



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Restauración forestal de precisión de la zona incendiada
de La Vall d'Ebo

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

AUTOR/A: Roselló Comes, Rosa

Tutor/a: González Sanchis, María del Carmen

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Título.

RESTAURACIÓN FORESTAL DE PRECISIÓN DE LA ZONA INCENDIADA DE LA VALL D'EBO

Resumen.

Los incendios forestales son un problema importante, ya que afectan al medio natural y forestal, pero estos son necesarios porque forman parte de la dinámica de los ecosistemas. Sin embargo, aunque haya disminuido el número de incendios, ha aumentado la superficie afectada por estos porque cada vez son más extremos, al tener la máxima cantidad de combustible, se encuentran con atmósferas radicalmente calientes e inestables y ecosistemas estresados.

En el pasado 13/08/2022 en La Vall d'Ebo tuvo lugar un gran incendio que afectó a una superficie de 11934 ha., debido a la caída de un rayo en una tormenta seca de verano.

En este trabajo se va a analizar la severidad del incendio y las características biofísicas para planificar una propuesta de restauración en las zonas de mayor afección y acelerar la recuperación de la zona afectada. Se busca regenerar la cubierta vegetal original previa al incendio, priorizando las zonas que se han visto más afectadas por el incendio y que tiene actualmente mayor riesgo de erosión.

Palabras clave.

Incendios forestales, Restauración forestal, Severidad, Ecología forestal.

Title.

PRECISION FOREST RESTORATION OF THE BURNED AREA OF LA VALL D'EBO

Abstract.

Forest fires are a major problem, as they affect the natural and forest environment, but they are necessary because they are part of the dynamics of ecosystems. However, although the number of fires has decreased, the area affected by these has increased because they are becoming more extreme, having the maximum amount of fuel, they encounter radically hot and unstable atmospheres and stressed ecosystems.

On 13/08/2022 in La Vall d'Ebo there was a large fire which affected an area of 11934 ha., due to a lightning strike in a dry summer storm.

In this work, the severity of the fire and the biophysical characteristics will be analysed to plan a restoration proposal in the most affected areas and accelerate the recovery of the affected area. The aim is to regenerate the original pre-fire vegetation cover, prioritising the areas that have been most affected by the fire and are currently at greatest risk of erosion.

Key words.

Forest fires; forest restoration, severity, forest ecology

Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivos secundarios.....	3
3. Descripción del medio.....	4
3.1. Situación geográfica y superficie de actuación.....	4
3.2. Estado legal.....	4
3.3. Figuras de protección.....	4
3.4. Accesos.....	5
3.5. Descripción del estado de la masa forestal pre-incendio.....	5
3.6. Climatología.....	8
3.7. Altimetría.....	8
3.8. Litología.....	8
3.9. Orografía.....	9
3.10. Hidrografía.....	11
4. Metodología.....	12
4.1. Perimetrado del incendio y severidad.....	12
4.2. Zonificación según la prioridad de actuación.....	13
4.2.1. Erosión hídrica.....	13
4.2.2. Severidad.....	15
4.3. Repoblación forestal.....	16
5. Resultados.....	18
5.1. Perimetrado y severidad.....	18
5.2. Zonificación según la prioridad de actuación.....	21
5.3. Repoblación forestal.....	24
6. Descripción de las actuaciones.....	27
6.1. Actuaciones frente a la erosión.....	27
6.1.1. Acolchado.....	27
6.1.2. Barreras.....	28
6.2. Reforestación.....	29
6.2.1. Elección de especies.....	30
6.2.2. Plantación.....	33
6.3. Mantenimiento de la reforestación.....	33
6.4. Actuaciones complementarias.....	34
6.4.1. Clareo.....	34
6.4.2. Pastoreo.....	34
6.4.3. Prevención de plagas.....	34
7. Conclusión.....	35
Bibliografía.....	36

1. Introducción.

Los incendios, presentes desde hace más de 400 millones de años, son un proceso más en la dinámica de los ecosistemas que ha dado lugar a numerosas adaptaciones de las especies al fuego, dándose incluso el caso de especies que necesitan el fuego para seguir existiendo. Sin embargo, actualmente, debido a la acción humana la intensidad, la frecuencia y severidad de estos está cambiando de tal manera que su presencia ya no parece tan beneficiosa. Los cambios en el paisaje, en la actividad humana y el cambio climático parece que han modificado el régimen de incendios al incrementar la disponibilidad, la densidad y continuidad del combustible. Como resultado, podemos ver con cierta frecuencia incendios que quedan fuera de la capacidad de extinción y que por tanto son muy difíciles de afrontar por los medios de extinción. Otro factor importante que también ha afectado el régimen de los incendios es que el clima está cambiando, ya que cada vez tenemos veranos más cálidos, más secos y de mayor duración, dejando así mejores condiciones para la propagación del fuego. Cabe también comentar que ha aumentado la población urbana en las zonas de interfaz urbano-forestal, lo que conlleva que cada vez haya mayor número de igniciones cerca del terreno forestal, ya sea de forma voluntaria como accidentales. Además, el incremento en la frecuencia de los incendios no deja el suficiente tiempo a los ecosistemas para que se recuperen antes de que ocurra el siguiente.

Por lo que todo esto nos deja en evidencia que el régimen de los incendios no está siguiendo su ciclo natural y está cambiando según pasan los años. No existe un régimen ideal de incendios ya que estos son un componente natural que puede variar significativamente según la región y el tipo de vegetación. Pero sí, deberíamos tener un régimen de incendios saludable y sostenible. Este es aquel que está en equilibrio con las características ecológicas de la zona en particular. Debemos tener variedad de frecuencias en los incendios debido a que en algunos hábitats será bueno experimentar incendios más frecuentes, pero de baja intensidad, mientras que en otros todo lo contrario, ya que los incendios son parte de los ciclos de regeneración de muchos ecosistemas, por lo que permiten el crecimiento de nuevas plantas. Por otro lado, también, ayudan al control de plagas y enfermedades, por lo que son necesarios en cierta frecuencia para eliminar las plagas y la materia vegetal muerta, así prevenir una acumulación excesiva de material que podría ser luego perjudicial para un incendio futuro. En general un régimen de incendios saludable es el que está en equilibrio con los procesos naturales del ecosistema y puede contribuir al mantenimiento de la biodiversidad, regeneración de la vegetación y mejorar la salud del paisaje.

La mayor problemática que tenemos en cuanto a los incendios es que no solo afectan a la vegetación que arde, sino que tienen una serie de consecuencias que pueden ser irreversibles y terminar con el medio natural de esa zona, afectando así a todo el medio rural que se beneficiaba de ello ya sea por cultivo, turismo...

Cuando se da un incendio como este, arrasa con toda la vegetación que encuentra, pero además puede afectar a la capa superior del suelo, dejando un suelo desértico sin la capa orgánica, que dificultará la repoblación futura debido a la pérdida de fertilidad del terreno.

Por otro lado, puede que no quemara el suelo, pero al haber quitado la vegetación, se ha eliminado ese anclaje que tenía la tierra gracias a las raíces de la flora y por tanto tendremos mayor erosión. Otro efecto al eliminar la vegetación, es que cuando llueva el suelo tendrá mayor impacto de las gotas de la lluvia y mayor escorrentía porque no estará la vegetación para facilitar la infiltración.

Además, si no hay vegetación estamos también desplazando a toda la fauna que depende de esta ya que no tendrán refugios, ni los herbívoros tendrán de donde alimentarse, afectando así a toda la cadena trófica.

Asimismo, hay que sumarle que cada vez los incendios son de mayor intensidad y la temporada de incendios es mayor como resultado del incremento de las temperaturas debido al cambio climático. Haciendo así que la vegetación tenga menor contenido de humedad por lo que es más fácil que se den las condiciones oportunas para iniciar la combustión. Por otra parte también, se ha visto un aumento del abandono de la población rural por lo que se produce un descontrol en el crecimiento de la vegetación, que cuando llega el fuego facilita su expansión y dificulta la extinción.

Ante este escenario, cada vez es más necesario la restauración de las zonas degradadas para la corrección de los impactos generados post-incendio, así frenar la erosión y degradación de los ecosistemas, sobre todo en aquellos donde los incendios son muy recurrentes.

Precisamente esto es lo que ocurrió en la zona de estudio, que sufrió dos grandes incendios en un lapso de 7 años. El 14 de mayo de 2015 a causa de una negligencia sin especificar en un día caluroso de casi 40°C, se inició un incendio quemando 1905 ha de los términos municipales de Pego, Vall d'Ebo, l'Atzúbia y Vall de Gallinera, afectando también al LIC "Valls de La Marina". Después de 5 días se consiguió extinguir este incendio el cual afectó mayoritariamente a superficie forestal (Vilagrosa, 2015).

7 años después, el día 13 de agosto del 2022 se inició otro gran incendio en la Vall de Ebo. El incendio se extinguió después de 2 semanas activo, el día 28 de agosto del 2022 a las 20:30h. Este quemó alrededor de unas 11934 hectáreas y afectó a 15 términos municipales en la provincia de Alicante, 8 de ellos de la comarca de la Marina Alta y los 6 restantes de la comarca el Comptat. Además de afectar a estos términos municipales, afectó el LIC Les Valls de la Marina. A su vez también afectó al ZEPA "Muntanyes de la Marina". Dentro de estas zonas también afectó la microrreserva "Llomes del Xap" que se encontraba en el extremo norte. El inicio de este incendio forestal fue natural ya que ocurrió por un rayo en una tormenta seca de verano, que debido a las altas temperaturas de ese día y la baja humedad de la vegetación se dieron las condiciones perfectas para ello. Esta es la principal causa natural en la comunidad valenciana y la tercera causa tanto natural como humanas. (PREVENCIÓ DE INCENDIS FORESTALS, 2018)

A finales de septiembre después del incendio hubo lluvias bastante torrenciales empeorando la situación post incendio ya que el suelo en ese estado sin vegetación se erosiona más fácilmente con la lluvia.

2. Objetivos.

En este trabajo se va a proponer una restauración forestal de una zona específica para agilizar y asegurar la recuperación del área post incendio, restableciendo el estado de la cubierta vegetal anterior al mismo. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

- Análisis de la severidad del incendio
- Clasificación del territorio en función de la severidad y de sus características biofísicas
- Diseño de la restauración de precisión

2.1. Objetivos secundarios.

- Análisis de información satelital con Google Earth Engine (GEE)
- Validación en campo
- Obtención y análisis de la información cartográfica
- Análisis de variables dinámicas como la humedad de suelo con GEE
- Análisis del riesgo de erosión del suelo tras el incendio
- Combinación de la información para generar una zonificación y priorización de la restauración
- Propuesta de especies en cada una de las zonas
- Diseño del proyecto

3. Descripción del medio.

3.1. Situación geográfica y superficie de actuación.

Para la realización de esta restauración se ha seleccionado una zona concreta en la que centrarnos debido a la gran extensión del incendio. Esta se sitúa al extremo noreste del área del incendio, se trata de la zona quemada en el término municipal de Pegó de unas 766,20 ha, de l'Atzúbia de unas 190,99 ha y una zona del término de la Vall de Gallinera de unas 132,33 ha, en concreto la zona "Els Castells". En total esto corresponde a unas 1089 ha.

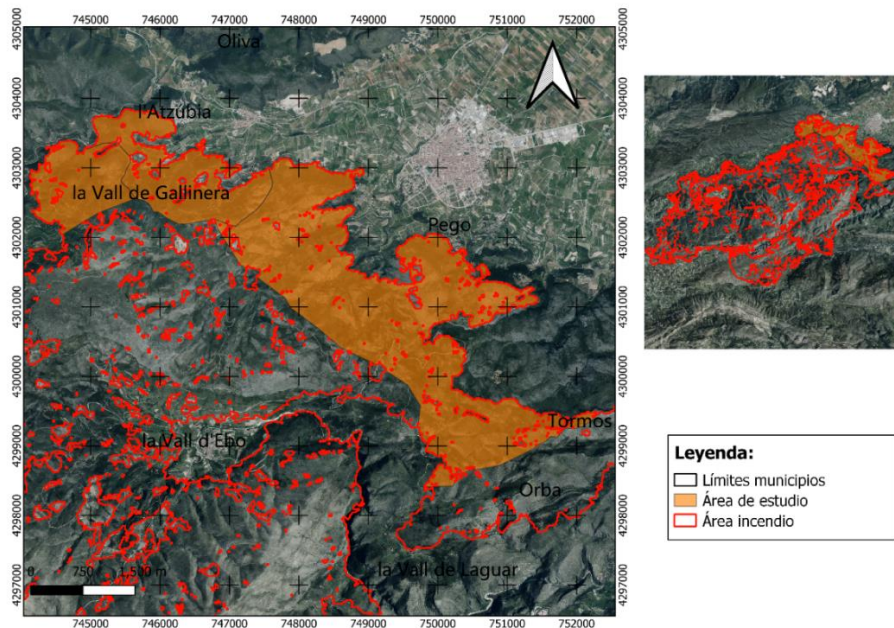


Figura 1: Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Estado legal.

El área afectada y de actuación se trata, en la mayoría de la superficie, de parcelas y superficie de titularidad privada. Hay una pequeña zona de unas 15 hectáreas que corresponde a Monte de Utilidad Pública, en concreto el AL086 denominado Ombria o Pla d'Alcalà, en la parte del municipio de la Vall de la Gallinera.

3.3. Figuras de protección.

En la zona de estudio de este presente trabajo, en cuanto a figuras de protección, se trata de un Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) denominado la Vall de la Marina con una superficie de unas 16061,58 hectáreas, de las cuales 960,96 ha se encuentran en nuestra área de estudio. Por otro lado, encontramos otra figura de protección como es la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de Muntanyes de la Marina, que tiene mayor superficie, pero parte de esta coincide con el LIC anterior. Este ZEPA tiene una superficie de 43118,43 ha en total, de las cuales 960,82 hectáreas se encuentran en nuestra zona de trabajo.

3.4. Accesos.

Para acceder a nuestra zona de estudio tenemos dos accesos principales, ambos parten de la localidad de Pego.

Por un lado, tenemos la CV-700 que une Pego con los diferentes pueblos de la Vall de la Gallinera, pasando por l'Atzúbia y conectándose con la CV717 para llegar a Forña. Esta bordea el extremo superior de la zona de estudio.

Por otro lado, tenemos la CV-712, que conecta Pego con la Vall d'Ebo y la Vall d'Alcalà. Esta sí que circula por dentro de nuestra zona de trabajo.

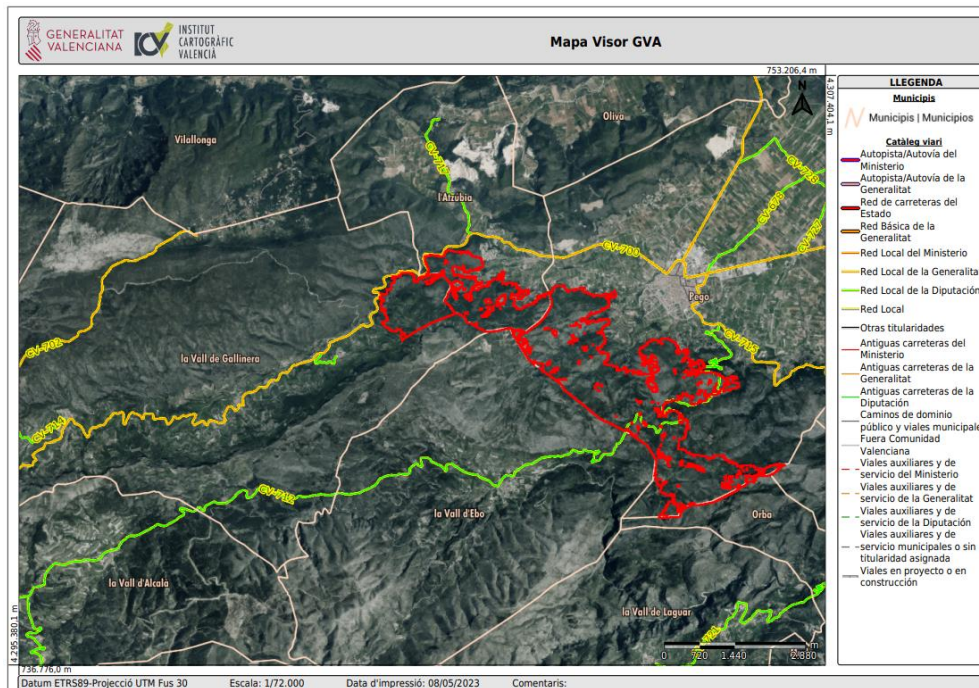


Figura 2: Las diferentes vías de acceso que circulan por el área de estudio. Fuente: Visor GVA. <https://visor.gva.es/visor/>

3.5. Descripción del estado de la masa forestal pre-incendio.

En nuestra zona de estudio, como podemos observar en la figura 3, la distribución típica de la cubierta vegetal antes del incendio es en mayor parte de monte desarbolado con matorral. Algunas de las especies predominantes en esta parte del monte son el romero (*S. rosmarinus*), la aliaga (*U. parviflorus*), la coscoja (*Quercus coccifera*) con pequeño porte. No predominan mucho las zonas con arbolado forestal, pero en estas zonas destaca el pino carrasco (*P. halepensis*).

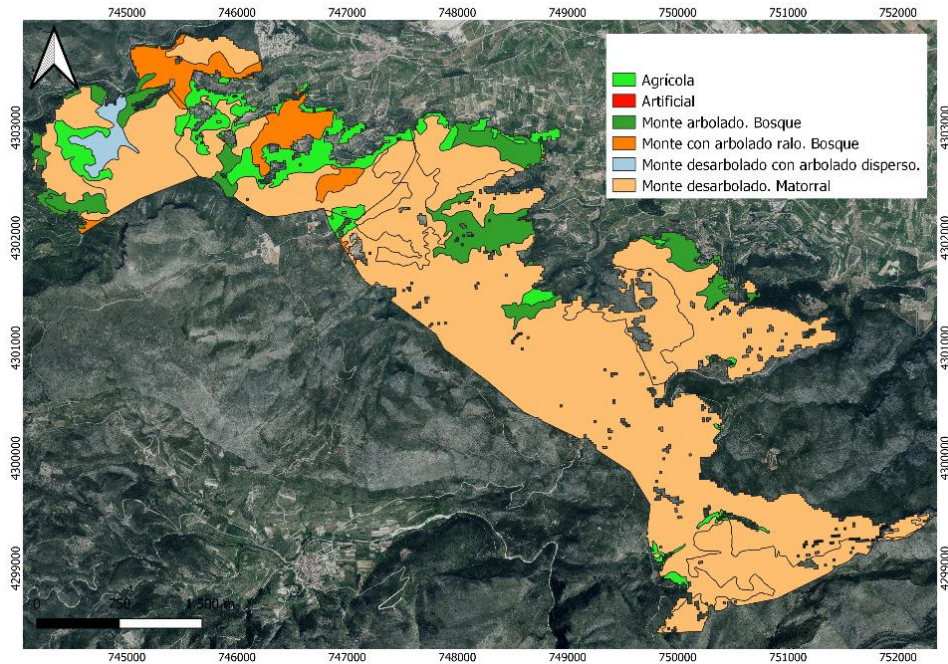


Figura 3: Distribución de la cubierta vegetal pre-incendio. Fuente: Elaboración propia a partir de la información cartográfica del Mapa Forestal de España

La vegetación existente previa al incendio era matorral rebrotador como por ejemplo el palmito (*C. humilis*) y la coscoja (*Q. coccifera*) debida a que es una zona que ha sufrido varios incendios en un espacio breve de tiempo y la mayoría de vegetación que presenta es matorral regenerado desde el último incendio. También podíamos encontrar especies germinadoras como la aliaga (*U. parviflorus*), el romero (*S. rosmarinus*) y la jara blanca (*C. albidus*). En cuanto a la proporción de especies rebrotadoras y germinadoras es variable, encontrando mayores especies rebrotadoras de matorral debido al incendio que tuvo lugar en el 2015. De forma puntual encontramos algún individuo arbóreo rebrotador de carrasca (*Q. ilex*).

Cabe destacar que en esta zona predomina el cultivo de cerezas, por lo que el cerezo (*Prunus avium*) es un árbol típico de la zona como se puede observar en la figura 4 en donde los cultivos de cerezo consiguieron salvarse del fuego de 2022.



Figura 4: Detalles de la vegetación después del incendio. Izquierda: *Chamaerops humilis* tras el paso del incendio. Derecha: Cerezos en el límite del incendio. Fuente: Elaboración propia.

Pero esta vegetación se ha visto alterada debido a los recurrentes incendios en esta zona. Durante los últimos años, en el perímetro del incendio se han registrado un total de 70 incendios de superficie mayor de 1 ha. En el 2009 tuvo lugar un incendio en la Vall d'Alcalà que afectó a unas 546,1 ha, donde gran parte de esta superficie era suelo forestal.

Pero el incendio más reciente y el que afectó en mayor parte a nuestra zona de estudio tuvo lugar el 2015, que arrasó con unas 1905 ha en el municipio de Pego principalmente, y también afectó a zonas de los municipios de Vall d'Ebo, Vall de Gallinera y l'Atzúvia. La superficie quemada en este incendio también fue mayoritariamente forestal.

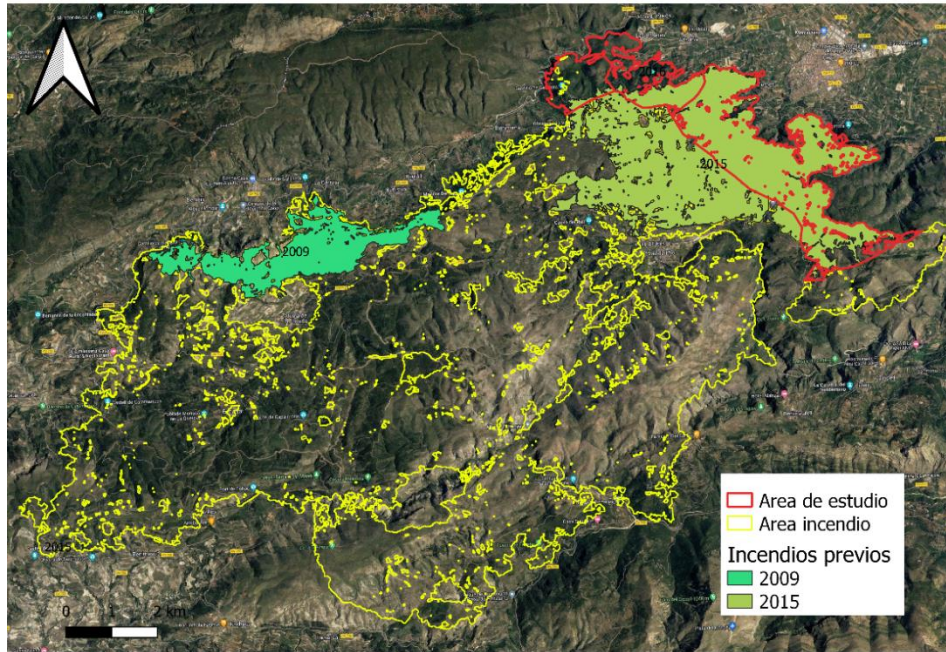


Figura 5: Localización del incendio con respecto a los otros incendios. Fuente: Elaboración propia a partir de la información cartográfica del ICV.

Para observar el cambio que se dio en el estado de la masa vegetal, tenemos la siguiente imagen comparativa en donde podemos ver el estado de la masa antes del incendio y después del incendio de 2022.

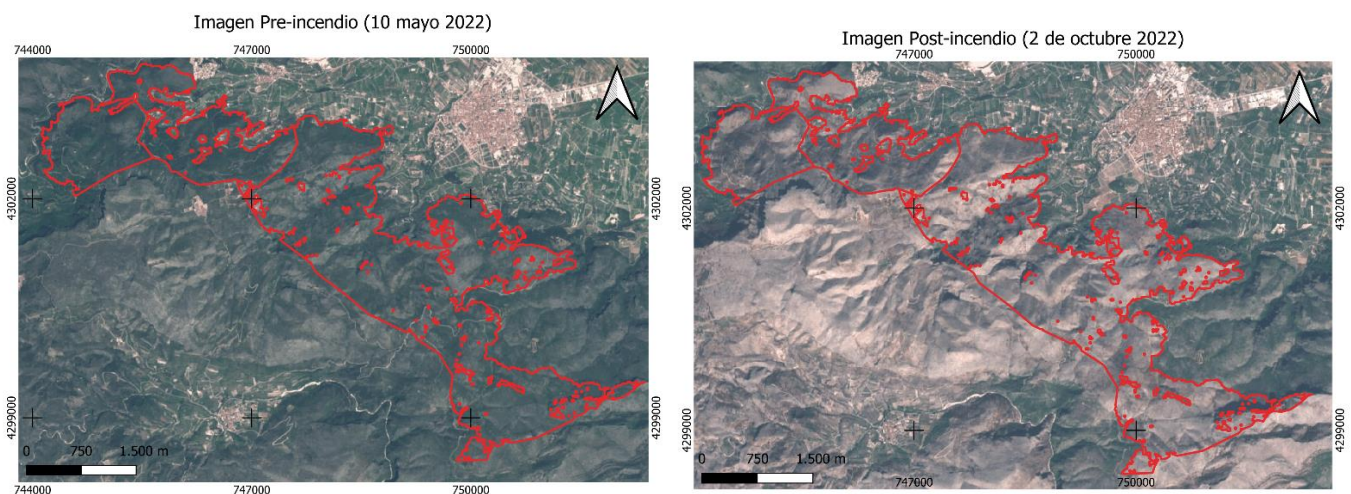


Figura 6: Imagen aérea comparativa antes y después del incendio. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Sentinel del Institut Cartogràfic Valencià (ICV)

3.6. Climatología.

En esta zona nos encontramos en un clima mediterráneo bastante seco. Los veranos son calurosos y bastante bochornosos favoreciendo los incendios. Por otro lado, los inviernos son suaves y lluviosos.

Durante los meses de verano la temperatura se sitúa alrededor de los 26°C. Por el contrario, durante los meses de invierno baja a los 15°C. La temperatura media anual es de unos 17°C.

En cuanto a precipitaciones, mayoritariamente tienen lugar en la primavera, y tienen un comportamiento torrencial. La precipitación media es de 560 mm al año. El mes más seco es julio, con 9 mm de media, y el de mayor precipitación es octubre con un promedio de 79 mm.

3.7. Altimetría.

La zona quemada a estudiar es un terreno montañoso, con un desnivel de casi 1000 m, encontrándose el punto más elevado a los 1100m.

3.8. Litología.

En nuestra zona de estudio dominan los afloramientos de calizas y dolomías en la mayor parte de este perímetro. En la parte norte hay dos pequeñas zonas de afloramientos de margas.

Las calizas dan lugar a suelos calizos poco profundos y muy pedregosos típicos de zonas montañosas, que además son pocos fértiles debido a los afloramientos rocosos. En cambio, los afloramientos de margas dan lugar a suelos más profundos.

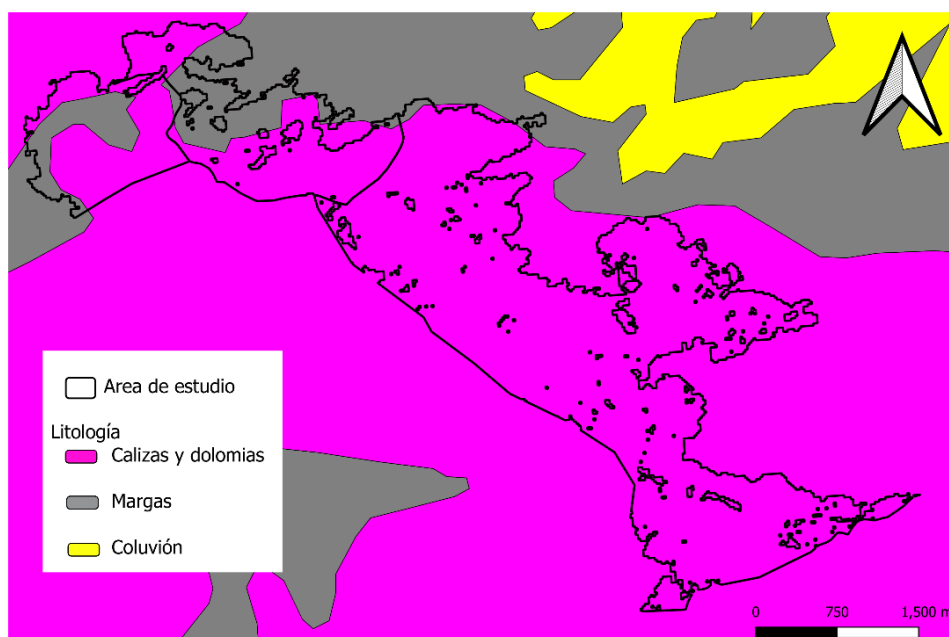


Figura 7: Litología en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de la información cartográfica del ICV.

3.9. Orografía.

Alrededor de nuestra zona de estudio encontramos la Serra de La Forada con una cota de 908 m. Esta se encuentra en el municipio de la Vall de la Gallinera. La Sierra es muy conocida por su peculiar agujero en un extremo que tiene un famoso acontecimiento en los solsticios al pasar por él la luz solar, atrayendo así una gran cantidad de turismo.

Por otro lado, en la parte de Pegó tenemos la Sierra el Miserat con una altitud de 756 m, es una agrupación de pequeñas montañas que separa los Valles de la comarca de Pegó.

En cuanto a la pendiente, nos encontramos en una zona con grandes desniveles, la mayor parte de la zona tiene una pendiente mayor al 30%, es una zona bastante escarpada. Como podemos observar en la figura 8 donde predominan las zonas con pendientes elevadas.

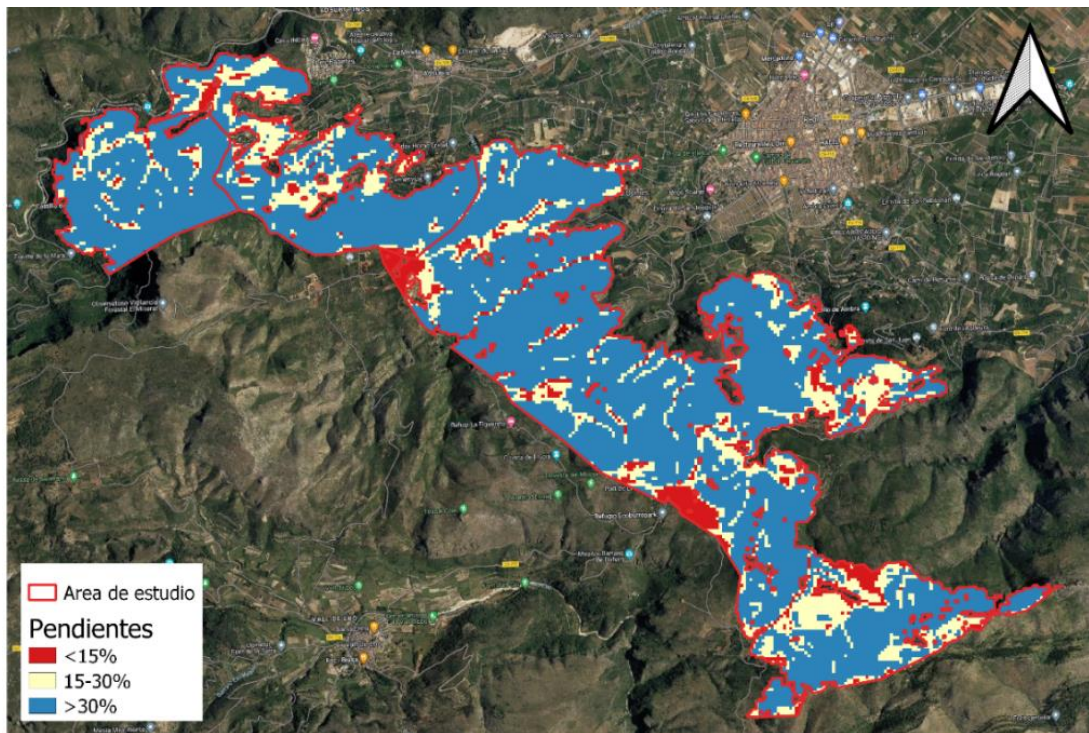


Figura 8: Distribución de las endientes. Fuente: Elaboración propia a partir de la capa cartográfica MDT 25m.

Por otro lado, en referencia a las orientaciones podemos observar que tenemos una zona bastante irregular en la que predomina las laderas orientadas hacia la umbría que hacia la parte de solana. En nuestro caso, al encontrarnos en el hemisferio norte, la umbría son las laderas orientadas hacia el norte y la solana son las orientadas hacia el sur. En la parte central del área de estudio encontramos una pequeña zona con bastantes laderas orientadas hacia el sur, pero no son muy predominantes.

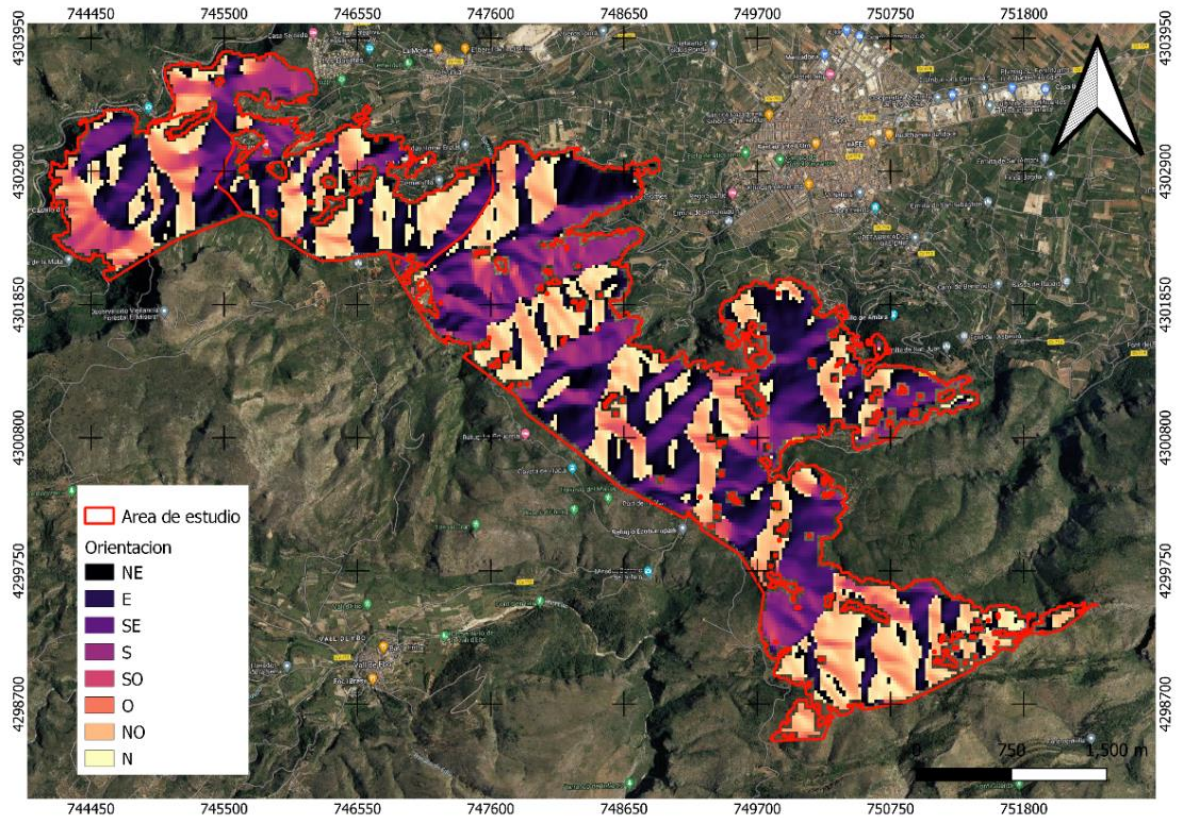


Figura 9: Distribución de las diferentes orientaciones. Fuente: Elaboración propia a partir de la capa cartográfica del MDT 25m.

Para tener una mejor idea de esto se han obtenido la superficie de laderas orientadas hacia la umbría (norte, noroeste y noreste) y hacia la solana (sur, sureste y suroeste).

Tabla 1: Superficie en las diferentes orientaciones. Fuente: Elaboración propia.

Orientación	Superficie	%
Umbría	541.5022	61%
Solana	160.3285	18%

Como podemos ver predominan claramente las laderas orientadas hacia el norte, en zona de umbría. El resto de las orientaciones pertenecen al este y oeste que son indiferentes en este caso.

3.10. Hidrografía.

En cuanto a la hidrografía de nuestra zona de estudio, los ríos de esta zona pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Júcar. La cuenca de agua más importante que pasa cerca de nuestra zona de estudio y que podría haberse visto afectada por la escorrentía de las cenizas es la Rambla de la Vall de la Gallinera. Además, existen pequeños barrancos que circulan por el perímetro de estudio como el Barranc de l'Horta, el Barranc de les Coves, Barranc de Mixel.

Dentro de la zona incendiada, aunque no en la zona seleccionada para este trabajo, encontramos el Río Ebo, conocido también como el Girona, que circula por dentro del perímetro del incendio por la Vall de Ebo.

Se ha estudiado el riesgo de inundación en la zona de actuar, y según PATRICOVA no existe ninguna zona con peligro de inundación ni en las zonas adyacentes.

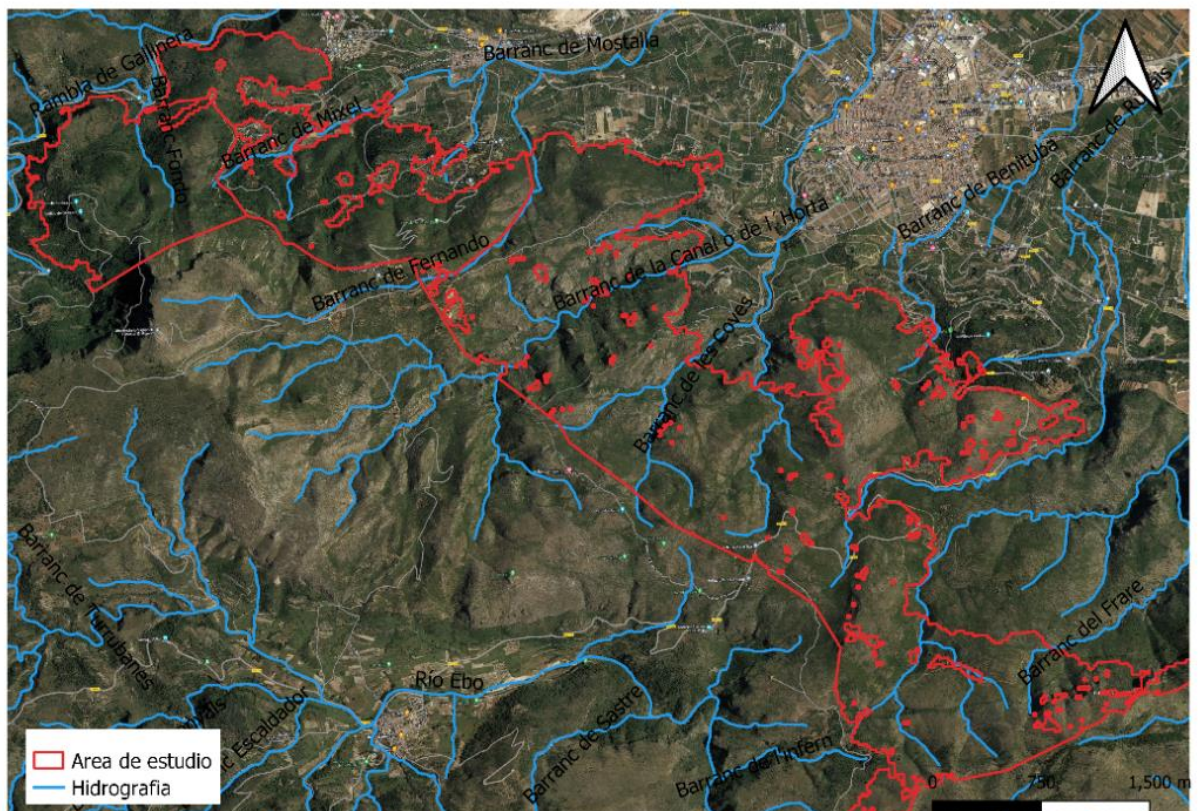


Figura 10: Red hidrográfica con los diferentes barrancos. Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía del ICV.

4. Metodología.

4.1. Perimetrado del incendio y severidad.

Para tener mejor conocimiento tanto del alcance como de los efectos de los incendios de 2015 y 2022 en la zona de estudio, de cómo afectó a la vegetación del lugar, se ha utilizado el análisis espectral del mismo. Concretamente se ha realizado la perimetración del área quemada en ambos incendios, así como el análisis de la severidad de los mismos. Esta última variable, la severidad, nos permite por un lado acercarnos al concepto de sensibilidad del ecosistema al fuego, y por otro lado a los efectos ambientales causados por el mismo. Tradicionalmente, la forma de analizar la severidad del incendio se basa en estudios de campo, que, aunque precisos, limitan bastante el número de puntos de muestreo y con ello la solidez de los resultados (Key y Benson, 2006). Para superar tales limitaciones, los esfuerzos recientes se han centrado en la estimación de datos de campo a través de sensores remotos para aumentar la extensión espacial del análisis y la frecuencia de las estimaciones (Cocke et al 2005; Miller y Tode, 2007; de Santis et al 2009). Estos estudios han mostrado buenas correlaciones al usar índices de teledetección, como el índice de quemado normalizado (NBR, ver ecuación 1) y su diferencia relativizada (dNBR). El índice NBR se basa en el hecho de que la vegetación quemada no refleja apenas el infrarrojo cercano (NIR) debido a la baja cobertura de hojas; sin embargo, refleja una gran cantidad de radiación dentro del infrarrojo de onda corta (SWIR) debido a su bajo contenido de humedad (Miller y Thode, 2007). Por tanto, un valor alto de NBR indica una vegetación saludable, mientras que un valor bajo indica un suelo desnudo y áreas recientemente quemadas.

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \quad (\text{ecuación 1})$$

Para evaluar si el área ha sido afectada o no por el incendio no basta con un valor puntual del índice NBR, sino que se requiere un valor inicial, antes del incendio, y otro inmediatamente posterior a la extinción completa del mismo. Un valor alto de dNBR indica un daño severo, mientras que las zonas con valores negativos de dNBR pueden indicar un reverdecimiento de la zona, es decir un crecimiento de la masa tras el incendio. A continuación, se muestra la ecuación empleada para calcular el índice dNBR:

$$\text{dNBR o } \Delta\text{NBR} = \text{PrefireNBR} - \text{PostfireNBR}$$

Los valores del índice dNBR pueden presentar variaciones entre diferentes casos, por lo tanto, es recomendable realizar una evaluación de campo específica en cada situación para obtener una interpretación precisa y obtener los resultados más fiables.

El proceso de selección, descarga, procesado y análisis de imágenes tanto anteriores como posteriores al incendio para calcular la dNBR han limitado su uso a eventos de incendio específicos debido entre otras cosas al elevado coste computacional. En este sentido, la plataforma de Google Earth Engine permite procesar enormes cantidades de datos reduciendo la anterior limitación enormemente y además abriendo el campo a complementar los cálculos con otras variables, rangos espectrales y/o productos satelitales. En el presente Proyecto se ha empleado la herramienta Burn Areas Detection and Evolution (BADE), a través de la plataforma de Google Earth Engine, para detectar el perímetro de la zona quemada, la severidad del incendio y la evolución de la

vegetación hasta 10 años después del mismo. En esta herramienta podemos elegir entre dos satélites para la obtención de las imágenes, estos son el Landsat y el Sentinel. Una vez elegido esto, según nuestras necesidades tenemos diferentes índices a elegir como el índice normalizado de área quemada (dNBR), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o el índice de diferencia normalizada en el infrarrojo (NDII), entre muchos más. En nuestro caso como queremos estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación vamos a utilizar el NDVI, ya que mediante sensores remotos nos proporciona esta información de forma visual en una imagen.

Por tanto, mediante BADE calculamos tanto el área quemada como la severidad de ambos incendios (2015 y 2022) de forma que podemos conocer no sólo el área potencial a restaurar, sino que priorizar dicha restauración en base a, entre otros factores, la severidad del incendio. Además, dicha severidad la utilizaremos también para actualizar el valor del factor C en la ecuación de pérdida de suelo anual de la RUSLE.

Los resultados de la herramienta en cuanto a severidad del incendio de 2022 se han validado en campo mediante la prospección visual de diferentes zonas.

4.2. Zonificación según la prioridad de actuación.

Para asegurarnos que la restauración forestal del perímetro estudiado sea acorde con las necesidades ecológicas de la zona de estudio debemos zonificar y priorizar las actuaciones según su estado y necesidades, ya que no podemos hacer en todas partes lo mismo, tenemos que adecuarnos al estado de cada zona post incendio.

El primer punto clave para la priorización de las actuaciones es el análisis de la erosión hídrica en el terreno que tras el incendio que puede agravar las condiciones del suelo hasta el punto de ser irreversible. Una vez identificadas las zonas de actuación prioritaria, aquellas susceptibles de sufrir pérdidas de suelo altas o muy altas, se analizará el resto del territorio para proponer actuaciones específicas de restauración tales como la revegetación.

4.2.1. Erosión hídrica.

La erosión hídrica es un aspecto fundamental para la restauración forestal ya que, según la intensidad de esta, la vegetación tendrá mayor o menor facilidad para recuperarse. La erosión del suelo disminuye la fertilidad de este por lo que afecta negativamente la restauración forestal. Tras el incendio, la erosión hídrica se habrá visto aumentada, ya que al disminuir la vegetación también disminuirán todos los efectos positivos que tenía está en el suelo, como la retención de la tierra, infiltración del agua de lluvia o disminuir la superficie de impacto de las gotas de lluvia en el suelo.

Para analizar el riesgo de erosión hemos aplicado la metodología de cálculo de pérdidas de suelos mediante el modelo RUSLE. Además de esto nos hemos ayudados de la herramienta de QGIS para para observar los diferentes valores de cada factor de este modelo.

El modelo RUSLE utiliza la siguiente ecuación:

$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$ (Ecuación 2):

Donde:

- A: pérdida media anual de suelo (t/Ha·año)
- R: factor lluvia= índice de erosión pluvial ($j \cdot \text{cm}/\text{M}^2 \cdot \text{hora}$). Este representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Tiene en cuenta la energía cinética de una lluvia y la intensidad máxima en 30 minutos
- K: factor erosionabilidad del suelo ($\text{t} \cdot \text{m}^2/\text{ha} \cdot \text{J} \cdot \text{cm}$). Define el grado de resistencia natural que posee un suelo al ser erosionado.
- S: factor pendiente del suelo (%). Está relacionado con el L, ya que ambos hacen referencia a la pendiente. Los dos juntos analizan la influencia de la pendiente y su longitud en la pérdida de suelo
- L: factor longitud pendiente (m)
- C: factor cultivo y ordenación (adimensional). Hace referencia a la pérdida de suelo de terreno con una vegetación específica, depende del estado de la vegetación en ese terreno.
- P: factor prácticas de conservación de suelo agrícolas (adimensional). Representa el estado del cultivo, es decir si está cultivado en terrazas, en fajas o si está a nivel.

Para conocer el valor de la pérdida del suelo, lo realizaremos mediante el programa QGIS, en concreto en la calculadora ráster donde utilizaremos la ecuación 1 con las capas ráster de cada factor.

A partir de la base de datos European Soil Database obtenemos el valor para el factor R y el K.

Para los factores L y S los obtenemos de forma conjunta mediante la capa MDT con la herramienta watershed de GRASS del QGIS.

En cuanto al factor C, este depende del estado de la masa vegetal, pero en nuestro caso como ha sido modificada por el incendio, nos fijamos en la severidad, si se trata de una zona de alta, media o baja. Según García Morote, F.A. et al 2015 hemos otorgado nuestros valores para aquellos lugares donde la severidad sea alta y media, ya que en donde sea baja, significa que no se ha visto afectada por el incendio en gran medida y podremos utilizar el valor de C que nos da la capa de la base de datos de European Soil Database.

En este caso como ha habido dos incendios ocurridos en un periodo de 7 años en gran parte de la zona de estudio ha sido necesario combinar ambas severidades.

Para la alta severidad elegimos el valor 1 que representaría que se ha quemado todo, para la media el valor es de 0,4 y por último para la baja severidad tendremos en cuenta el valor real de C, obtenido de la base de datos de European Soil Database (ver tabla 2).

Tabla 2: Correspondencia entre las severidades y el valor del Factor C. Fuente: Adaptado de Garcia Morote, F.A. et al

Factor C				
	Severidad 2022			
Severidad 2015		Alta	Media	Baja
	Alta	1	1	0,4
	Media	1	0,4	Valor C
	Baja	1	0,4	Valor C

Por último, tenemos el factor P, que hace referencia a las prácticas de conservación del suelo. En nuestra zona de estudio, al ser terrenos con bastante pendiente hay pocos lugares con abancalamiento, por lo que este valor será nulo.

Una vez tenemos todos los valores necesarios para cada factor, podemos aplicar la ecuación mediante la calculadora ráster. Obtendremos una capa donde se representarán los diferentes valores de erosión hídrica en la zona de estudio. Estos valores los clasificaremos según el riesgo de pérdida de suelo categorizados por Garcia Morote *et al* 2015.

Tabla 3: Riesgo de pérdida de suelo en función del valor de las pérdidas del suelo. Fuente: Adaptado de Garcia Morote, F.A. et al (2015).

Riesgo de pérdida de suelo	Valores de pérdida de suelo (A: t/ha·año)
Alarmante	50-100
Muy alta	25-50
Alta	10-25
Moderada	5-10
Baja	0-5

4.2.2. Severidad.

El otro factor importante a analizar en la zonificación de actuación prioritaria es la severidad del incendio, ya que, si además de tener niveles altos de erosión ha habido alta severidad afectando a la vegetación, la erosión empeorará debido a que la vegetación tiene un papel muy importante para reducir las pérdidas de suelo. En los lugares donde la severidad sea alta, el incendio habrá sido más intenso y se habrá quedado un paisaje más desértico con menos vegetación, por lo que será más fácil erosionarse.

La severidad, como ya se ha comentado en el apartado 4.1., se ha obtenido gracias a la herramienta BADE de Google Earth Engine.

Después de estudiar ambos aspectos fundamentales (erosión y severidad del incendio), los combinaremos para obtener aquellas zonas en donde tendremos peor situación en cuanto a erosión por lo que será de extremada urgencia de actuación. En estas zonas vamos a proponer tratamientos contra la erosión para tratar de reducirla según la necesidad de cada zona. Para conocer las zonas de mayor prioridad combinando estos dos factores se ha clasificado como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Prioridad de actuación en función de las condiciones del terreno. Fuente: Elaboración propia

Condiciones	Prioridad de actuación
Erosión alarmante y muy alta	1
Erosión alta y severidad alta	2
Erosión moderada y severidad alta	3

Estos son los tres condicionantes en los que tendremos que actuar con urgencia debida al riesgo de erosión, donde vamos a proponer estructuras para corregir la erosión y tratar de reducirla, esto se detalla en el apartado 6.1.

4.3. Repoblación forestal

Una vez obtenida estas zonas donde debemos actuar de forma urgente debido a la erosión, el siguiente paso es estudiar aquellas zonas en las que será necesaria una repoblación.

La idea es ayudar a la regeneración de la vegetación en aquellas zonas en las que, debido al poco tiempo transcurrido entre los dos últimos incendios en esta zona, la regeneración natural será muy difícil. De esta forma trataremos de reintroducir aquellas especies que debido a la recurrencia de incendios pueden tener problemas de regeneración por no haber tenido tiempo de alcanzar estado reproductivo completo tras el primer incendio. Este es el caso principalmente de determinadas especies germinadoras, cuyo banco de semillas puede haberse perdido con el paso de ambos incendios. También es posible que algunas rebrotadoras no hayan tenido el tiempo suficiente de generar los recursos necesarios para persistir tras el primer incendio cuando el segundo tuvo lugar, ocasionando su desaparición. Si las especies dominantes son sensibles a los fuegos recurrentes, otras especies de crecimiento más rápido desplazarán a estas y se convertirán en esenciales en la recuperación de la masa vegetal. (Díaz-Delgado, 2004)

Por tanto, para analizar las necesidades de repoblación se van a tener en cuenta de nuevo la severidad de ambos incendios. De esta forma, las zonas de mayor riesgo de pérdida de vegetación serán aquellas en las que se registre severidad alta en el primer incendio y alta o media en el segundo (ver tabla 5).

Tabla 5: Actuación en función de las severidades. Fuente: Elaboración propia.

Necesidad de repoblación				
	Severidad 2022			
		1	2	3
Severidad 2015	1	Muy baja	Baja	Media
	2	Baja	Media	Alta
	3	Media	Alta	Alta

La selección de estas zonas se ha realizado mediante el QGIS, donde utilizaremos las capas de la severidad obtenidas en BADE. Una vez obtenidas las zonas de actuación, esta información se ha combinado con la obtenida en el punto 4.2.1, erosión, para eliminar de las necesidades de repoblación aquellas zonas que precisen de forma urgente actuaciones de retención de suelo.

Finalmente obtenemos con el QGIS un mapa con las zonas en las que propondremos repoblación forestal respetando la flora autóctona, y creando un paisaje heterogéneo para facilitar las labores de extinción en un incendio futuro.

Para seleccionar la vegetación más adecuada en cada sitio se ha empleado la herramienta Eco-Hydrologic Zoning for Precision Management (ECHYZON) a través de la plataforma de Google Earth Engine. Dicha herramienta permite realizar una repoblación forestal de precisión atendiendo fundamentalmente a la disponibilidad de agua para la planta en cada píxel de 30 m.

ECHYZON calcula el índice espectral TVMDI (Temperature-Vegetation-Moisture-Drought-Index) mediante imágenes satelitales Landsat 8 para conocer el contenido de agua en el suelo en la zona seleccionada. Este índice calculado, estima el grado sequedad (SM) evaluando la temperatura de la superficie terrestre (LST) y el estado de la vegetación. Estos 3 factores están muy interrelacionados, una mínima variación en uno de ellos afecta a los demás. Por lo que, al aumentar el SM, la vegetación será más verde, como resultado, los valores de NDVI aumentarán y en general los valores de sequedad disminuirán. Por el contrario, cuando aumenta la temperatura del suelo, el SM disminuye y los cultivos están sujetos a sequedad, porque no hay suficiente agua en el suelo.

Para realizar nuestro análisis de la presencia de agua en el sistema, vamos a estudiar la situación antes del primer incendio, el del 2015, ya que con los incendios se ve afectada y por tanto no sería la situación real, la situación con vegetación que queremos conseguir. Por lo que nuestro periodo de estudio es del 2013 al 2016.

5. Resultados.

5.1. Perimetrado y severidad.

Tras la aplicación de la herramienta BADE, se ha obtenido tanto el perímetro como la severidad de los dos incendios en la zona deseada, el de 2015 y el de 2022.

En cuanto al incendio de 2015, tuvo un perímetro de 1905 ha. La severidad del incendio en general fue de media a alta, con predominio de alta (ver figura 11).

En base del informe sobre el impacto del incendio forestal de la Vall d'Ebo del 2015 (Vilagrosa, 2015), en el que se analizó el grado de afección del incendio se observó que el estrato herbáceo fue consumido completamente, igual que los horizontes orgánicos. En cuanto al matorral se consumieron la mayoría de las hojas de estas estructuras, pero sí que en ciertos individuos resistieron las ramillas. Por otro lado, en cuanto a la zona de pinar la severidad fue media a alta, donde pocas piñas fueron consumidas por el fuego.

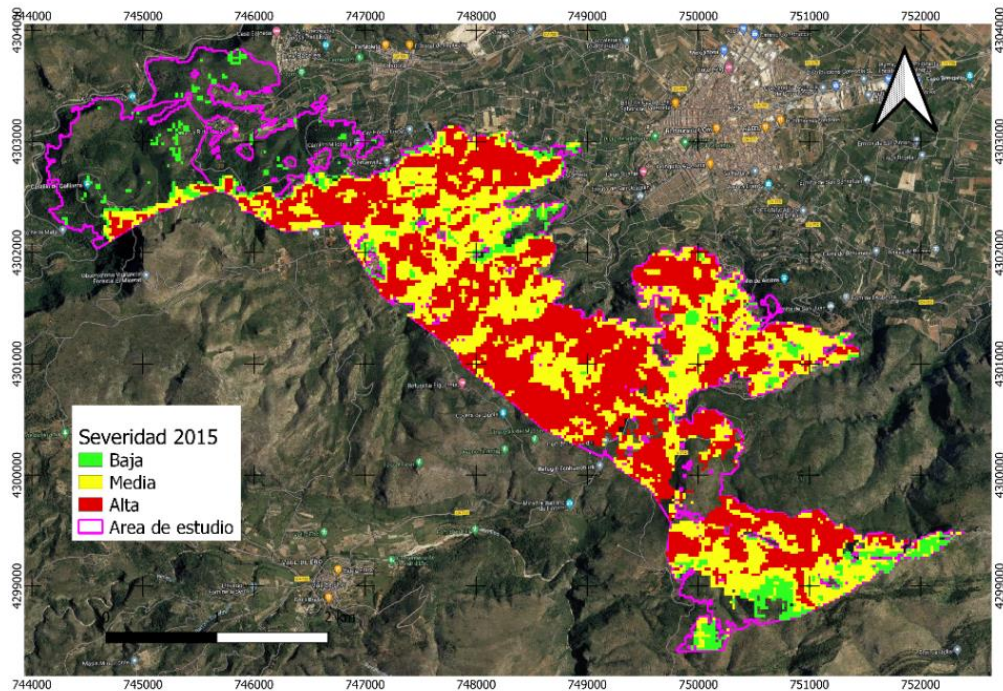


Figura 11: Distribución espacial de la severidad del incendio del 2015. Fuente: Elaboración propia a partir de información cartográfica de BADE.

Los resultados en cuanto a superficie son los siguientes:

Tabla 6: Superficie de las diferentes severidades en el 2015. Fuente: Elaboración propia

Severidad	Superficie (ha)
Baja	66,27
Media	341,95
Alta	401,99

Respecto al incendio de 2022, el perímetro fue de 11934 ha, pero como se ha explicado en el apartado 3.1. nuestra área de interés en este trabajo, debido a la extensa magnitud del incendio, es de 1089 ha. Por lo que, en este caso, la severidad que analizamos es la de esta zona.

En general la severidad del incendio fue media o alta, con pocas zonas puntuales en las que la severidad fuese muy alta. En cuanto a la zona de estudio en general la severidad fue media, aunque también encontramos zonas donde predomina la alta y otras en las que predomina la baja severidad.

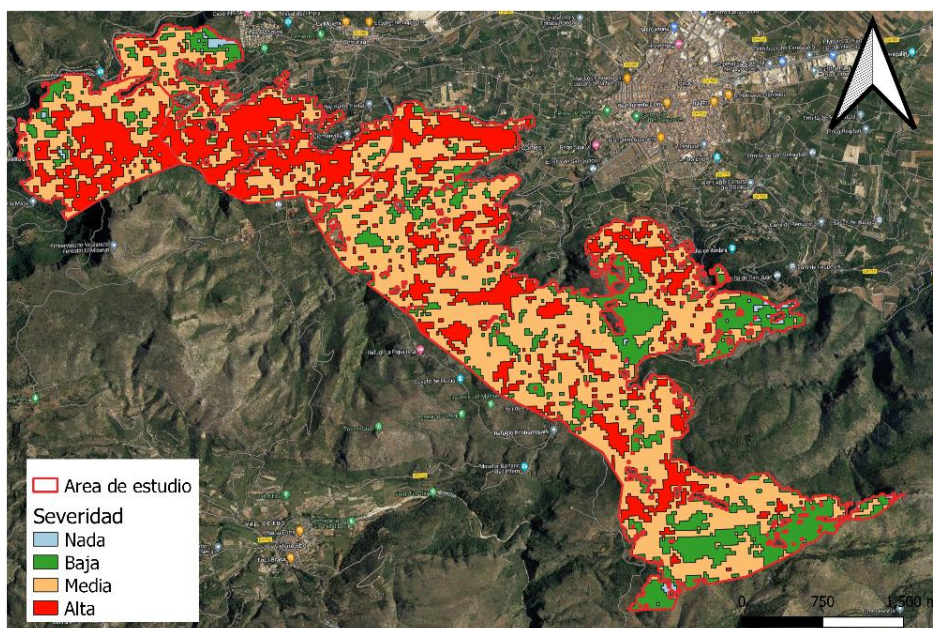


Figura 12: Distribución espacial de la severidad del incendio en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de información cartográfica de BADE.

Los resultados en cuanto a superficie son los siguientes:

Tabla 7: Superficie de las diferentes severidades en el 2022. Fuente: Elaboración propia

Severidad	Superficie (ha)
Baja	221,78
Media	640,34
Alta	278,47

En las zonas de arbolado, en especial de pino carrasco, la severidad fue entre media y alta, en concreto en la parte más al norte de la zona de estudio, cerca del municipio de Atzubia, que observamos en la figura 12 que este incendio tuvo una severidad alta. Esto se puede relacionar con las zonas con mayor abundancia de vegetación en esta zona, en concreto arbolado, que, al generarse fuego de copas, la intensidad del incendio aumentó.

En la siguiente imagen tomada de la zona de incendio, podemos observar como la gran cantidad de arbolado fue quemado, y aunque se aprecian tonos verdes, la mayoría son herbáceas que crecen con mayor facilidad.



Figura 13: Ladera con el arbolado quemado por completo. Fuente: Elaboración propia.

Se observaron que había rodales de arbolado con toda la copa afectada que se alternaba con rodales de arbolado con alguna parte de la copa que permanece todavía con partes verdes.

Por el contrario, en la zona del municipio de Pego, el extremo sur este, la severidad es baja al ser monte desarbolado de matorral, que se quema más rápido que el arbolado y tiene menos efecto en el ambiente.

En cuanto a las zonas dominadas por matorral, la severidad fue similar entre ellas, fue alta. En estos lugares, que predomina la roca caliza de alta pedregosidad, encontramos vegetación de tipo rebrotadora como el palmito (*C.humilis*) y de tipo germinadora como el romero (*S. rosmarinus*), que como observamos en la figura 14 fueron quemados por completo.



Figura 14: Zonas de matorral en terreno pedregoso calcinadas por completo. Fuente: Elaboración propia

Con todo esto tenemos una pequeña idea de cómo fueron los incendios y de cómo afectó a la vegetación presente en ese momento, y que posteriormente en los siguientes apartados la severidad nos será de gran ayuda para elegir los lugares en los que se va a realizar cada tipo de actuaciones.

5.2. Zonificación según la prioridad de actuación.

En el estudio de las zonas de mayor necesidad de actuación hemos tenido que considerar dos factores, la erosión hídrica y la severidad del incendio.

Para la erosión hídrica hemos aplicado el modelo RUSLE para la pérdida de la erosión del suelo. Para el cálculo del modelo RUSLE se han modificado los valores de uno de los factores, en concreto el valor C que relaciona la pérdida de suelo según la vegetación presente, pero como el incendio ha modificado esta vegetación, se ha tenido que actualizar. En la siguiente figura 15 podemos observar cómo ha variado el valor de C muy bruscamente debido al incendio. Antes del incendio teníamos valores que como máximo llegaban a 0,21.

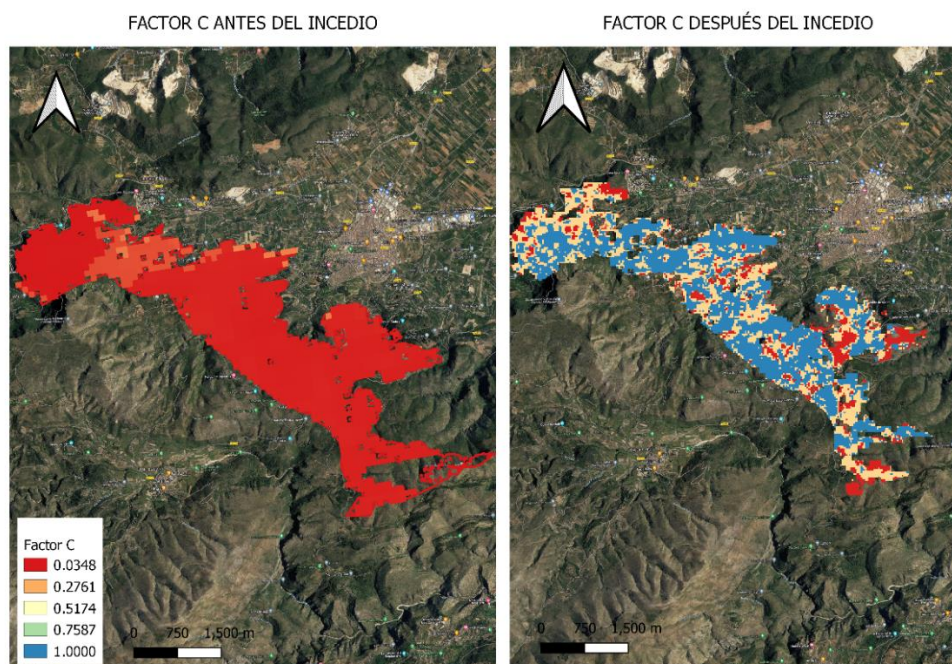


Figura 15: Distribución espacial de los valores del factor C comparando el antes y después del incendio. Fuente: Elaboración propia.

Tras el cálculo de la ecuación de la erosión (2), se ha obtenido una capa con los valores de pérdida de suelo en t/ha· año. El valor máximo de erosión hídrica en nuestra área estudio es de 73,40 t/ha año, en cambio el valor más bajo es de 0,0051871 t/ha año.

Estos valores se han reclasificado según la tabla 2. De esta forma nos queda que en la zona de estudio las pérdidas de suelo son las siguientes.

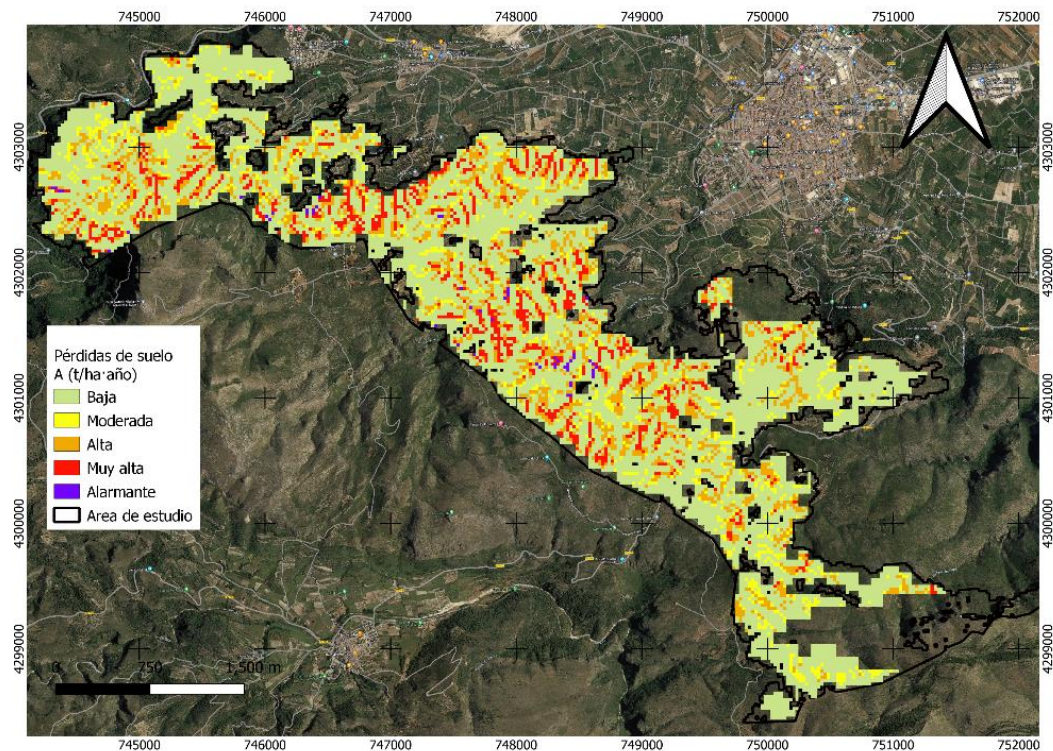


Figura 16: Distribución espacial de la pérdida de suelo anual por erosión después del incendio. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, la erosión hídrica en gran parte de nuestra área de estudio es baja y tenemos muy pocas zonas alarmantes, lo que de primera mano es una buena noticia. Los resultados en cuanto a superficie son los siguientes:

Tabla 8: Superficie de los diferentes grados de pérdida de suelo. Fuente: Elaboración propia

Pérdidas de suelo (t/ha·año)	Superficie (ha)
Baja	609,82
Moderada	69,35
Alta	126,06
Muy alta	67,71
Alarmante	3,31

Una vez obtenida la erosión hídrica, esta se ha combinado con la severidad del incendio para finalmente obtener las zonas prioritarias de actuación. El resultado final de la zonificación se observa en la figura 17 y en la tabla 9.

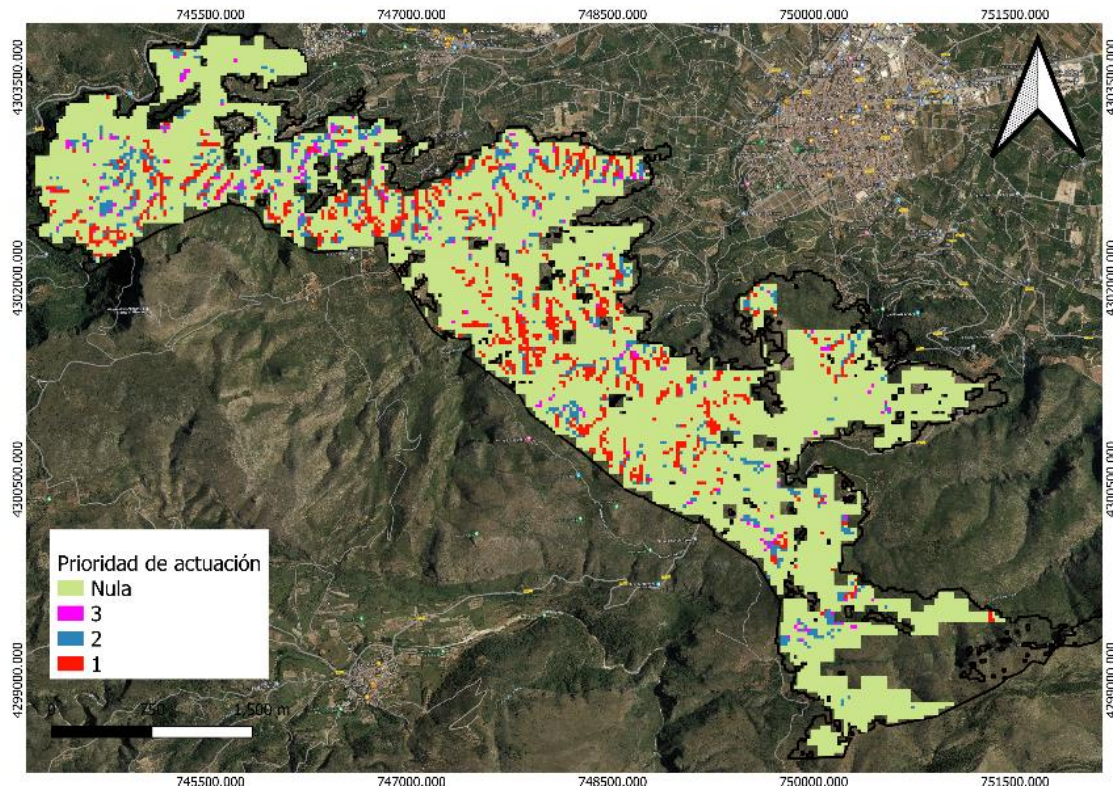


Figura 17: Distribución espacial de las diferentes zonas según la prioridad de actuación. La prioridad se representa con una escala del 1 al 3, donde 1 representa la máxima prioridad y 3 la menor. Fuente: Elaboración propia

Como hemos visto en la tabla 4, las zonas con el valor 1 representan la principal prioridad de actuación, después tendríamos las zonas de valor 2 y por último valor 3. Este será el orden en el que se deberán realizar las actuaciones frente a la erosión. Observando solamente la erosión se apreciaba como predominaba la superficie con alta erosión, pero al combinarlo con la severidad, podemos observar cómo esta superficie ha variado ligeramente.

Tabla 9: Superficie de las diferentes zonas según la prioridad de actuación. Fuente: Elaboración propia

Prioridad de actuación	Superficie (ha)
1	71.02
2	51.10
3	13.12
Nula	743.28

5.3. Repoblación forestal.

Para la selección de las zonas en las que vamos a intervenir con una repoblación para ayudar a regenerar la vegetación, hemos analizado las severidades de los incendios tanto del 2015 como del 2022, ya que como se ha comentado en el apartado 4.3., al sufrir dos incendios en un lapso de tiempo de 7 años dificulta enormemente la regeneración de muchas especies. En concreto las zonas que nos interesan son las de alta severidad en ambos incendios y cuando coincida la severidad alta en el incendio 2015 y severidad media en el incendio del 2022. El resultado de este análisis se muestra en la figura 18.

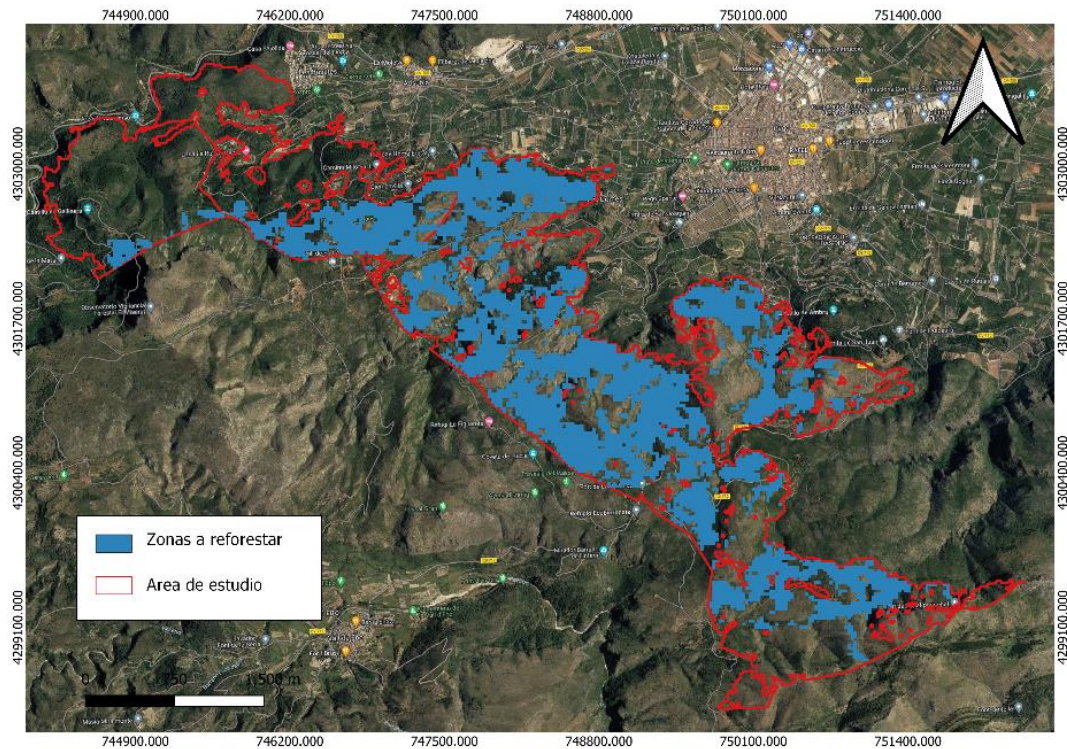


Figura 18: Distribución espacial de las zonas a reforestar sin tener en cuenta las zonas con tratas contra la erosión.
Fuente: Elaboración propia.

Estas serían las zonas para reforestar si no tuviéramos otras actuaciones prioritarias como las de control de erosión. Dado que las actuaciones de control de la erosión se consideran urgentes y prioritarias, estas zonas serán eliminadas del presente análisis ya que se considera complejo y costoso la implementación de ambas actuaciones a la vez en el mismo sitio. Una vez eliminadas las zonas elegidas para realizar tratas a la erosión, obtendremos las zonas definitivas en las que realizar la replantación de vegetación que se muestran en la figura 19.

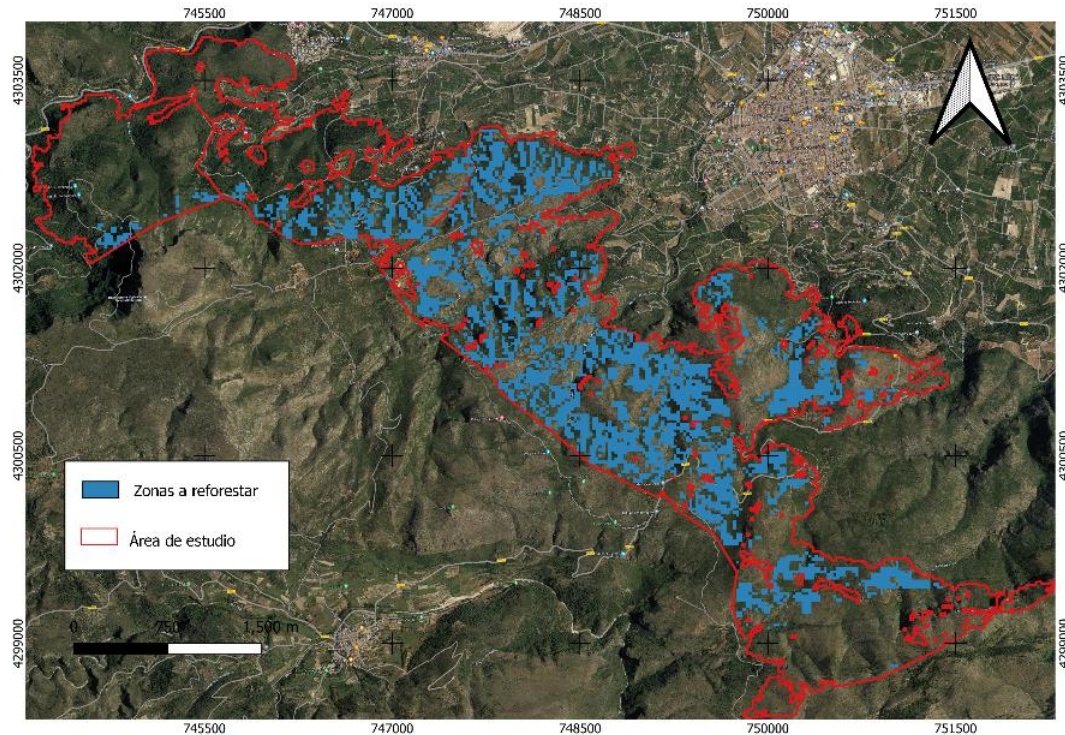


Figura 19: Distribución espacial de las zonas a reforestar. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar ha disminuido la superficie de actuación. En la primera elección de las zonas teníamos una superficie de 430,74 ha. En cambio, después de eliminar las zonas con tratas contra la erosión, nos quedamos con una superficie de 254,32 ha.

Ahora que ya sabemos en qué lugares vamos a realizar repoblación de la vegetación, lo siguiente es estudiar las condiciones de estas zonas, en especial la disponibilidad de agua de la zona. Para ello hemos utilizado ECHYZON, con el que se han obtenido los valores del índice de sequedad de temperatura-vegetación-humedad del suelo (TVMDI) en la zona de estudio.

En la plataforma de ECHYZON, con el periodo establecido en el apartado de metodología 5.3., se han obtenido 3 diferentes clases o estados de sequedad según la disponibilidad de agua en el sistema. En nuestra zona de reforestación que hemos delimitado según las severidades de los incendios, vemos en la figura 20, que predominan las zonas con buenas condiciones en relación con el agua, es decir que había buena disponibilidad de agua. En estas zonas es precisamente donde situaremos las especies con más requerimientos hídricos para su supervivencia. Seguidamente, representado en color verde en la figura 20 se observan las zonas con una disponibilidad de agua media, donde se pueden implantar especies menos exigentes en cuanto a necesidades de agua. Por último, en color rojo se observan las zonas con menos disponibilidad hídrica, donde se aconseja plantar especies arbustivas y con tolerancia a la sequía como por ejemplo el *Juniperus phoenicea*, *Ulex parviflorus*, *Pinus halepensis*, *Quercus faginea*...

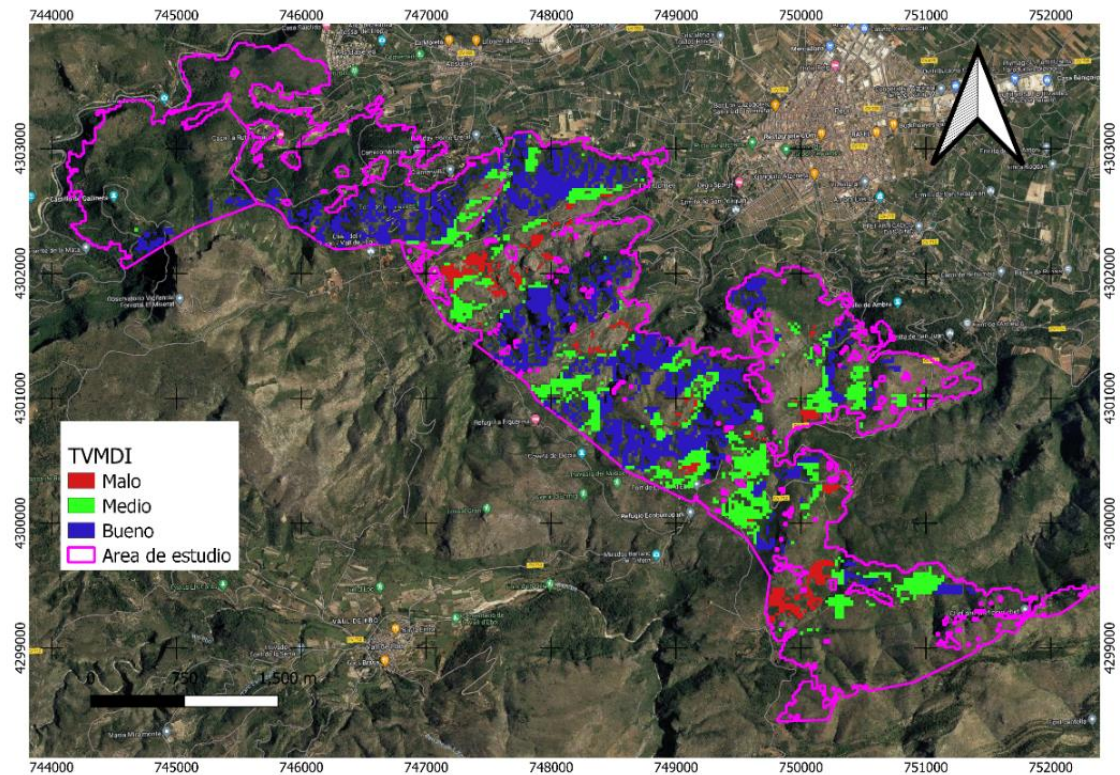


Figura 20: Distribución y clasificación de la presencia de agua en las zonas a reforestar. Fuente: Elaboración propia

Observando este mapa y comparándolo con la orientación de las laderas, vemos que las zonas en las que tenemos menor presencia de agua son aquellas orientadas al sur, y aquellas en las que vemos que tenemos mejores condiciones de agua están orientadas hacia el norte, donde da menos el sol y por tanto hay menos evaporación del agua.

Sabiendo esto podremos elegir mejor las especies idóneas que vamos a plantar en cada zona según sus necesidades hídricas. Esto lo detallaremos en el apartado 6.2.1.

6. Descripción de las actuaciones.

Una vez ya estudiada toda la zona, vistas las necesidades de cada lugar vamos a describir las actuaciones de esta restauración que vamos a realizar para conseguir unas mejoras en los ecosistemas. Esta es una de las partes más importantes del trabajo en la que tratamos de cumplir nuestro principal objetivo de recuperar la zona al estado previo al incendio o incluso mejorarla, y reducir las pérdidas de suelo debido a la erosión producida por la lluvia.

6.1. Actuaciones frente a la erosión.

Estas actuaciones tienen la intención de frenar la erosión de las zonas seleccionadas para que posteriormente se pueda recuperar la cubierta vegetal de forma natural.

El orden de ejecución de estas actuaciones en las diferentes zonas con riesgo de erosión es según el establecido en el apartado 5.2. Ambas actuaciones son útiles en nuestras zonas de actuación urgente porque nos encontramos en zonas con pendientes elevadas, que es donde son eficientes estas estructuras.

6.1.1. Acolchado.

Lo primero que se va a realizar en estas zonas es un acolchado post-incendio. La función principal de este es la reducción de las pérdidas de suelo por erosión en zonas quemadas mientras la vegetación recupera el recubrimiento necesario para proteger el suelo.

Este acolchado, o también conocido como mulching, incrementa inmediatamente el recubrimiento del suelo aumentando la intercepción de la lluvia, lo que hace disminuir el impacto de las gotas de la lluvia con el suelo. También aumenta la infiltración al retener el agua procedente del impacto de la lluvia y de la escorrentía, de esta forma dificulta el flujo de escorrentía. Por otro lado, facilita la recuperación de la cubierta vegetal, al proteger las semillas, mejora el contenido de agua en los horizontes superficiales del suelo y mejorar el microclima edáfico (ROJO SERRANO, 2013)

Este acolchado puede ser de una gran variedad de materiales como paja, cebada, centeno, etc. pero en este caso vamos a utilizar materiales del propio monte a partir de las restas forestales del incendio a que este tipo de materiales presentan la ventaja de ser más resistentes al movimiento por el viento y el agua en comparación con los otros materiales. Además, al retirar y trocear todo el material restante, estamos reduciendo el combustible disponible para futuros incendios.

Los restos de matorrales y vegetación herbácea que queden se triturarán, y en cuanto al arbolado se talarán los árboles que queden en pie y no muestran signos de vida, se desramarán, si aún tienen ramillas, y posteriormente se triturarán. Parte de este arbolado, en especial los troncos los debemos reservar para otras actuaciones que también nos serán útiles. Al talar el arbolado también estamos reduciendo la erosión que estos provocan al caer en unos años más tarde, además de reducir el riesgo de aparición de alguna plaga de parásitos en el arbolado restante. Al esparcir el material triturado, también estamos aportando nutrientes y materia orgánica al suelo, que le será muy útil para la repoblación natural ya que aporta fertilidad al suelo.

El mulch deberá estar constituido por la mezcla de fragmentos de diferente tamaño para ofrecer mayor eficacia, ya que las partículas más grandes trabajarán para reducir el movimiento de los sedimentos, mientras que las más cortas actuarían absorbiendo la lluvia y reduciendo la escorrentía, facilitando la infiltración. (ROJO SERRANO, 2013)

A la hora de aplicar este material, debemos tener en cuenta que un grosor excesivo dificultará el desarrollo de las germinaciones, ya que estas se producen donde el espesor es menor de 2,5 cm. Por lo que deberemos repartir el material de forma que quede una capa menor a 2,5 cm de grosor para no interferir en la revegetación natural.

Además, para evitar el paso de maquinaria pesada por las zonas vulnerables a la erosión, la aplicación de esta actuación se hará manual por toda la superficie o por fajas en líneas de nivel. El único uso de maquinaria se hará para el triturado de los restos del incendio, mediante un tractor provisto de una desbrozadora de cadenas, que se intentará dejar lo más cerca posible de los diferentes caminos para que afecte el mínimo posible al terreno en erosión, ya que la tala también se debe hacer manual.

Teniendo en cuenta el grosor y según lo estudiado, se estima que necesitaremos entre 2,2 y 4,5 t/ha de material para proporcionar un 70-80% de recubrimiento del suelo. (ROJO SERRANO, 2013).

Esta actuación se debe llevar a cabo lo antes posible para evitar que se agrave la situación en cuanto a pérdidas de suelo, pero siempre se tiene que respetar la vegetación existente o en germinación, por lo que el mejor momento para realizarse es antes de la germinación del arbolado, en este caso mayoritariamente el pino carrasco que es a finales del otoño.

El acolchado se debe mantener a lo largo de todo el primer y segundo año, y progresivamente ese material se irá perdiendo con el tiempo desde el incendio, debido a la meteorización y a su descomposición, mientras tanto, la vegetación quemada irá recuperándose, aumentando su contribución en la cobertura.

Esta es la principal actuación para paliar la erosión, pero para asegurarnos que es lo más eficiente posible, se propone otra actuación complementaria en relación con la erosión, ya que puede que el acolchado no resista lo máximo ante fuertes lluvias con grandes caudales. Para ello se propone la siguiente actuación con el objetivo de asegurarnos frenar la pérdida de suelo.

6.1.2. Barreras.

Se trata de estructuras transversales con funciones muy similares al acolchado, pero principalmente sirven de pequeñas presas donde se depositarán los sedimentos desplazados por la escorrentía, reduciendo los procesos de escorrentía y transporte de sedimentos. Además, fomentan la infiltración de agua y hacen que el flujo sea más lento.

La idea principal es colocar una estructura que combine las barreras de troncos contra la erosión y las fajas con acumulaciones de ramas y/o troncos, así aprovechamos al máximo la madera quemada.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se utilizarán dos troncos superpuestos por barrera, que aún queden del incendio y que no se hayan utilizado en el acolchado, y se colocarán siguiendo las curvas de nivel, perpendicular a la línea de máxima pendiente, y se sujetará a estacas o aprovechando las bases de los troncos talados, se deben sujetar fuertemente para que no se los lleven las crecidas de la lluvia. Luego se debe sellar con tierra el hueco entre la superficie del terreno y la barrera para que resulte efectiva.

Su capacidad de almacenar sedimentos dependerá de la pendiente, del diseño, tamaño y longitud de los troncos empleados, de la separación entre estos y el grado de contacto con el suelo de estas barreras. Si el diseño no es correcto, puede actuar en contra, concentrando la escorrentía causando más daños que en ausencia de tratamiento. (Vega, 2013)

Deben de distribuirse de forma escalonada, cubriendo el hueco que hay entre las barreras superiores, para así evitar ofrecerle a la escorrentía vías ininterrumpidas para el flujo. Se deben instalar en los puntos más sensibles frente a la erosión del suelo, como discontinuidades del terreno que pueden concentrar escorrentía, de esta forma reforzar la actuación de acolchado. Pero no debemos acumular muchas barreras en una misma zona ya que pueden suponer una gran cantidad de combustible para incendios futuros y aumentar su propagación.

La efectividad dependerá del volumen de sedimentos que pueda almacenar, y esta irá disminuyendo según van pasando los años ya que se va colmatando al retener sedimentos. Además, que si hay fuertes lluvias de forma constante aceleran la disminución de su eficiencia.

Estas estructuras se deberán instalar lo más pronto posible, ya que durante las primeras lluvias es cuando se produce la mayor erosión.

6.2. Reforestación.

La reforestación se hace para ayudar aquellos sitios en los que las condiciones tras los dos incendios son pésimas y les va a ser muy difícil que haya reforestación natural, ya que el banco de semillas y las estructuras rebrotadoras se han visto afectadas por la brevedad de tiempo entre los dos incendios.

Esta actuación consta de dos partes: i) la elección de las especies idóneas para el lugar; ii) la ejecución de la plantación.

6.2.1. Elección de especies

La elección de especies se hace teniendo en cuenta la presencia de agua en el sistema estudiado en el apartado 5.3. mediante la herramienta ECHYZON. Además, también, nos basaremos en la flora presente antes del incendio, así como trataremos de introducir especies presentes en las proximidades de la superficie quemada y se puedan adaptar bien a la zona para darle más heterogeneidad a la vegetación de la zona. Como toda la zona a reforestar se encuentra en afloramiento de calizas y dolomías, en cuanto a preferencias de suelo de las especies será más sencillo ya que solo tenemos una tipología.

Tabla 10: Superficie por cada valor de TVMDI. Fuente: Elaboración propia

TVMDI	Superficie
Alto	139,03 ha.
Medio	81,88 ha.
Bajo	23,23 ha.

En esta tabla vemos la superficie de actuación por cada clase del estado del agua en el sistema, por lo que atendiendo a esta superficie podremos saber de una forma aproximada las especies y la cantidad que vamos a necesitar.

La densidad de población para cada zona será de 400 pies por hectárea con una plantación en hileras. Para el cálculo de este valor se han utilizado la distancia entre las hileras que en este caso será de 5m y la distancia entre las plantas, que también es 5m, y todo esto lo dividimos por los 10000 m² de una hectárea.

Tabla 11: Selección de especies para la reforestación. Fuente: Elaboración propia.

Nombre Común	Nombre científico	Estrato	Regeneración post incendio	Clase TVMDI	Representación (pies/ha)	Total:
Pino carrasco	<i>Pinus halepensis</i>	Arbóreo	Germinadora	Bajo	35	813
Palmito	<i>Chamaerops humilis</i>	Matorral	Rebrotadora	Bajo	25	581
Romero	<i>Salvia rosmarinus</i>	Matorral	Germinadora	Bajo	35	813
Aliaga	<i>Ulex parviflorus</i>	Matorral	Germinadora	Bajo	35	813
Coscoja	<i>Quercus coccifera</i>	Matorral	Rebrotadora	Bajo	30	697
Enebro	<i>Juniperus oxycedrys</i>	Matorral	Rebrotadora	Bajo	30	697
Esparraguera	<i>Asparagus acutifolius</i>	Matorral	Rebrotadora	Bajo	30	697
Jara blanca	<i>Cistus albidus</i>	Matorral	Germinadora	Bajo	35	813
Brezo de invierno	<i>Erica multiflora</i>	Matorral	Germinadora	Bajo	35	813
Lentisco	<i>Pistacia lentiscus</i>	Matorral	Rebrotadora	Bajo	30	697
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Herbáceo	Rebrotadora	Bajo	30	697
Lastón	<i>Brachypodium retusum</i>	Herbácea	Rebrotadora	Bajo	25	581
Botea	<i>Brachypodium phoenicoides</i>	Herbácea	Rebrotadora	Bajo	25	581
Total repoblación en zonas baja humedad					400	9292
Encina	<i>Quercus ilex</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Medio	50	4094
Quejigo	<i>Quercus faginea</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Medio	50	4094
Cerezo de Santa Lucia	<i>Prunus mahaleb</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Medio	50	4094
Madroño	<i>Arbutus unedo</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Medio	50	4094
Taray de Canarias	<i>Tamarix canariensis</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Medio	45	3685
Sabina negral	<i>Juniperus phoenicia L.</i>	Matorral	Germinadora	Medio	55	4503
Espino albar	<i>Crataegus monogyna</i>	Matorral	Rebrotadora	Medio	50	4094
Espino negro	<i>Rhamnus lycoides</i>	Matorral	Rebrotadora	Medio	50	4094
Total repoblación en zonas de media humedad					400	32752
Chopo	<i>Populus nigra</i>	Arbóreo	Germinadora	Alto	100	13903
Fresno de flor	<i>Fraxinus ornus</i>	Arbóreo	Rebrotadora	Alto	100	13903
Aladierno	<i>Rhamnus alaternus</i>	Matorral	Rebrotadora	Alto	100	13903
Adelfa	<i>Nerium oleander</i>	Matorral	Rebrotadora	Alto	100	13903
Total repoblación zonas de alta humedad					400	55612

La tabla 11 muestra las especies elegidas para repoblar en cada zona según la disponibilidad de agua. Además de por sus necesidades hídricas, se han seleccionado las especies por representar el ecosistema mediterráneo con una predominancia del estrato arbustivo característico de la zona antes de los incendios.

Cabe destacar, que el palmito (*Chamaerops humilis*), es una especie con una alta capacidad de regeneración ante perturbaciones como los incendios, y este caso, aunque hubo un incendio años antes, en el trabajo de campo pudimos observar individuos rebrotando de sus estructuras quemadas (Ver figura 21).



Figura 21: Palmito rebrotando de sus estructuras dañadas. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al arbolado, nuestra principal especie a regenerar será el pino carrasco, ya que este bajo condiciones por su adaptación a los incendios cuando estos no se producen en intervalos de tiempo tan estrechos. De hecho, en la parte norte del área de estudio, al no coincidir con la zona quemada en el incendio anterior, sí que pudimos observar pequeños pies germinados (pimpollos) de pino carrasco y piñas que se habían abierto por la calor del incendio, como se observa en la figura 21.



Figura 22: Pruebas de la revegetación natural del pino carrasco en las condiciones normales. Izquierda: Rebrote de pino carrasco. Derecha: piñas abiertas tras el paso del incendio. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Plantación.

Una vez ya sabemos qué especies vamos a poner en nuestras zonas elegidas a reforestar, tenemos que detallar cómo se va a hacer la plantación.

Antes de ponernos a plantar las nuevas especies debemos retirar todo el material quemado que podamos encontrar, ya que pueden suponer un foco para plagas o el arbolado caer sobre las nuevas especies en crecimiento. Podemos aprovechar estos restos para triturarlos y utilizarlos para las actuaciones contra la erosión.

Para empezar a realizar la reforestación debemos esperar al menos un par de años después del incendio para no afectar al suelo ni a la posible vegetación capaz de regenerarse de forma natural. La mejor época para la plantación es otoño para evitar las heladas de los inviernos o las sequías de verano.

Debemos de intentar evitar el uso de maquinaria ya que debido a su peso compactan el suelo y puede agravar la erosión, por lo que la plantación de las especies seleccionadas se realizará de manera manual mediante el uso de herramientas manuales. Además, al encontrarnos en terrenos con bastante pendiente, esto dificulta el uso de maquinaria, por lo que es inviable su uso.

El método de repoblación será mediante plantación, es decir colocando las plantas forestales enterrando adecuadamente su sistema radical. Para obtener un mejor resultado de la plantación y asegurarnos que los individuos son de calidad obtendremos las plantas del vivero forestal más cercano. La técnica de cultivo de la plantación será en envase, para así de esta forma mantenemos de forma conjunta todo el sistema radical y la tierra que lo rodea, y también evitamos que durante el transporte, cultivo o plantación se dañe.

La plantación será cavando pequeños hoyos donde se introducirá la planta, tratando de realizar el mínimo labrado posible para no perturbar más el suelo ni realizando inversión de los horizontes. Además de esta forma tenemos mayor posibilidad de que salga adelante. Los hoyos se realizarán de forma manual y tendrán unas dimensiones alrededor de 40x40x40cm. (TECNIAGRO SIGLO XXI S.L.).

6.3. Mantenimiento de la reforestación

Una vez se ha realizado la restauración, las actuaciones se irán degradando a lo largo de los años, por lo que para garantizar la viabilidad del proyecto a largo plazo se debe considerar una serie de actuaciones necesarias de mantenimiento mínimo durante al menos los cinco primeros años después de la finalización del proyecto.

Algunas de las labores de mantenimiento son el desbroce con el que pretende retirar la vegetación herbácea que cubre rápidamente en primavera la zona compitiendo por la luz, el espacio, el agua y los nutrientes con nuestras plántulas

En verano tendremos los riegos de emergencia para asegurar el establecimiento y la supervivencia de las especies, ya que durante esta estación suele haber altas temperaturas y periodos bastante extensos de sequía.

Para garantizar el mayor grado de garantía de la repoblación a medio y largo plazo se proyecta la reposición de marras. Esto se realizará en los años inmediatos a la plantación para sustituir a las plantas muertas que no han conseguido sobrevivir a esta población.

Finalmente, transcurridos 7 años tras la plantación se realizarán podas al pino carrasco para que no se alcancen grandes densidades y puedan desarrollarse bien, y además para que no haya mucha continuidad de combustible.

Durante los primeros años después de la restauración se debe llevar un seguimiento del proyecto para evaluar los resultados y aprender de los errores. Este seguimiento se hará observando la vegetación viva y valorar el grado de desarrollo de las plantas.

6.4. Actuaciones complementarias.

6.4.1. Clareo.

En relación con la vegetación que sobrevivió al incendio, en concreto al arbolado realizaremos una clara y poda en altura para reducir la densidad de estos así de esta forma reduciremos también la acumulación de combustible y la continuidad vertical de este.

6.4.2. Pastoreo.

La presencia de fauna como las cabras, ovejas o vacas retrasa la revegetación natural además de que puede afectar la artificial, ya que estos animales tienen preferencia para comerse las pequeñas plántulas que habrán salido. Además, también el paso de la fauna de este tamaño afecta a las pequeñas plantas ya que pueden ser pisoteadas y compactar el suelo. Por lo que deberíamos no permitir el pastoreo en las masas forestales en regeneración, durante los primeros 5 años después del incendio. Una medida que puede ser útil para delimitar la zona es la instalación de una valla móvil electrificada con muy bajo voltaje, como lo realiza el colectivo de la zona conocido como Pego Viu.

Pasado este periodo y cuando este la vegetación establecida, sí que sería conveniente el paso del pastoreo ya que ayuda a reducir el combustible disponible.

6.4.3. Prevención de plagas.

El hecho de que quede pinar parcialmente afectado por el incendio incrementa la posibilidad de la proliferación de focos de escolítidos, que son los insectos que afectan a este arbolado que pueden llegar incluso a matarlos. Por lo que deberemos realizar seguimiento y control de los posibles focos. En el caso de que se detectará una posible presencia de estos insectos deberían eliminarse y realizar una corta selectiva de los individuos parcialmente afectados por el fuego.

7. Conclusión.

Cuando hablamos de una restauración forestal, lo primero en lo que pensamos la mayoría de la población es en plantar, pero no trata solamente de eso, o incluso a veces puede que no sea necesario plantar para recuperar un ecosistema degradado. Para conseguir llegar a ese punto hay mucho trabajo antes. Primero que todo debemos analizar la zona de estudio, recopilando información de diversos aspectos muy indispensables para estos proyectos, como es la erosión del suelo, la severidad del incendio o la disponibilidad de agua en la zona. Una vez tenemos la información necesaria, con las últimas herramientas disponibles, se zonifican y priorizan las zonas en las que se va a actuar. En este caso, las herramientas que nos han sido fundamentales para esto han sido el BADE, ECHYZON y QGIS. Pero esto no termina aquí, ya que una vez estudiada la zona y elegidas las zonas de trabajo, se pasa a describir las actuaciones necesarias, en este caso contra la erosión y ya posteriormente para la repoblación.

En este proyecto el objetivo principal de las actuaciones era el de recuperar y conservar los recursos naturales presentes en esta zona y que se han visto afectados reiteradamente por los incendios debilitando así el ecosistema. El presente trabajo contribuye por tanto a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 13 (Acción por el clima) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) estableciendo una metodología clara y novedosa para el análisis y recuperación de ecosistemas forestales post-incendio que además incrementa su resiliencia frente al cambio climático.

Si estas actuaciones se realizan correctamente y siguiendo las pautas propuestas conseguiremos grandes avances ecológicos. Empezando por la recuperación de la cubierta vegetal que es un aspecto importante para combatir la erosión y la degradación de los suelos, así como también mejoramos la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. De la misma forma, la metodología empleada en la zonificación de la repoblación incrementa las garantías de éxito de la misma por considerar como factor clave la disponibilidad de agua a una resolución espacial de 30 m.

Bibliografía.

- Alloza J.A., M. L. (3 de octubre de 2022). *INFORME SOBRE EL IMPACTO DEL INCENDIO FORESTAL DE VALL D'EBO, 2022*. Obtenido de https://postfire.es/informes/impacto/informe_vall_debo.pdf
- Amani, S. M. (2017). *ScienceDirect*. Obtenido de Teledetección del medio ambiente: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302250?casa_token=6wwDqGVsjrEAAAAA:4bRYE5_XiOpHZuNB6OjVKCDHyrq-5pwxJepUCI8v-lGqNvss5gppKvw1tRkQsHv7QTOFuo5MIg
- Cardil, A.; Mola-Yudego, B.; Blázquez-Casado, Á.; González-Olabarria, J.R. Fire and burn severity assessment: Calibration of Relative Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) with field data. *J. Environ. Manag.* 2019, 235, 342–349
- Climate-Data. (2022). *Climate-Data.prg*. Obtenido de Clima Pego: <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/pego-25346/>
- Del Campo García, P. R. (2023). *Burnt Areas Detection & Evolution (BADE)*. Obtenido de <https://javierrieju.users.earthengine.app/view/re-forest-fire>
- Del Campo García, P. R. (2023). *Eco-Hydrologic Zoning for Precision Management (ECHYZON)*. Obtenido de <https://javierrieju.users.earthengine.app/view/re-forest-zoning>
- Díaz-Delgado, R. (2004). *Efecto de la recurrencia de los incendios sobre la resiliencia post-incendio de las comunidades vegetales de Cataluña a partir de imágenes de satélite*. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/227>
- EFE. (2022). *El fuego de Vall d'Ebo queda extinguido tras dos semanas activo en una jornada de incendios controlados*. Obtenido de Público: <https://www.publico.es/espana/fuego-vall-d-ebo-queda-extinguido-semanas-activo-jornada-incendios-controlados.html>
- García Morote, F. A. (2015). *Propuesta metodológica de zonificación de prioridades de actuación hidrológico-forestal tras incendio. Aplicación al gran incendio de Hellín (Albacete)*. Obtenido de <https://www.bing.com/ck/a?!&p=bb066bf1b1a6d999JmltdHM9MTY5Mzc4NTYwMCZpZ3VpZD0zYTUwZmJkZC0xNDU3LTZlMmYtMzdhdhYy1lYjE5MTVmZjZmZGUmaW5zaWQ9NTE5MA&pptn=3&hsh=3&fclid=3a50fbdd-1457-6e2f-37ac-eb1915ff6fde&psq=Dialnet-PropuestaMetodologicaDeZonificacionDePrioridad>
- Instintut Cartogràfic Velencià. (2022). *Visor de Cartografía*. Obtenido de <https://visor.gva.es/visor/?extension=52282,4076434,1363027,4685784&nivelZoom=7&capasids=Imagen;&tcapas=1.0&idioma=es>
- LEOPOLDO ROJO SERRANO, J. A. (2013). *Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente*. Obtenido de Guía técnica para la gestión de montes quemados: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/pdfguatcnicaparalagestindemontesquemados_tcm30-479142.pdf
- Pausas, J. G. (2012). *Incendios Forestales. Una visión desde la ecología*. Catarata.

- PEMÁN GARCÍA, C. G.-C. (14 de marzo de 2014). *Miteco*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/Semillas%20-%20Fichas%20de%20especies%20A-B_tcm30-100336.pdf
- Pérez-Romero, D. C.-S. (2023). *Life Resilents Forest*. Obtenido de <https://www.resilientforest.eu/2023/03/15/echyzon-eco-hydrologic-zoning-for-precision-management/?lang=es>
- PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES. (2018). *ANÁLISIS DE CAUSAS DE INCENDIOS FORESTALES EN LA COMUNITAT VALENCIANA*. Obtenido de https://mediambient.gva.es/documents/20551003/167181181/07_An%C3%A1lisis_causas_3_12_2018_v4/b67c5ee5-3455-40e5-b426-065e97db8ccc
- Soverel, N.O.; Perrakis, D.D.B.; Coops, N.C. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sens. Environ.* 2010, 114, 1896–1909.
- TECNIAGRO SIGLO XXI S.L. (2007). *Castillalamancha.es*. Obtenido de Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Castilla la Mancha: <https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/20120511/serie20forestal20no204.-20repoblacion20forestal.20forestacion.pdf>
- Toribio, G. (2015). *Cursosteledeteccion*. Obtenido de NDVI, ¿qué es y para qué sirve?: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Vega, F. F. (2013). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281268369_Acciones_urgentes_contra_la_erosion_en_areas_forestales_quemadas_Guia_para_su_planificacion_en_Galicia
- Vilagrosa, B. A. (2015). *Informe sobre el impacto del incendio forestal de Vall d'Ebo, 2015*.