEM, digital elevation model), los cuales solo tienen en cuenta el relieve, y modelos de superficie (DSM, digital surface model) que también incluyen objetos situados por encima de la tierra como edificios y vegetación. La resta de estos dos modelos resulta en un modelo que únicamente contiene las elevaciones de árboles (CHM, canopy height model) y edificios.

Para calcular un CHM se utilizarán los ficheros laz, pero dado a que cada fichero laz solamente comprende un área de 4 km², se tuvieron que descargar un total de 46 ficheros para cubrir toda el área del incendio. Por esto, el primer paso en la manipulación será unir todos en un fichero mediante la función “MergeData” del programa FUSION. Se usa MS-DOS para ejecutar los comandos de FUSION. Cada comando tiene una sintaxis específica que se pueden consultar en la guía de McGaughey (2018). Además, hay que tener en cuenta que los ficheros están en formato comprimido laz, y FUSION requiere de la DLL (Dynamic Link Library) “LASzip.dll” para trabajar con ficheros comprimidos. Esta DLL está incluida en LasTools. Con copiarla a la misma carpeta en la que se encuentra “merge Data” es suficiente. A continuación, se puede ver el comando empleado:

MergeData

Syntax: MergeData [switches] DataFile OutputFile

Comando: C:\Fusion\mergedata.exe
C:\Users\Daniela\Desktop\LIDAR*.laz
C:\Users\Daniela\Desktop\practice11\merged.las

El próximo paso es extraer la superficie quemada mediante la herramienta “lasclip”. El fichero input será merged.las, el polígono será el polígono del incendio incendioshp.shp y fichero output se llamará mergeclip.las. A continuación, se puede ver el resultado del recorte visualizado mediante la herramienta “lasview” de Lastools:

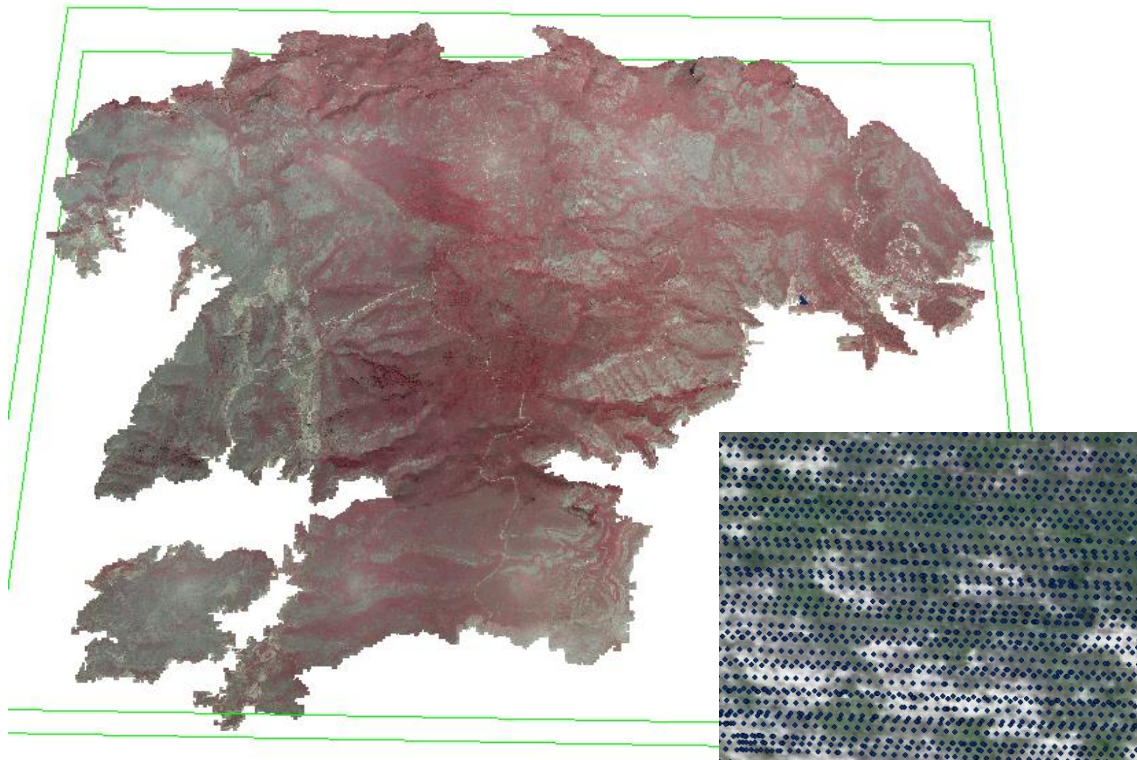


Ilustración 9: Nube de puntos LIDAR recortado con el perímetro del incendio y visto desde muy cerca

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

Para poder crear los modelos digitales asociados al terreno (DEM, DSM y CHM) se utilizará FUSION. Todos los comandos se deben ejercer tal como descrito anteriormente con la ayuda de la guía de McGaughey (2018). En primer lugar, para calcular el DEM, se utiliza el comando "Groundfilter", para poder separar los puntos que corresponden al suelo de los demás. Para convertir este fichero de puntos a un fichero de una superficie se usa el comando "GridSurfaceCreate". Una vez finalizado el proceso el programa nos entrega un fichero ".dtm". En segundo lugar, hay que crear el DSM, esto es muy sencillo ya que FUSION ofrece un comando que lo hace todo de forma automática. Este comando es "CanopyModel", y entrega directamente un fichero ".dtm" con el canopy.

Para poder abrir los dos ficheros ".dtm" en ArcGIS, se deben exportar de FUSION en formato ASCII. ArcGIS tiene una herramienta "ASCII to Raster" para importar los ficheros ASCII y convertirlos en raster. Teniendo el DSM y el DEM, se debe restar el DEM del DSM para obtener el CHM.

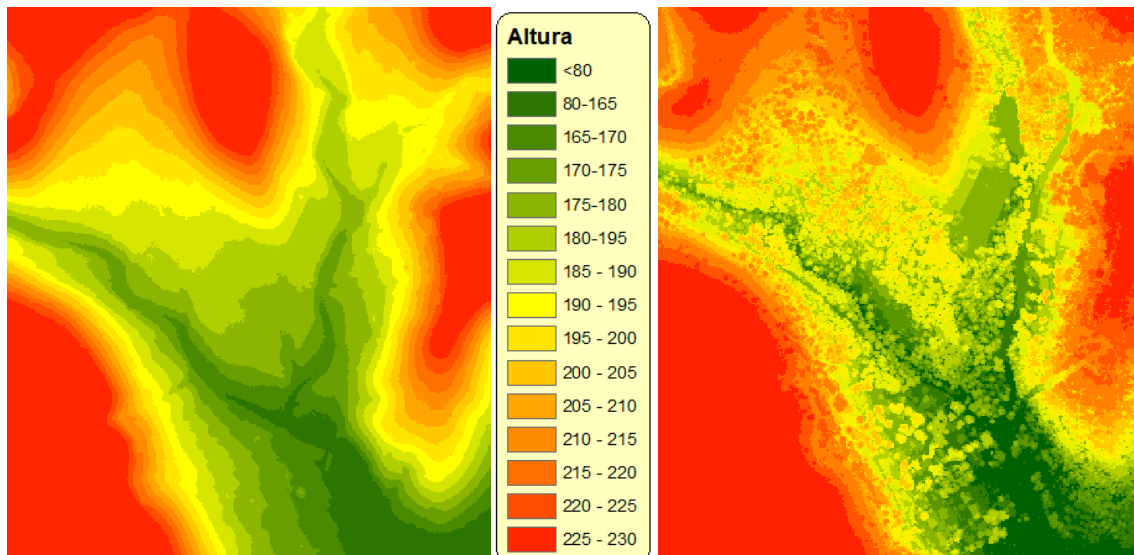


Ilustración 10: Modelos digitales de elevación (izquierda) y superficie (derecha) en formato raster

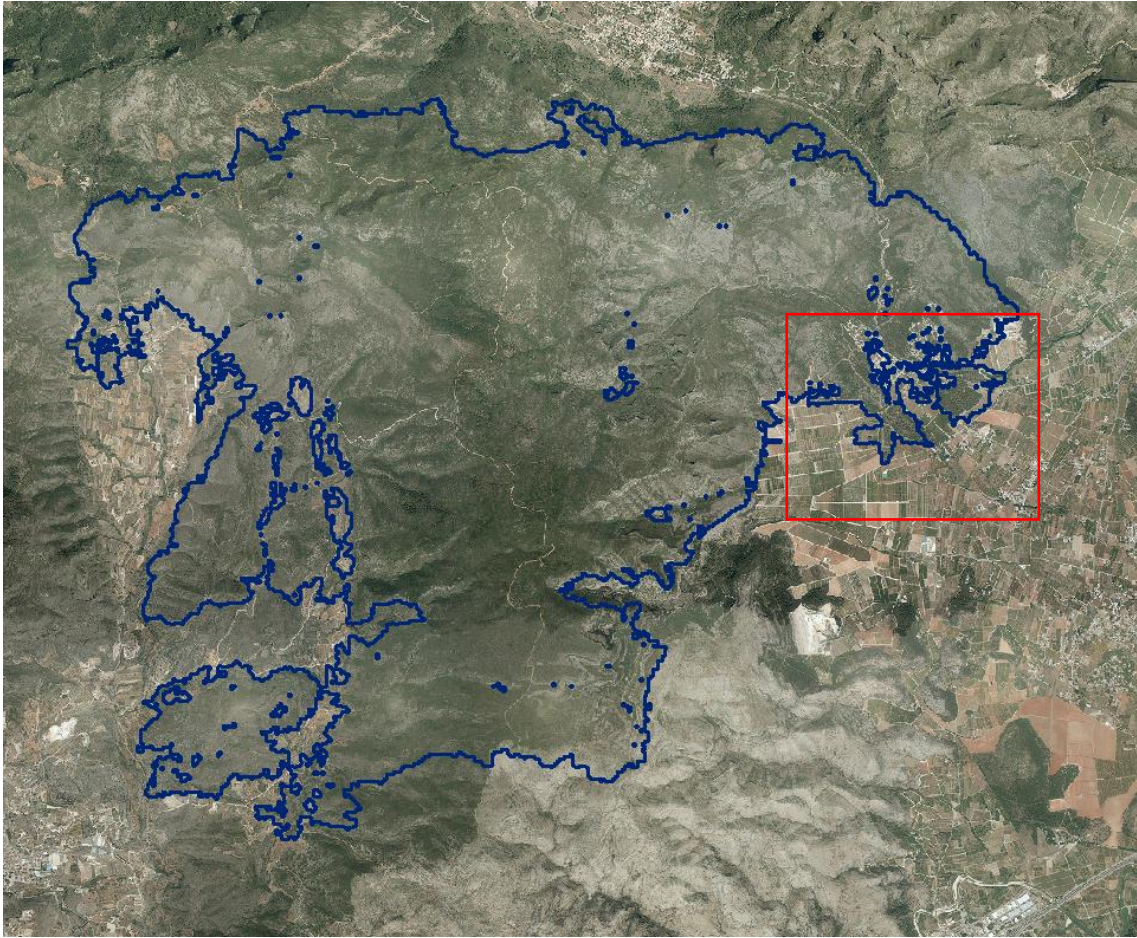
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

En la Ilustración 10 se puede ver de cerca la Urbanización de Montesol. Para esta Ilustración se ha reclasificado el terreno, para así mostrar más claramente la diferencia entre un DEM y un DSM. El DEM, situado a la izquierda, demuestra únicamente la elevación del terreno, mientras que en el DSM se puede ver esa misma elevación del terreno más objetos que se encuentren en ella. Los “puntos” redondos que se pueden distinguir corresponden a árboles y las manchas cuadradas corresponden a casas.

3.2.4 Validación visual

La validación visual mediante el análisis de fotografía consiste en la comparación visual de la vegetación anterior al incendio con la vegetación posterior al incendio, en concreto 8 meses después del incendio. Con este método se puede comprobar la efectividad del dNBR ya que se han hecho dos comparaciones para cada grado de afección.

La zona en la que se han sacado las fotografías, la urbanización Montepino, se ubica en el lado este del incendio cerca del paraje natural Parpalló-Borell. Se ha escogido por su fácil accesibilidad desde Gandía y por la presencia de áreas quemadas de todo tipo de afección. El área visitada está indicada en la Ilustración 11.



*Ilustración 11: Ubicación de la zona visitada el 3 de abril de 2019
Fuente: Elaboración propia mediante el visor de la Generalitat*

Las fotos anteriores al incendio se han extraído de Google Streetview, siendo estas de mayo y junio del año 2013. Las fotos posteriores al incendio se han tomado el 3 de abril de 2019. (Ver resultados)

4. Resultados NBR

4.1 Índice de severidad - agosto 2018

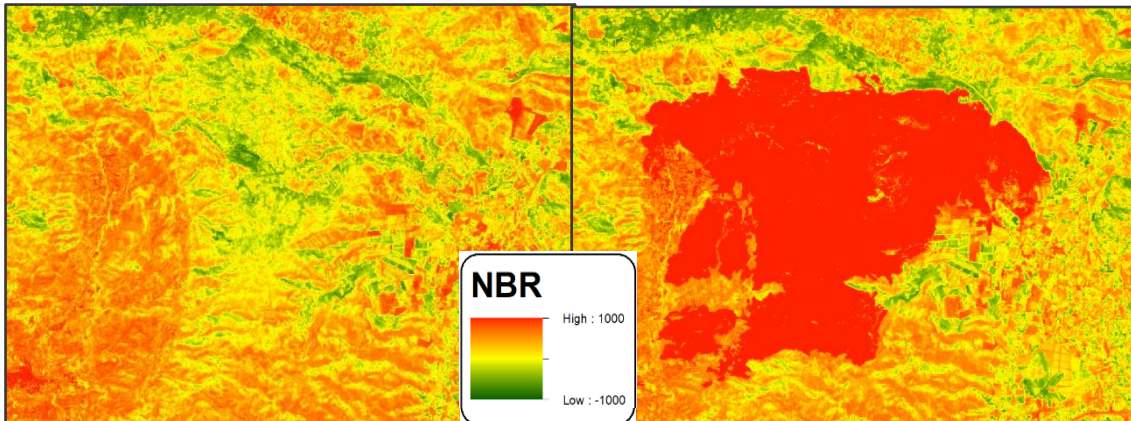


Ilustración 12: NBR antes del incendio (izquierda) y NBR posterior al incendio (derecha)
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

En la Ilustración 12 se observan dos rasters con valores de NBR. Los puntos verdes significan que el NBR es negativo (lo que indica una vegetación saludable), y los rojos que el NBR es positivo (lo que indica una vegetación afectada). A la derecha está el mapa con los valores del NBR del 4 de agosto de 2018. Se observan zonas verdes principalmente en el centro del mapa y varias zonas rojas alrededor. En la segunda imagen se puede ver una mancha roja intensa. Las zonas alrededor de la mancha no han sufrido ningún cambio apreciable.

En la Ilustración 13 se puede ver la resta de las dos imágenes de la Ilustración 12: el dNBR calculado inmediatamente después del incendio, clasificado en 5 diferentes categorías según su afectación:

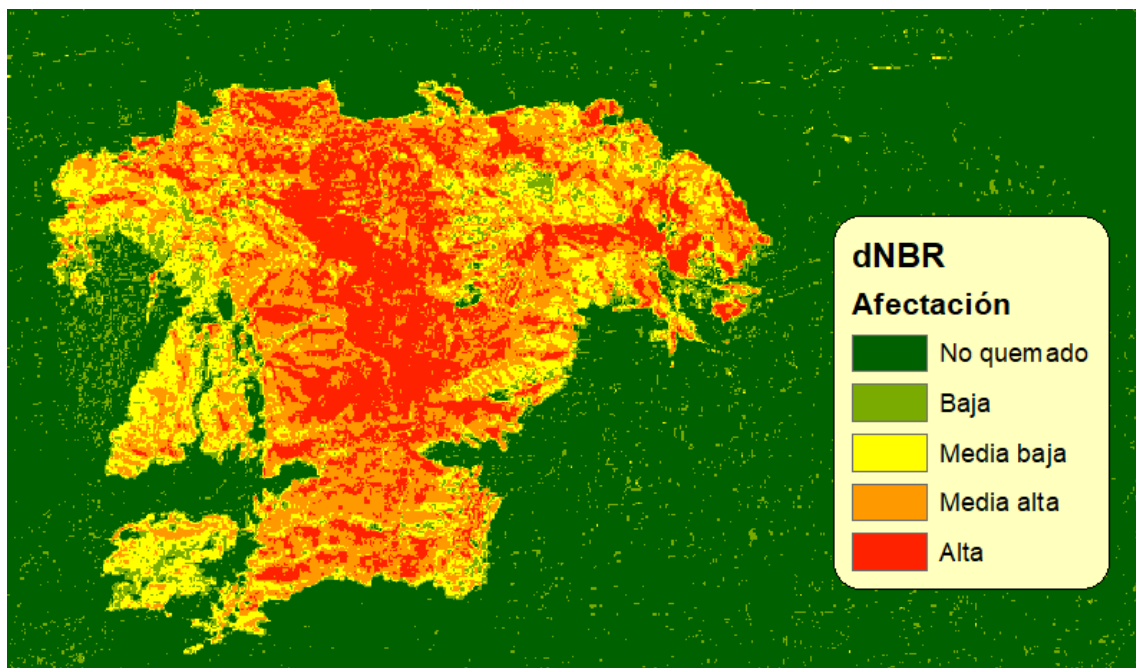


Ilustración 13: Mapa del delta Normalized Burn Ratio (dNBR) inmediatamente después del incendio
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

Se puede distinguir claramente una delimitación del incendio. En total ocupa un área de 3.111 ha y tiene un perímetro de 130 km de longitud. Esto indica un perímetro muy irregular con muchas lenguas (partes del fuego que se adelantan) y entrantes (partes donde el frente del fuego no pudo avanzar). La mayor parte (41%) de la superficie tienen una afección media alta, seguida por un 27% de superficie con una afección alta. Además, en el suroeste se puede observar un área separada del incendio principal, lo que puede indicar un foco secundario. Destacan especialmente varias zonas no quemadas interconectadas que se extienden en dirección norte-sur en el lado oeste del incendio. Además, existen islas dentro del incendio.

Tabla 2: Superficie en hectáreas de cada grado de afección en agosto 2018
Fuente: Elaboración propia

Afección	Área (ha)
Baja	280,08
Media Baja	724,52
Media Alta	1261,76
Alta	844,88
Total	3112,52

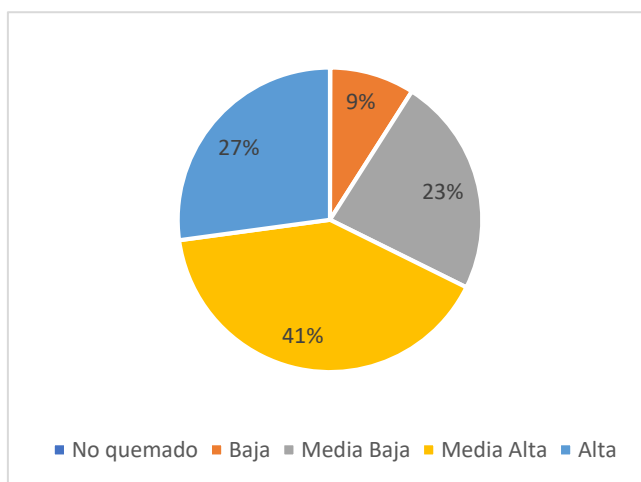


Ilustración 14: Composición de grados de afección en agosto 2018

Fuente: Elaboración propia

4.2 Índice de severidad - junio 2019

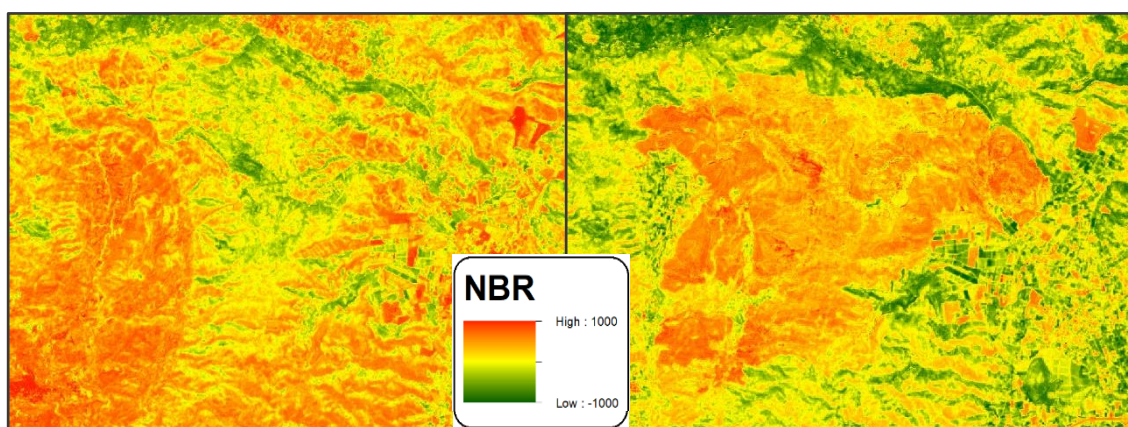


Ilustración 15: NBR antes del incendio (izquierda) y NBR 10 meses después del incendio (derecha)

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

La Ilustración 15 compara el mapa del NBR anterior al incendio, con el NBR tras 10 meses. La zona del incendio todavía se ve claramente marcada, aunque ya no en un rojo tan intenso como en la Ilustración 12. En el mapa que corresponde a junio 2019 destaca por tener zonas verdes alrededor del incendio.

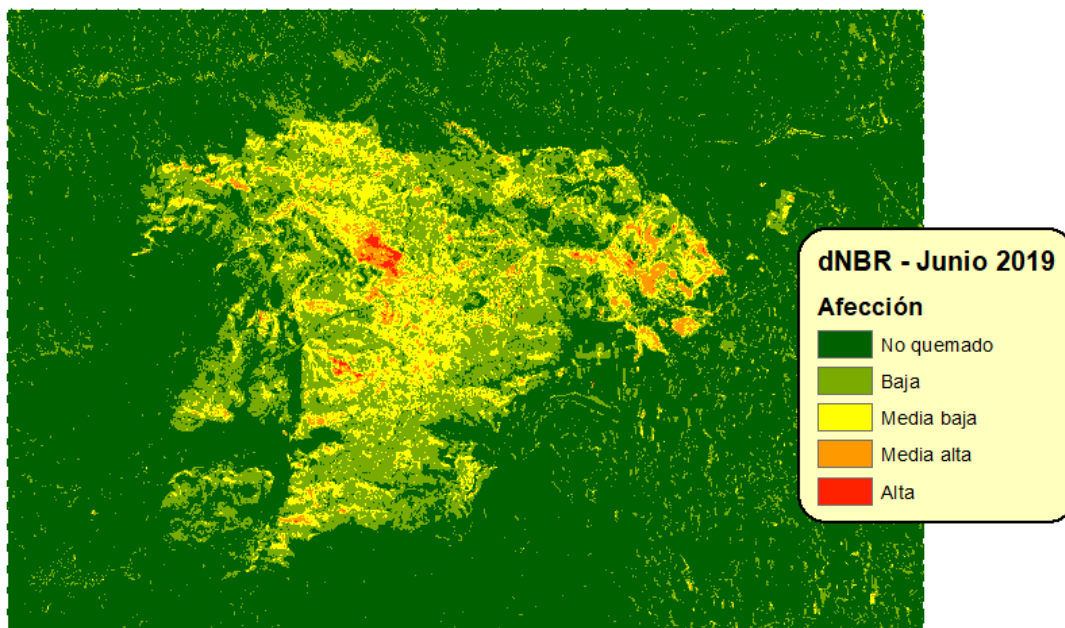


Ilustración 16: Mapa del delta Normalized Burn Ratio 10 meses después del incendio
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

En Ilustración 16 que presenta el dNBR a plazo medio, 10 meses tras el incendio, todavía se nota el área del incendio, aunque se observa una recuperación de la vegetación. La mayor parte de la superficie tiene una afección baja (50%) o media baja (25%). Otros 20% de las zonas dentro del perímetro del incendio se han recuperado cambiando a valores de no quemados (Ilustración 17). Solo hay 13 hectáreas que siguen con un grado de afección alto.

Tabla 3: Superficie en hectáreas de cada grado de afección en junio 2019
Fuente: Elaboración propia

Afección	Área (ha)
No quemado	612,32
Baja	1557,36
Media Baja	783,12
Media Alta	146,68
Alta	13,04
Total	3112,52

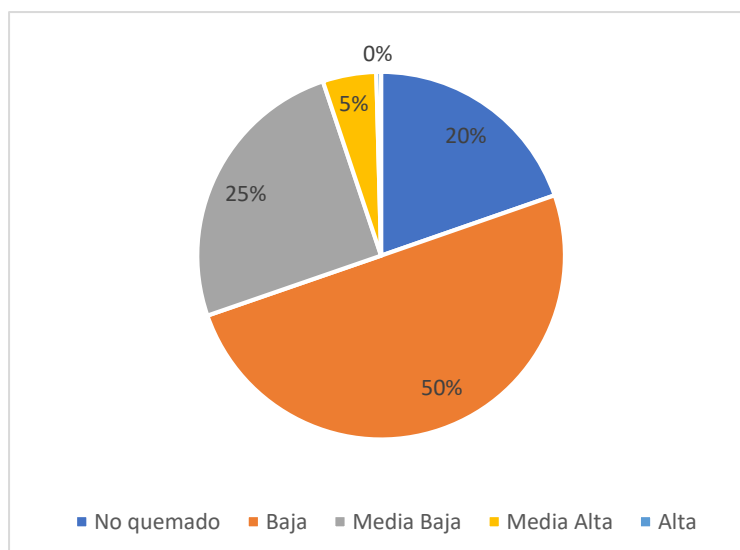


Ilustración 17: Composición de grados de afección en junio 2019
Fuente: Elaboración propia

4.3 Evolución de la vegetación – agosto 2018 a junio 2019

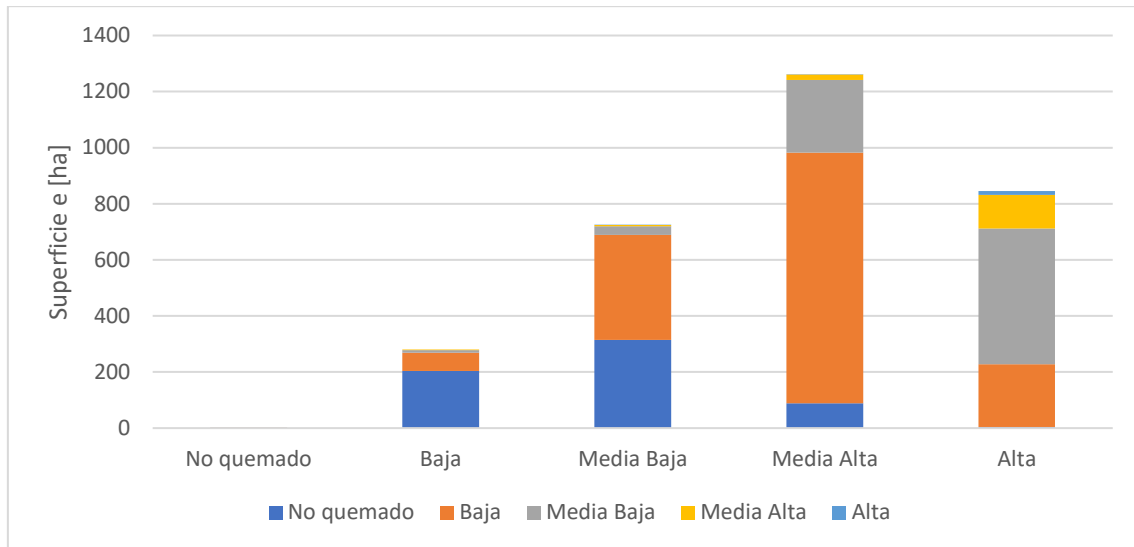


Ilustración 18: Grados de afección en agosto 2018 (eje X) y su cambio de afección hasta agosto 2019
Fuente: Elaboración propia

En el eje X de la Ilustración 18 se pueden ver cada grado de afección y la superficie que ocupaba directa después del incendio. En cada columna se puede ver cómo ha cambiado de grado de afección a lo largo de los primeros 10 meses posterior al incendio. La superficie que en agosto 2018 mostró una afección alta, cuenta con una pequeña parte que sigue con una afección alta, pero la mayor parte se ha convertido en suelo con afección media baja. El suelo que directamente después del incendio presentaba afección media alta se ha convertido en principalmente suelo de afección baja. En las zonas de suelos que presentaban afecciones bajas o medio bajas tras el incendio predomina el suelo “no quemado”, es decir recuperado totalmente.

4.4 Usos del suelo, CORINE

En la Ilustración 19 se puede ver la cobertura y el uso del suelo según el CORINE.

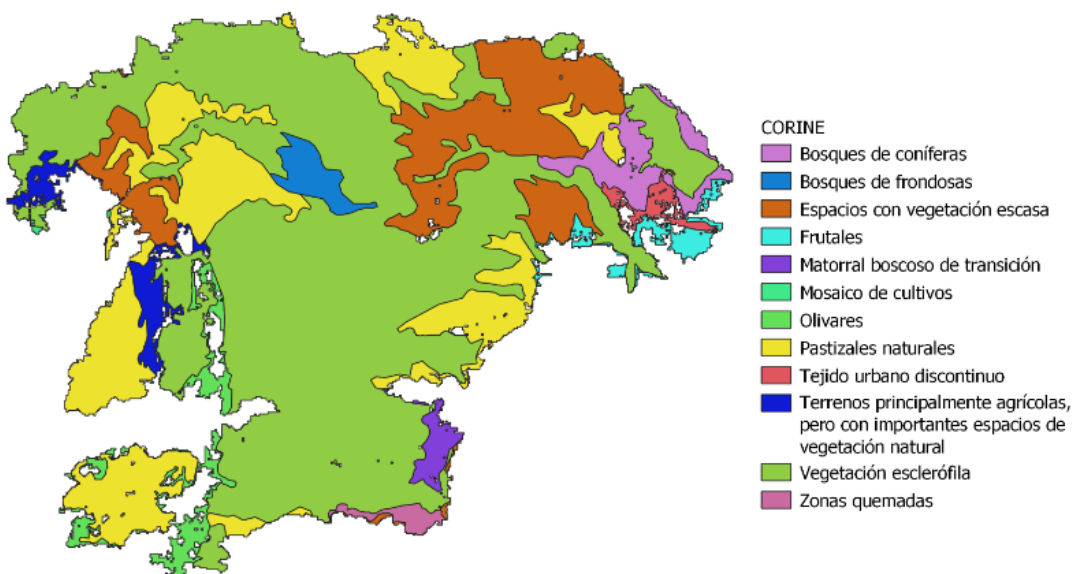


Ilustración 19: Mapa de cobertura y uso de suelo según el CORINE
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

Como se puede observar el tipo de uso de suelo con mayor porcentaje de ocupación corresponde a la vegetación esclerófila (como por ejemplo *Quercus suber* (alcornoque), *Cistus cyprius* (jara rizada) o *Lavandula stoechas* (Tomillo borriquero)) con un 56% de la superficie. Además de ser la categoría con mayor porcentaje de superficie también destaca por representar la parte central del incendio. Es decir que las restantes categorías se distribuyen más hacia los límites exteriores del incendio.

Las próximas categorías con más superficie afectada son: pastizales naturales con un 19% y espacios con vegetación escasa con un 12%. Las categorías con menos afectación son tejido urbano discontinuo, zonas quemadas anteriormente y mosaicos de cultivos. Las superficies absolutas se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: El área en hectáreas de cada tipo de ocupación de suelo según el CORINE
Fuente: Elaboración propia

Tipo Vegetación	Área (ha)	Área (%)
Vegetación esclerófila	1742,49	55,98
Pastizales naturales	597,27	19,19
Espacios con vegetación escasa	386,81	12,43
Bosques de coníferas	82,92	2,66
Olivares	79,98	2,57
Principalmente agrícolas, con vegetación natural	61,40	1,97
Bosques de frondosas	44,50	1,43
Frutales	42,06	1,35
Matorral boscoso de transición	28,25	0,91
Tejido urbano discontinuo	25,36	0,81
Zonas quemadas	19,34	0,62
Mosaico de cultivos	2,11	0,07
Total	3112,49	100

Se puede observar en la Ilustración 20 la combinación de datos entre los tipos de ocupación de suelo y el dNBR inmediato después del incendio. Las zonas con mayor afectación corresponden a las de menor variabilidad. Las zonas quemadas con una afectación baja tienen una mayor variabilidad de ocupación, destacando los pastizales naturales, la vegetación esclerófila y espacios con vegetación escasa. En las zonas con una afectación media baja estas tres categorías son las más importantes ya que en su conjunto representan el 90% de la superficie. A medida que va aumentando la afectación va creciendo el porcentaje de vegetación esclerófila. En la afectación alta, este tipo representa un 80% del suelo quemado.

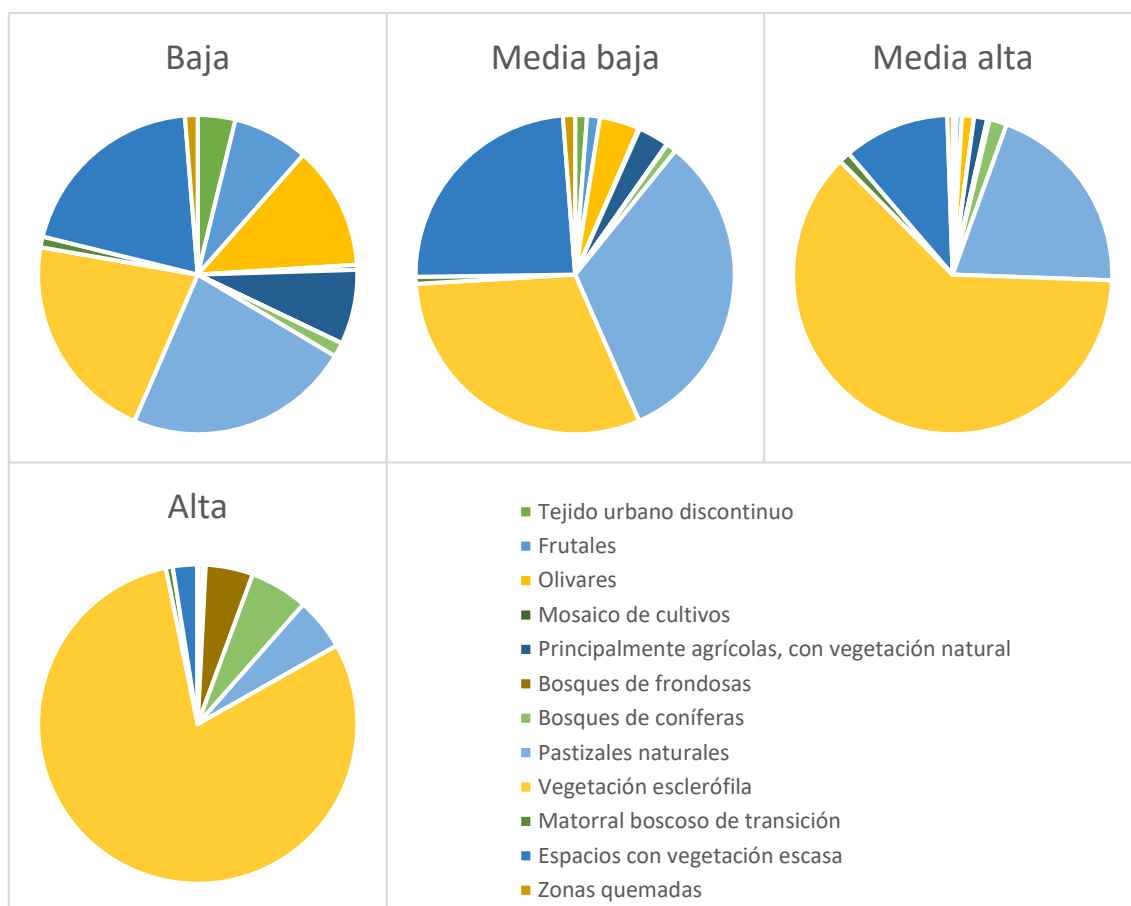


Ilustración 20: Representación gráfica de la combinación de datos entre el grado de afección inmediato y el CORINE

Fuente: Elaboración propia

A continuación, también se han combinado los datos de ocupación de suelo con el dNBR a plazo intermedio para ver como se ha recuperado la vegetación en su primera temporada vegetativa posterior al incendio. El cambio más importante es que hay zonas con valor de afección “no quemado” (612 ha), lo que supone aproximadamente un 20% de la superficie total quemada. La composición porcentual de cada grado de afección sigue aproximadamente el mismo patrón que la combinación con el dNBR inmediato. Con un grado de afección bajo los tipos de ocupación de suelo son variados, pero dominando las mismas tres categorías de antes: vegetación esclerófila, pastizales naturales y espacios con vegetación escasa. De estos tres la categoría que más superficie ocupa es la de vegetación esclerófila, ocupando más del 50% en los grados de afección baja, media baja y media alta.

Lo que si cambia con respecto al cruce inmediato es que en la afección media alta y alta, se notan fuertemente los tipos de bosques presentes: bosques de coníferas y bosques de frondosas. Ocupando este último casi un 70% del suelo con afección alta.

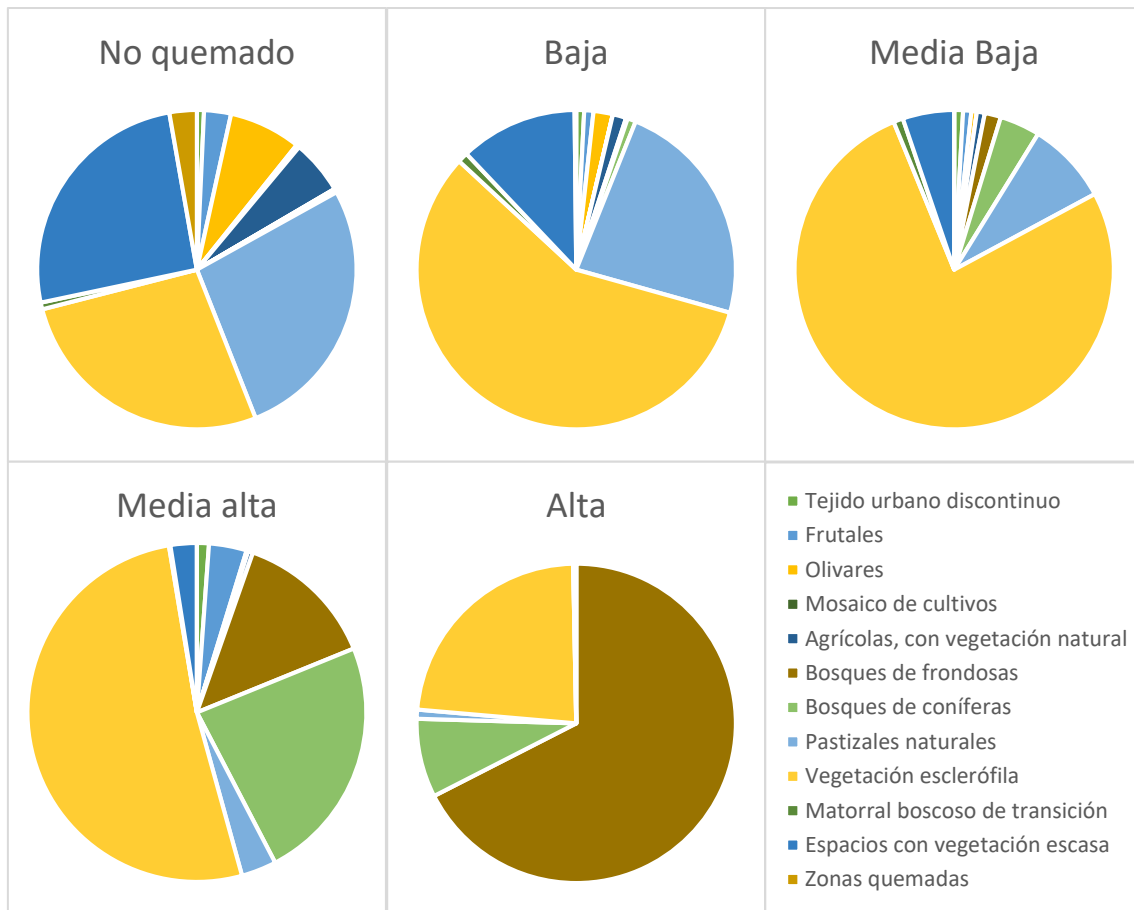
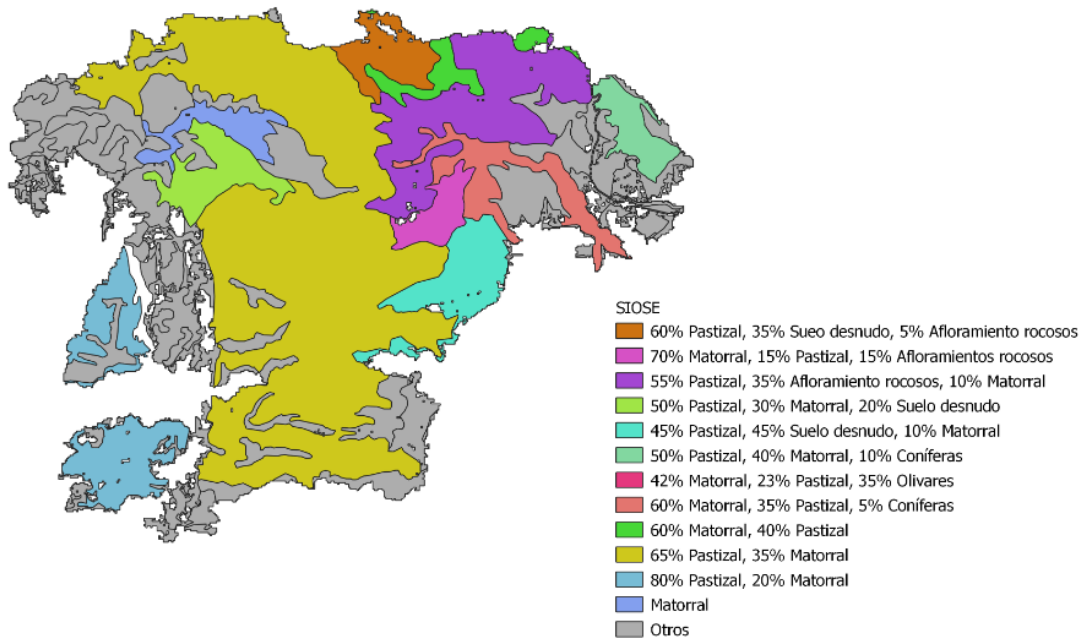


Ilustración 21: Representación gráfica de la combinación de datos entre el grado de afectación tras 10 meses y el CORINE
Fuente: Elaboración propia

4.5 Usos del suelo, SIOSE

En la Ilustración 22 se podrá observar la ocupación del suelo según el SIOSE. Como mencionado en el capítulo 3.1.3, la base de datos de SIOSE está orientada a objetos y por eso contiene información de la composición porcentual de ocupación de suelo de cada polígono. Esto dificulta mucho la representación cartográfica ya que hay un total de 107 polígonos comprendidos en el área del incendio. Por tanto, se ha decidido definir exclusivamente los polígonos con una superficie mayor a 50 hectáreas en la leyenda y omitir la composición de los restantes.

Se observa un predominio de pastizales y matorrales. Estos dos tipos de vegetación están presentes en cada uno de los polígonos analizados y componen las fracciones con mayor porcentaje. Otras ocupaciones presentes son afloramientos rocosos y suelos desnudos.



*Ilustración 22: Mapa de cobertura y uso de suelo según el SIOSE
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS*

4.6 Datos LIDAR

Con los datos LIDAR se pudo crear un modelo de altura de dosel, o canopy height model en inglés. El raster con las alturas se ha clasificado en 3 diferentes categorías: Suelo desnudo + pastizal, vegetación arbustiva y vegetación arbórea. El suelo desnudo + pastizal son únicamente las zonas con una altura menor que 0,25 metros, los arbustos se consideran desde una altura mayor a 0,25 hasta una altura 2,5 metros y todo por encima de 2,5 metros se consideran árboles.

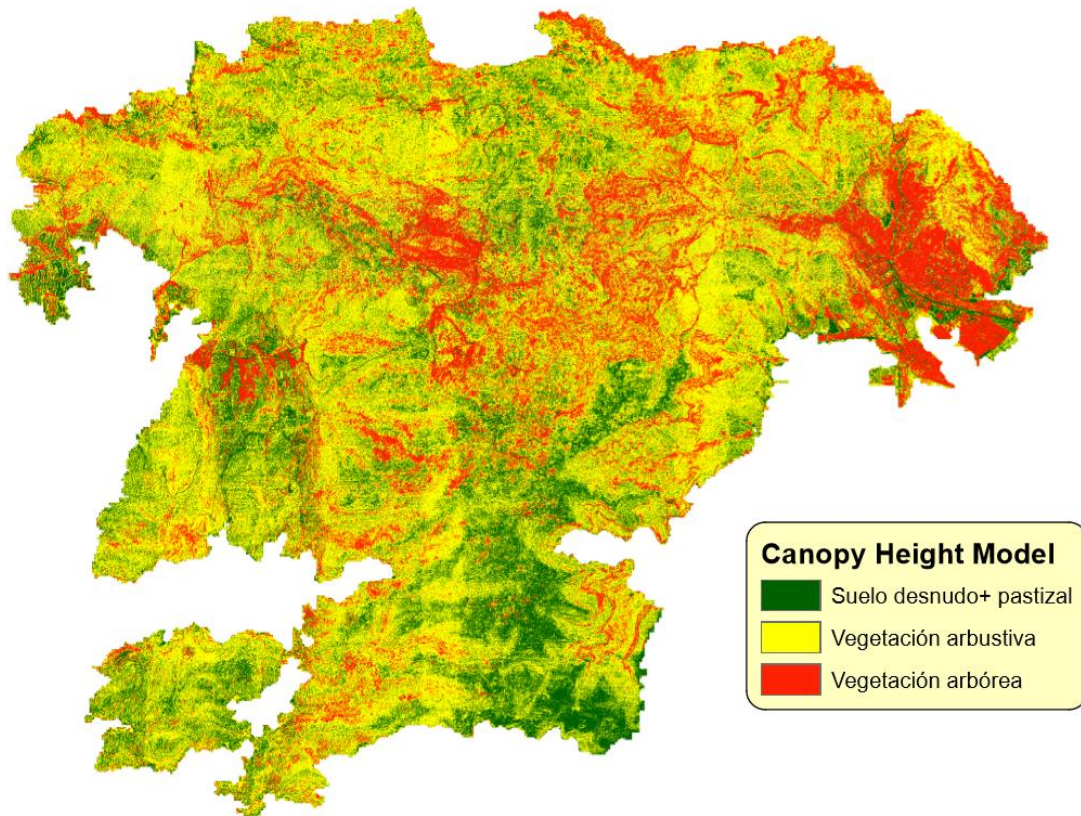


Ilustración 23: Modelo de altura de dosel
Fuente: Elaboración propia con datos LIDAR 2015

En general se puede decir que existe una mezcla muy homogénea de estos 3 estratos. Las excepciones son pocas: en el sureste de la superficie se puede ver un área en la cual predomina el suelo desnudo, en el noreste rodeando la urbanización de Montesol destaca la vegetación arbórea y en la parte central existe una zona que coincide con la microreserva Pla de Junquera en la que prevalece la vegetación arbórea.

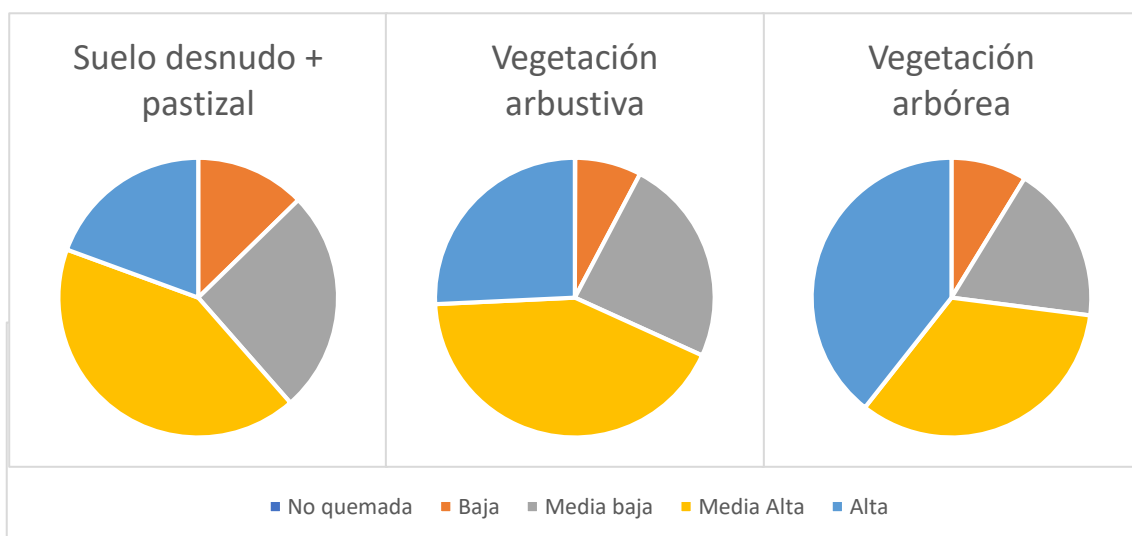


Ilustración 24: Representación gráfica del grado de afección inmediata según la altura de la vegetación
Fuente: Elaboración propia

Al igual que los datos de ocupación de suelo, las alturas también se han cruzado con la capa de afección de suelo, los resultados se pueden ver en la Tabla 7. La Ilustración 24 es una representación gráfica de la combinación con el dNBR calculados directamente después del incendio. En las tres categorías de vegetación la superficie afectada con valores de severidad bajo ha sido la menor. En la categoría suelo desnudo y pastizales la afección predominante es la media alta, seguida por la afección media baja. La vegetación arbustiva tiene un patrón de afección muy parecido al mencionado anteriormente. Los suelos con afección alta alcanzan el 40% de la vegetación arbórea, formando la afección predominante de esta estructura de vegetación.

Combinando los datos del canopy height model con el dNBR de junio 2019 se obtiene la Tabla 8 (anexo). La representación gráfica se puede ver en la Ilustración 25: Representación gráfica del grado de afección 10 meses después según la altura de la vegetación. En el suelo desnudo + pastizal más de la mitad de la superficie corresponde a suelo con afección baja, casi un tercio (30%) corresponde a suelos con la afección “no quemada” y el resto sigue teniendo una afección media baja. La vegetación arbustiva se parece mucho al suelo desnudo y pastizal. En la vegetación arbórea predominan las afecciones bajas y media baja, aunque también hay un porcentaje importante de suelos con afección media alta (16%) y un 2% de la superficie tiene una afección alta.

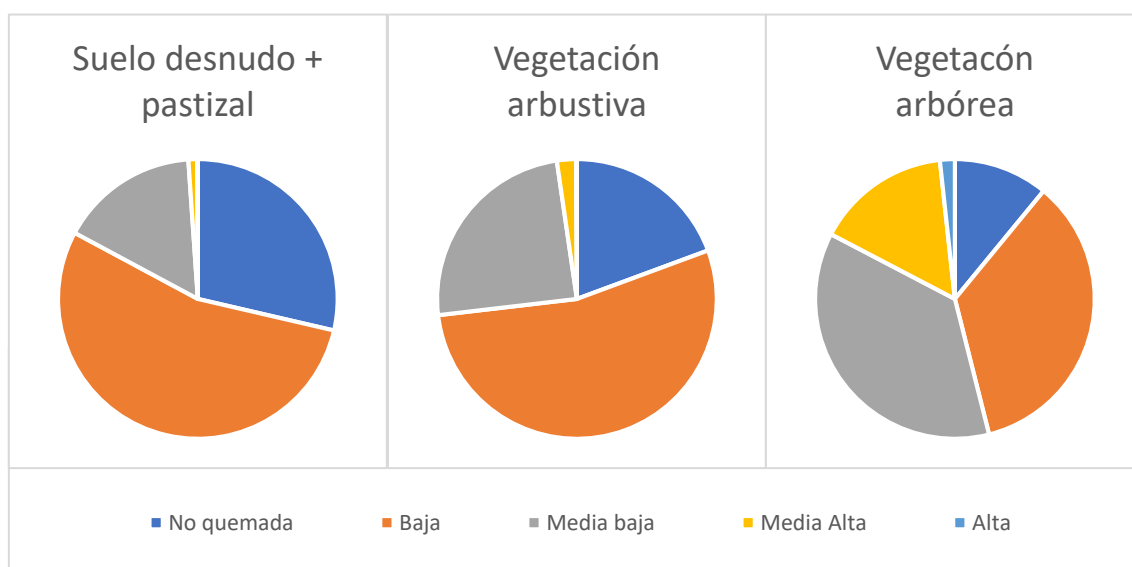


Ilustración 25: Representación gráfica del grado de afección 10 meses después según la altura de la vegetación

Fuente: Elaboración propia

4.7 Validación visual

Se han analizado dos localizaciones por cada grado deafección. Como mencionado anteriormente, la superficie conafección baja es mínima por la cual no se ha considerado esa clase en este análisis.

Zonas conafección media baja:

Esta fotografía se ha tomado desde carrer de L'Espart, a solo unos pocos metros de distancia a la CV 675, mirando hacia el suroeste a lo largo de la calle Espart. En la foto anterior al incendio se puede observar una gran cantidad de vegetación en las propiedades privadas, tanto arbustiva como arbórea. En el fondo se ve una montaña cubierta de vegetación. En la fotografía posterior al incendio en contrario se puede ver toda la montaña desnuda con únicamente algunos pocos troncos desnudos en la cima. En las propiedades ya no se puede ver ningún tipo de vegetación que sobrepase las murallas.

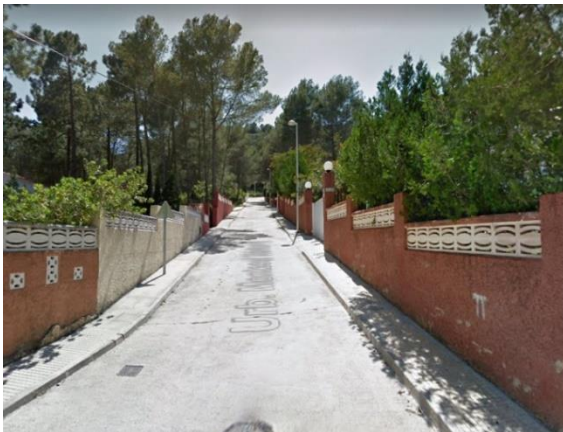
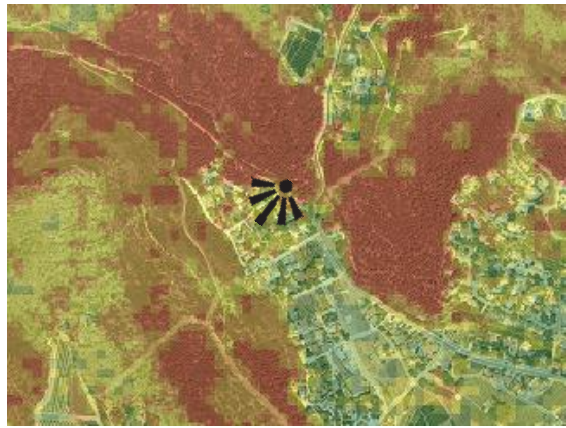
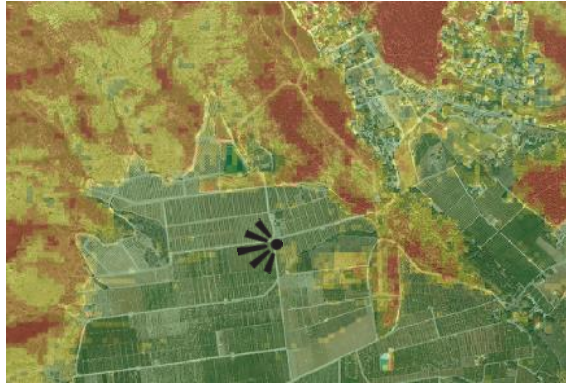


Ilustración 26: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio conafección media baja (1)

Fuente: Elaboración propia

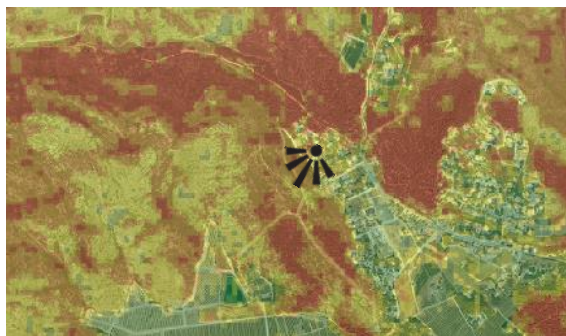
La siguiente fotografía se ha tomado desde un camino sin nombre mirando hacia la ladera este de una montaña. Aunque no se aprecia mucho detalle por la distancia, se aprecia una diferencia considerable en el color de la montaña. Antes del incendio era totalmente verde a excepción de unas rocas sobresalientes. Después del incendio predomina el suelo desnudo en toda la ladera.



*Ilustración 27: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con afectación media baja (2)
Fuente: Elaboración propia*

Zonas de afectación media altas:

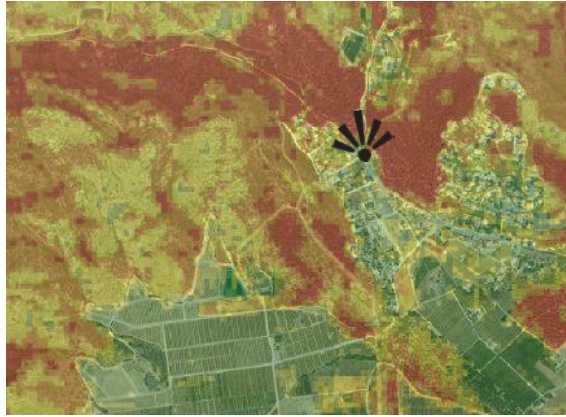
La Ilustración 28 corresponde con el cruce de Carrer de L’Espany y Carrer La Malva. Se ve un terreno con vegetación arbustiva cerca de la calle y vegetación arbórea más alejado de la calle. El terreno tiene una pendiente significativa. En la imagen posterior al incendio se observa unos troncos quemados a lo lejos, pero ningún tipo de vegetación cerca de la calle. Los troncos quemados se han talado y se han utilizado para formar barreras perpendiculares a la pendiente para evitar la erosión.



*Ilustración 28: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afectación media alta
Fuente: Elaboración propia*

Zonas de afección altas:

Estas fotografías se han tomado en el carrer de L'Espart, a solo unos pocos metros de distancia a la CV 675. En la fotografía se puede observar un camino de tierra franqueado por muro perimetral de una casa y una zona de bosque. En la foto anterior al incendio se puede observar que existía vegetación arbórea en la propiedad y que tras el incendio desapareció por completo. Al otro lado del camino se encuentra una franja arbustiva de aproximadamente 2m de altura y el comienzo de un pinar. Posterior al incendio se puede observar que la totalidad de la franja arbustiva ha desaparecido, dejando únicamente algunas herbáceas que habrán rebrotado. El pinar se encuentra completamente quemado, con troncos negros y sin ningún indicio de que pueda rebrotar.



*Ilustración 29: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afección alta (1)
Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, la última comparación de fotografías que se ha realizado es de la misma ubicación que la anterior, pero mirando hacia el este. Otra vez, la diferencia es notable: la totalidad de los árboles, han sido quemados. En esta imagen además se puede observar que ya están rebrotando herbáceas en la superficie del suelo.

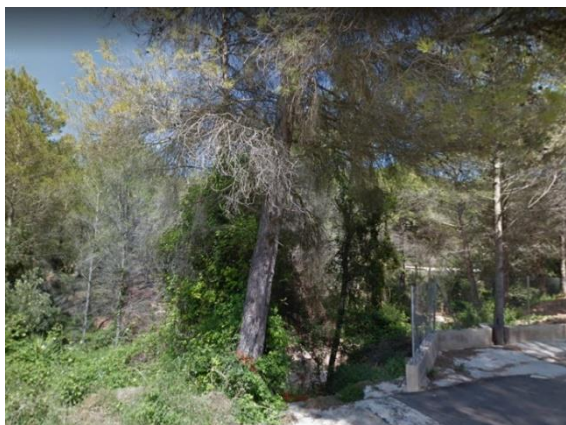
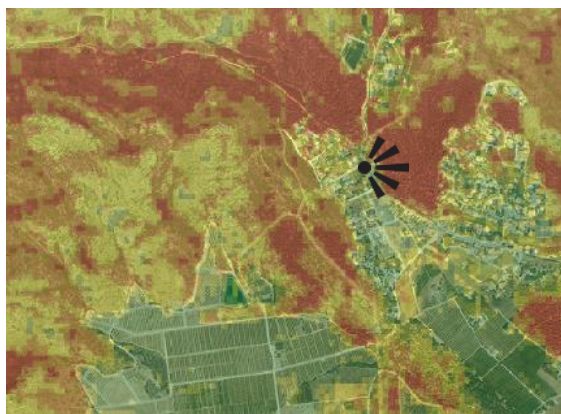


Ilustración 30: Comparación fotográfica anterior y posterior al incendio con grado de afectación alta (2)

Fuente: Elaboración propia

5. Discusión

El cálculo del dNBR, y el perímetro resultante del incendio se ha obtenido correctamente por la similitud con el perímetro facilitado por la dirección general de prevención de incendios forestales de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural:

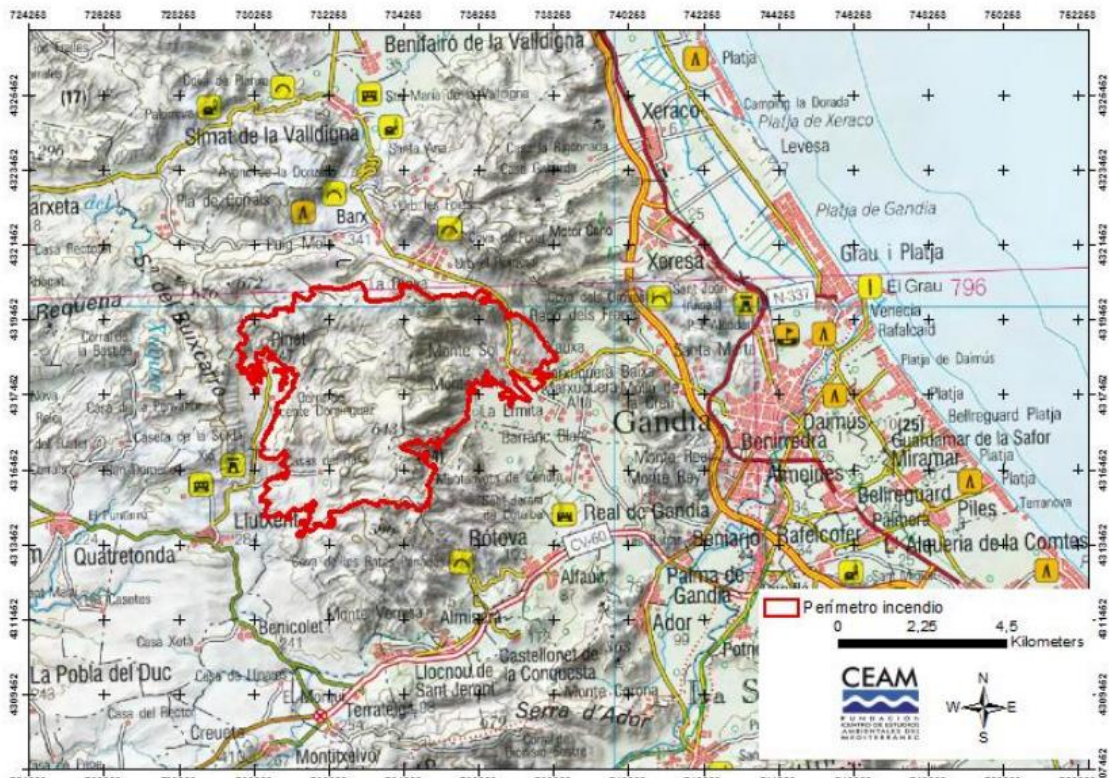


Ilustración 31: Perímetro del incendio según el CEAM
Fuente: Informe sobre el impacto del incendio forestal de Llutxent

Para poder analizar y finalmente poder entender el dNBR calculado se han empleado 3 diferentes métodos en este estudio. Primero, un cruce de los datos espaciales con bases de datos que contienen la ocupación del suelo, segundo un cruce con un modelo de dosel para averiguar la afección a la vegetación según su altura y por último un análisis In situ de antes y después del incendio para tener una evaluación cualitativa de los impactos que provocó este incendio.

En relación con la ocupación del suelo del CORINE, se observa que los suelos con vegetación natural (vegetación esclerófila, pastizales naturales, espacios con vegetación escasa, etc.) son los que ocupan el mayor porcentaje de la superficie quemada, mientras que los suelos con influencia antropogénica (mosaico de cultivos, zonas quemadas, tejido urbano discontinuo, etc.), representan un área menor. Esto se ve reforzado por los datos que nos proporcione el SIOSE, según el cual todos los polígonos mayores de 50 hectáreas están principalmente compuestos por matorral y pastizal.

A continuación, se analizarán diferentes tipos de ocupación de suelo según su grado de afección, y no según la superficie afectada. En la Ilustración 20, se observa que los seis tipos de ocupación de suelo con más importancia, en orden de su cobertura porcentual, son: pastizales naturales, vegetación esclerófila espacios con vegetación escasa, olivares, espacios principalmente agrícolas y frutales. Como se ha comentado anteriormente, todavía existe una elevada variabilidad. Las tres tipologías con el porcentaje más alto son exactamente los tres tipos de vegetación natural que más superficie cubren. Conforme va aumentando la afección esta tendencia de vegetación natural sigue incrementando. Las tres tipologías representan el 88% de la superficie con afección media baja. Aquí se va notando de nuevo que la vegetación natural ha sido la más afectada.

En la misma Ilustración 20, en las afecciones media alta y alta se nota un fuerte predominio de la vegetación esclerófila. Dado que la vegetación esclerófila supone más de la mitad de la superficie quemada y además es el tipo de vegetación natural que más biomasa contiene es lo previsible que fuera la categoría de ocupación de suelo más afectada.

Los suelos con vegetación natural, en especial con vegetación esclerófila, no solo han sido el tipo de suelo con mayor superficie quemada, sino también el tipo de suelo con la afección más alta. Este resultado se puede explicar teniendo en cuenta que, por un lado, influye el cuidado que los humanos damos a ciertos tipos de suelo. Si un suelo beneficia directamente a los humanos, estos son más propensos a mantenerlo y seguir las recomendaciones estatales para prevenir incendios. Zonas en las cuales se han realizados actuaciones preventivas presentan menor riesgo de incendio y propagación del fuego.



*Ilustración 32: Imagen mostrando la diferencia entre cultivos y bosque
Fuente: Elaboración propia*

Se puede comprobar varios casos de lo expuesto anteriormente en la Ilustración 32. En esta se puede observar un bosque limitando a un cultivo. La zona entremedia de estos dos no supera 2 metros de anchura y aun así el bosque está completamente quemado y el cultivo sigue intacto.

La segunda explicación de los resultados se deriva del concepto que el método dNBR clasifica la severidad del fuego de forma absoluta y no tiene en cuenta la densidad de la vegetación presente (Miller y Thode, 2007). Se puede ver un ejemplo fácil en la Ilustración 33. Una vegetación con densidad media que se ha quemado completamente (ejemplo A) presenta un dNBR inferior a un área con densidad alta que se ha quemado solo a mitad (ejemplo C), aunque su fuego tuvo una severidad mayor. Por lo mismo, un incendio de severidad alta presenta dos dNBRs muy diferentes según la densidad de vegetación en la que arrasó (ejemplo A y B). Volviendo al incendio de Lutxent es obvio que, con la misma intensidad de fuego, cultivos muestren una afección menor dado que la densidad de los árboles es significativamente inferior a los bosques que crecen de forma natural.

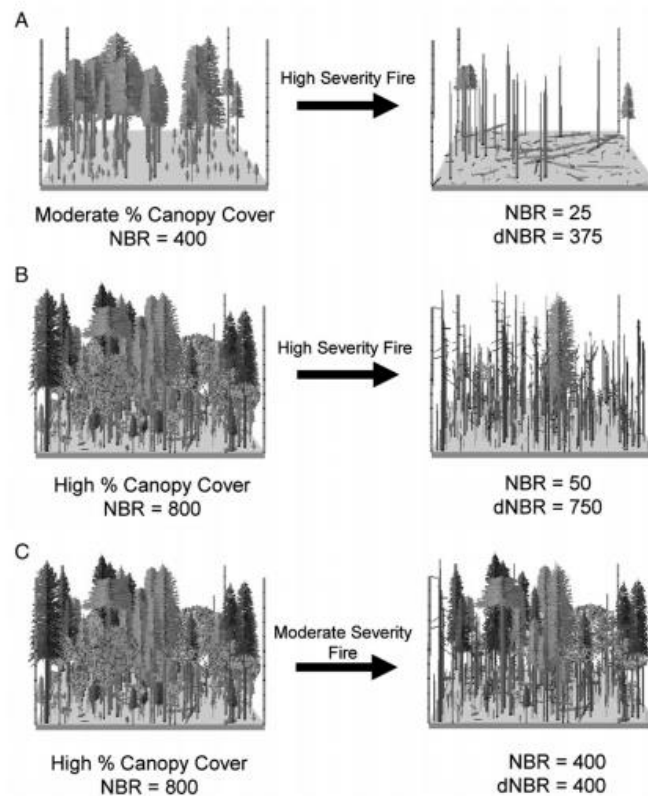


Fig. 3. Typical NBR and dNBR values in two plots with moderate (A) and high (B and C) percent canopy cover before and after experiencing high (A and B) or moderate severity fire (C). An NBR value of 25 indicates little to no live vegetation exists, where as a value of 800 indicates dense vegetation.

Ilustración 33: Ejemplos de dNBR en situaciones con diferentes intensidades de fuego y densidades de vegetación

Fuente: Miller y Thode, 2007

El análisis comparando fotografías del antes y después también apoya esta afirmación. La primera imagen (Ilustración 26) se observó un predominio de propiedades privadas con casas. Dado que en la foto posterior al incendio ya no se puede ver nada de vegetación, se ha quemado la totalidad de la biomasa presente, pero aún así no marca una afección alta. Esto se puede explicar teniendo en cuenta que al tener construcciones se reduce la densidad de la biomasa y se califica con un dNBR menor. Es lo mismo que en el caso A de la Ilustración 33. En la foto de afección media alta se puede aplicar el mismo concepto. Al tener una pendiente significativa el número de árboles disminuye y aun quemándose todo no llega a tener una clasificación de afección alta según el método dNBR.

En conclusión, el método dNBR está definido para terrenos homogéneos, con el mismo tipo de vegetación, el mismo suelo y la misma gestión del mismo. Por tanto, es complejo evaluar un terreno y la severidad que tuvo un fuego si el terreno está compuesto por un mosaico de tipologías de ocupación de suelos.

Partiendo de esta primera conclusión a partir de ahora no se tendrá en cuenta las zonas cerca del perímetro con ocupaciones variadas y el trabajo se centrará únicamente en la vegetación natural de la parte central del fuego. Como se ha mencionado anteriormente la tipología principal es vegetación esclerófila.

En el incendio de Llutxent se observan zonas de acumulación de arbolado y otras donde se acumulan arbustos. En general suele haber una mezcla homogénea de los tres estratos establecidos. En el cruce de datos con el grado de afección inmediato después del incendio resulta que el suelo desnudo-pastizal tiene mayoritariamente una afección media alta al igual que la vegetación arbustiva, mientras que en la vegetación arbórea prevalece un grado de afección alto. Este último dato es fácil de entender ya que el grado de afección mide la cantidad de biomasa perdida. En zonas con árboles existe mucha más vegetación que en zonas arbustivas y, por lo tanto, quemándose el mismo porcentaje de vegetación existente antes del incendio, será clasificado con un grado más alto de afección que una zona arbustiva.

En el cruce de datos a plazo intermedio se puede observar un cambio radical de los grados de afección predominantes. Posterior al incendio dominan las superficies con afección alta y media alta, mientras que 10 meses después predominan las afecciones bajas y media baja. Esto demuestra una alta tasa de recuperación del ecosistema.

Las zonas de arbolado, en el caso de muerte por el incendio, necesitan varios años para rebrotar, crecer y volver a tener la misma cantidad de biomasa. Que el 70% de las zonas de arbolado tengan una afección baja o media baja indica que gran parte de los árboles sigue vivo y pudo rebrotar en el año siguiente al incendio, aunque con una cantidad de frondosidad reducida. Existen varias especies que tienen una alta tolerancia al fuego como por ejemplo el *Quercus suber* (alcornoque), que tiene una capa de felema gruesa que protege al tronco de las altas temperaturas (Arbo, 2013). En la Ilustración 34 se puede ver un alcornoque en junio del año siguiente al incendio. El tronco tiene un color totalmente negro, lo que indica que el fuego arrasó en esa zona, pero gracias a su capa de felema la conducción del floema y xilema no se ha visto afectada por lo que el árbol ha podido rebrotar.

El 21% de la zona arbolada que sigue con una afección media alta o alta, se pueden explicar si uno mira la Ilustración 21. La composición de usos del suelo según afección se mantiene más o menos igual 10 meses después del incendio que justo después del incendio con una sola excepción: en los suelos con afección alta destacan los bosques de coníferas y los bosques de frondosas. Estas dos categorías siguen con una afección alta ya que están compuestas por especies poco resistentes al fuego, como por ejemplo el *Pinus sylvestris* (pino silvestre).



Ilustración 34: Brote en un *Quercus suber*
Fuente: Elaboración propia

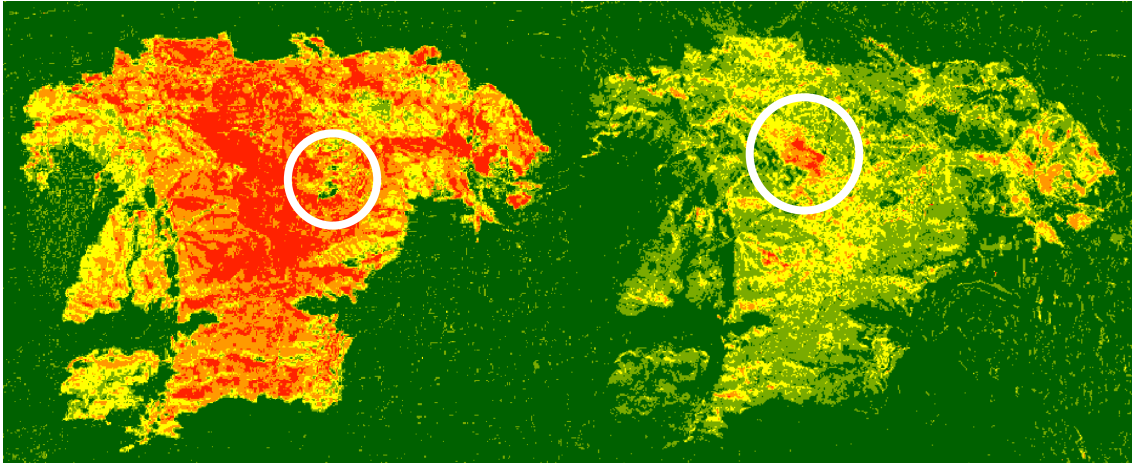
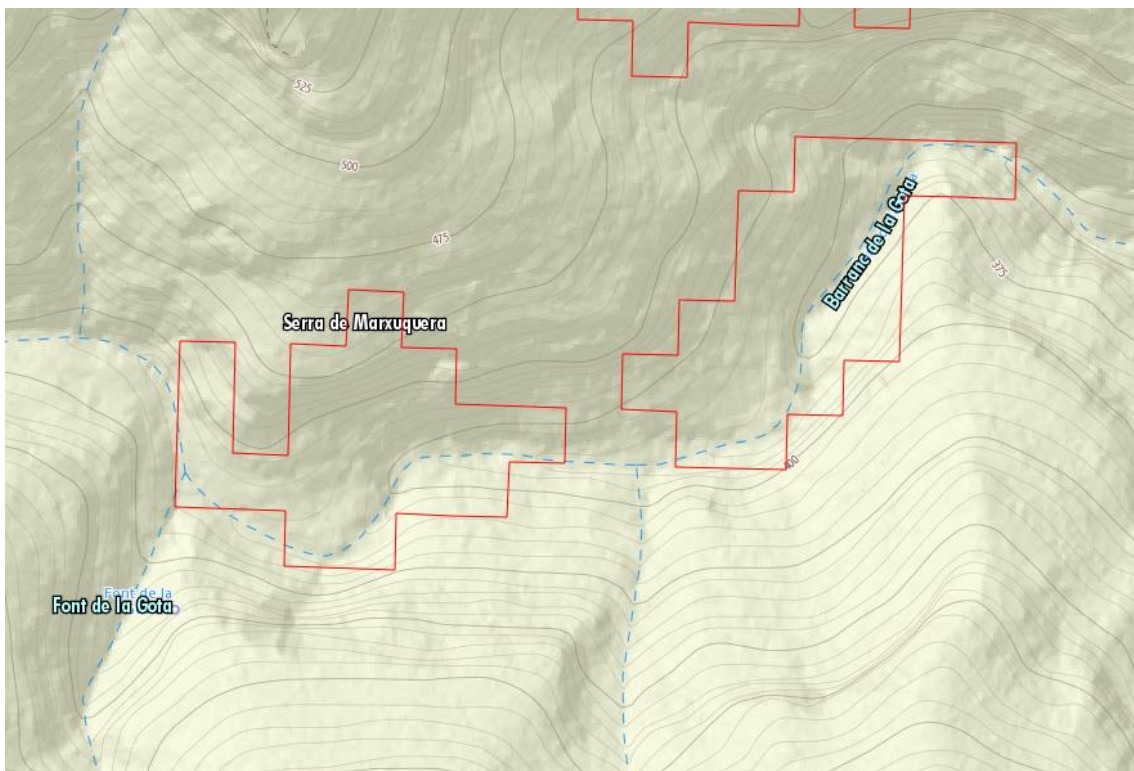


Ilustración 35: Casos de especial atención, Izquierda: Caso 1 en el mapa del dNBR inmediato, Derecha: Caso dos en el mapa del dNBR a plazo intermedio

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS

Resaltan dos espacios por su comportamiento fuera de lo general. En la Ilustración 35 se pueden ver destacados. Por un lado, está el caso 1, una zona en medio del incendio que no mostró ningún tipo de afección inmediatamente después del incendio, aunque estuvo rodeado por zonas con afección alta y, por otro lado, el caso 2, el cual es la zona con mayor tamaño donde sigue habiendo una afección alta transcurridos los 10 meses.



*Ilustración 36: zona del caso 1 encima de mapa topográfico
Fuente: Elaboración propia mediante el visor de la Generalitat Valenciana*

Si buscamos este primer caso en el visor de la generalitat, entonces se aclara rápidamente que la forma de la zona no afectada se asimila a la cuenca del barranco de la Gota. En un barranco las condiciones cambian mucho. Por un lado, existe más agua, lo que mantiene la afección baja, ya que la energía del incendio se gasta primero en evaporar el agua presente. Y, por otro lado, dependiendo de la pendiente a los dos lados del barranco se produce una sombra durante gran parte del día lo que mantiene la temperatura más baja que en otras zonas adyacente.



Ilustración 37: Imagen del caso 2
Fuente: Elaboración propia

En el segundo caso (Ilustración 37) se puede observar que la zona está completamente cubierta de un pinar quemado que aún demuestra un alto grado de afección. Como mencionado anteriormente los pinos silvestres tienen una baja resistencia a incendios y tardan muchos años en recuperarse. Lo que destaca es que justo al lado del pinar se ubica una zona en la cual los árboles están rebrotando vigorosamente, esta zona, es la microreserva Pla de Junquera.

La microreserva contiene el hábitat prioritario 9330 (Bosques mediterráneos de climas relativamente oceánicos y sustratos ácidos dominados por el alcornoque (*Quercus suber*)). Esta fue protegida por una orden de la Conselleria de Medio Ambiente el 22 de octubre de 2002 y tiene un plan de gestión vigente. Según ese plan se está realizando un refuerzo de la población de los alcornoques con plantones recogidos en esa misma microreserva. Además, se establece que se realice un aclareo de pinos que se encuentran cerca a los alcornoques. Mediante este plan de gestión, la Conselleria está tratando de apoyar a la expansión del alcornocal y a reducir las superficies de pinares. Esto afectará positivamente la recuperación después de un incendio ya que, como mencionado anteriormente, los alcornoques son bastante resistentes a altas temperaturas. En la Ilustración 38 se puede observar el efecto del fuego en los pinos (a la izquierda) y en un alcornocal (a la derecha).



*Ilustración 38: Imagen de Pla de Junquera comparando Pinos (izquierda) y Alcornosques (derecha)
Fuente: Elaboración propia*

6. Conclusión

Se puede sacar dos tipos de conclusiones, por un lado, conclusiones o comentarios de los métodos empleados y por el otro lado conclusiones del contenido: la vegetación del incendio.

El método empleado en este trabajo es, como Brewer (2005) ha resaltado, un método fácil de emplear y aplicable a la mayoría de los ecosistemas sin necesidad de ajustarlo. Esto lo ha convertido en un método comúnmente usado, pero también conlleva la desventaja de que solo se puede aplicar a terrenos homogéneos. En el caso del incendio de Llutxent se complica la aplicación del dNBR por la alta heterogeneidad del terreno. En futuros estudios se debe contemplar el uso de otros métodos para calcular la severidad de incendios heterogéneos como por ejemplo una versión relativa del dNBR (Miller y Thode, 2007).

En cuanto a la vegetación hay que tener en mente que la vegetación presente está adaptada a incendios y requiere de ellos para mantener su ciclo de regeneración y, por lo tanto, se ha recuperado muy bien. Las zonas con otro tipo de vegetación (como por ejemplo frondosas) destacan por su lenta recuperación. Para minimizar el daño en futuros incendios se debe apoyar a la vegetación esclerófila y reducir los tipos de vegetación que no estén adaptados a fuegos a zonas menos susceptibles, como por ejemplo barrancos. La Generalitat ya está llevando a cabo planes de actuación de este tipo, pero únicamente en algunas zonas que están incluidas en instrumentos de protección de hábitats.

Finalmente, hay que dejar claro que estas medidas solo sirven como un “parche”, que amortiza el daño provocado. Para reducir el número de superincendios se deben combatir las principales causas: abandono rural, falta de aprovechamiento del bosque y el cambio climático.

Futuras líneas de investigación podrían aplicar esta misma metodología a otros superincendios como los que están sucediendo ahora mismo, para confirmar y mejorar los resultados hallados.

7. Bibliografía

- Acosta Gallo, B., & Díaz Pineda, F. (2012). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, Sección III Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas, Capítulo 5 Bosque y matorral esclerófilo*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente Y medio Rural y Marino & Fundación Biodiversidad.
- Alloza, J. A., Santana, V., Valdecantos, A., & Vallejo, V. R. (2018). *Informe sobre el impacto del incendio forestal e Llutxent, 2018*. Valencia: Fundación Centro de Estudios ambientales del Mediterráneo.
- Arbo, M. M. (2013). *Morfología de Plantas vasculares*. Corrientes: Universidad Nacional de Nordeste.
- Brewer, C. K., Winne, J. C., Redmond, R. L., Opitz, D. W., & Mangrich, M. V. (2005). Classifying and Mapping Wildfire Severity: A Comparison of Methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 71, No. 11*, 1311-1320.
- Danko III, J. J., Rogan, J., Kulakowski, D., & McConnell, M. (2014). Mapping Burn Severity using the Composite Burn Index in an Oak Savannah in Central Massachusetts. *The Geographic Bulletin*, 55, 36-48.
- Equipo técnico nacional SIOSE. (2018). *Estructura y consulta de la base de datos SIOSE*. Madrid: Gobierno de España.
- Gomez, S., & Álvarez, T. (9 de Agosto de 2018). Arrasadas 3.000 hectáreas en seis municipios. *Levante - EMV*.
- Guerrero, A., Pineda, L., Palà, V., & Corbera, J. (2017). Estudio de severidad en el incendio de Albinyana (Catalunya) a partir de datos Sentinel-2. *Revista de teledetección*, 49, 115-121.
- Hernández, L. (2019). *Arde el Mediterráneo, Propuesta mediterránea de WWF para la prevención de incendios forestales*. Madrid: WWF.
- INTA Copernicus Relay. (6 de Octubre de 2017). *Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial*. Obtenido de http://www.inta.es/WEB/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1507278650016
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review an suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 116-126.
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). *Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods*. Fort Collins: USDA Forest Service - Rocky Mountain Research Station Publications.
- La Vanguardia. (30 de Junio de 2019). El estado de todos los incendios que azotan España. *La Vanguardia*.
- Magdaleno Mas, F., & Martínez Romero, R. (2006). Aplicaciones de la teledetección láser (LIDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial. *Ingeniería civil* 142/2006, 1-2.
- McGaughey, R. J. (2018). *Fusion/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization*. Washington: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative. *Remote Sensing of Environment* 109, 66-80.
- Moreno Rodriguez, J. M. (2005). *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente.
- Nebor, J. R. (2004). *Serres del Montdúver i Marxuquera, Standard data form*. NATURA 2000.
- ORDEN 13174/2002, del 22 de octubre de 2002, de la Consellería de Medio Ambiente, por la que se declaran 22 microreservas vegetales en la provincia de Valencia, publicado en DOGV 4390 de fecha 02.12.2002
- Quílez Moraga, R. (2018). Los incendios forestales en la comunidad valenciana en el contexto del cambio climático. *Congreso forestal de la C.V.: Gestión de incendios forestales en el contexto del cambio climático*, 8-28.
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montavez, J. P., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications* 9, Artículo: 3821.

7.1 Páginas Web y Programas usados

ArcGIS

CNIG <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

Copernicus <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>

CORINE <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=MPEIC>

FUSION http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusion_overview.html

Google Street View <https://www.google.com/streetview/>

IDEV <http://www.icv.gva.es/es>

Sen2Cor <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>

SIOSE <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=MPEIC>

SNAP <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

QGIS 2.18 <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>

8. Anexo

Tabla 5: Combinación de datos de afección de agosto 2018 con el CORINE

Afección	Uso de suelo	Área (ha)	VALUE
Baja	Tejido urbano discontinuo	10,68	28
	Frutales	21,56	31
	Olivares	35,04	42
	Mosaico de cultivos	1,4	38
	Principalmente agrícolas, con Vegetación natural	21,16	24
	Bosques de frondosas	0,04	29
	Bosques de coníferas	4,04	16
	Pastizales naturales	64,32	2
	Vegetación esclerófila	59,52	1
	Matorral boscoso de transición	3,04	47
	Espacios con Vegetación escasa	55,68	11
	Zonas quemadas	3,6	54
	Media baja	Tejido urbano discontinuo	8,64
Frutales		9,52	33
Olivares		29,08	43
Mosaico de cultivos		0,88	39
Principalmente agrícolas, con Vegetación natural		22,52	22
Bosques de frondosas		0,4	21
Bosques de coníferas		7,48	15
Pastizales naturales		236,2	3
Vegetación esclerófila		221,96	5
Matorral boscoso de transición		5,12	48
Espacios con Vegetación escasa		173,8	12
Zonas quemadas		8,92	53
Media alta		Tejido urbano discontinuo	5,2
	Frutales	6,64	30
	Olivares	15,4	44
	Mosaico de cultivos	0,08	40
	Principalmente agrícolas, con Vegetación natural	16,68	23
	Bosques de frondosas	3,24	20
	Bosques de coníferas	22,16	17
	Pastizales naturales	253,24	6
	Vegetación esclerófila	782,32	7
	Matorral boscoso de transición	14,4	50
	Espacios con Vegetación escasa	135,64	13
	Zonas quemadas	6,76	52
	Alta	Tejido urbano discontinuo	0,96
Frutales		4	34
Olivares		0,72	46
Principalmente agrícolas, con Vegetación natural		1,08	25
Bosques de frondosas		40,64	19
Bosques de coníferas		49,8	18
Pastizales naturales		44,8	9
Vegetación esclerófila		675,72	8
Matorral boscoso de transición		5,92	49
Espacios con Vegetación escasa		21,04	14
Zonas quemadas	0,2	51	

Tabla 6: Combinación de datos de afección de junio 2019 con el CORINE

Afección	Uso de suelo	Área (ha)	VALUE
No quemado	Tejido urbano discontinuo	4,40	33
	Frutales	16,72	36
	Olivares	44,68	41
	Mosaico de cultivos	1,96	37
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de Vegetación natural	33,64	28
	Bosques de frondosas	0,28	31
	Bosques de coníferas	2,08	17
	Pastizales naturales	165,68	2
	Vegetación esclerófila	165,32	7
	Matorral boscoso de transición	4,20	43
	Espacios con Vegetación escasa	156,40	12
	Zonas quemadas	16,96	49
Baja	Tejido urbano discontinuo	12,44	30
	Frutales	14,56	35
	Olivares	30,32	40
	Mosaico de cultivos	0,24	38
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de Vegetación natural	21,16	24
	Bosques de frondosas	2,60	22
	Bosques de coníferas	13,32	16
	Pastizales naturales	362,44	3
	Vegetación esclerófila	896,08	1
	Matorral boscoso de transición	16,16	44
	Espacios con Vegetación escasa	185,48	11
	Zonas quemadas	2,56	48
Media Baja	Tejido urbano discontinuo	7,00	29
	Frutales	6,52	34
	Olivares	4,32	42
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de Vegetación natural	6,28	25
	Bosques de frondosas	12,88	21
	Bosques de coníferas	32,04	15
	Pastizales naturales	65,24	6
	Vegetación esclerófila	600,36	4
	Matorral boscoso de transición	7,64	46
	Espacios con Vegetación escasa	40,84	10
Media alta	Tejido urbano discontinuo	1,68	32
	Frutales	5,28	39
	Olivares	0,24	45
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de Vegetación natural	0,68	26
	Bosques de frondosas	19,76	23
	Bosques de coníferas	34,48	19

	Pastizales naturales	4,92	8
	Vegetación esclerófila	75,76	5
	Matorral boscoso de transición	0,20	47
	Espacios con Vegetación escasa	3,68	13
Alta	Bosques de frondosas	8,80	27
	Bosques de coníferas	1,04	20
	Pastizales naturales	0,12	9
	Vegetación esclerófila	3,04	14
	Espacios con Vegetación escasa	0,04	18
		3112,52	

Tabla 7: Combinación de datos de afección de agosto 2018 con el modelo de altura de dosel

Tipo de vegetación	Afección	Área (ha)	VALUE
Suelo desnudo + pastizal	No quemada	0	7
	Baja	87	1
	Media baja	177	6
	Media Alta	288	11
	Alta	133	14
Vegetación arbustiva	No quemada	1	15
	Baja	137	2
	Media baja	430	3
	Media Alta	759	9
	Alta	460	13
Vegetación arbórea	No quemada	0	8
	Baja	56	4
	Media baja	117	5
	Media Alta	215	10
	Alta	252	12
		3112	

Tabla 8: Combinación de datos de afección de junio 2019 con el modelo de altura de dosel

Tipo de vegetación	Afección	Área (ha)	VALUE
Suelo desnudo + pastizal	No quemada	196,12	10
	Baja	371,44	1
	Media baja	110,12	12
	Media Alta	7,12	14
	Alta	0,32	15
Vegetación arbustiva	No quemada	346,00	2
	Baja	960,96	3
	Media baja	438,64	11
	Media Alta	39,56	8
	Alta	1,68	13
Vegetación arbórea	No quemada	70,12	5
	Baja	224,84	4
	Media baja	234,36	6
	Media Alta	100,00	7
	Alta	11,04	9
		3112,32	

Tabla 9: Combinación de los NBR inmediatamente después del incendio y tras 10 meses

DNBRAGOCCLI	DNBRJUNCLI	COUNT	Area	VALUE
No quemado	No quemado	25	1,00	21
No quemado	Baja	6	0,24	5
No quemado	Media Baja	1	0,04	22
Baja	No quemado	5103	204,12	2
Baja	Baja	1618	64,72	1
Baja	Media Baja	229	9,16	8
Baja	Media Alta	52	2,08	7
Media Baja	No quemado	7871	314,84	3
Media Baja	Baja	9364	374,56	4
Media Baja	Media Baja	770	30,80	6
Media Baja	Media Alta	107	4,28	10
Media Baja	Alta	1	0,04	11
Media Alta	No quemado	2206	88,24	12
Media Alta	Baja	22359	894,36	9
Media Alta	Media Baja	6480	259,20	13
Media Alta	Media Alta	490	19,60	14
Media Alta	Alta	9	0,36	16
Alta	No quemado	103	4,12	15
Alta	Baja	5587	223,48	19
Alta	Media Baja	12098	483,92	18
Alta	Media Alta	3018	120,72	17
Alta	Alta	316	12,64	20
			3112,52	