



UNIVERSIDAD DE LEÓN.

ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA AGRARIA.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN INGENIERIA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

### **ETAPAS INICIALES DE LA RECUPERACIÓN POST-FUEGO Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DE LAS AGUAS.**

INITIAL STAGES OF POST-FIRE RECOVERY AND  
RELATIONSHIP WITH THE QUALITY OF WATERS.

Bárbara Silván García

Directores:

Elena M<sup>a</sup> Marcos Porras y Reyes Tárrega García – Mares

Ponferrada, diciembre 2017.



UNIVERSIDAD DE LEÓN

ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE  
INGENIERIA AGRARIA

## HOJA DE CONFORMIDAD

### TRABAJOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O TÉCNICO

Título del Trabajo: “ETAPAS INICIALES DE LA RECUPERACIÓN POST- FUEGO Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DE LAS AGUAS.”

Autor: Bárbara Silván García

#### ELEMENTOS DE OBLIGADA APARICIÓN

- Resumen.** De 400 palabras como máximo.
- Introducción.** Debe incluir los motivos por los que se realiza el trabajo y los antecedentes o estudios previos sobre el mismo.
- Objetivos.** Se detallarán de forma clara y concisa los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Material y Métodos / Metodología.** Descripción de las técnicas, los materiales empleados, y los métodos de análisis de datos, de forma que se garantice la repetibilidad de los mismos.
- Resultados / Análisis / Diagnóstico.** La información obtenida con el estudio se presentará de forma sistemática, preferentemente mediante tablas y figuras que deberán ser en todo caso autoexplicativas, y deberán aparecer debidamente numeradas y referenciadas en un índice propio.
- Discusión.** Los resultados propios del trabajo deberán ser discutidos relacionándolos, en su caso, con otros de estudios precedentes.
- Conclusiones.** Deberán ser claras, concisas, y coherentes con los objetivos propuestos. En el caso planes de ordenación de recursos forestales, propuestas concretas con objetivos, líneas y medidas.
- Planos / Mapas.** Serán obligatorios en trabajos topográficos, estudios de implantación de cultivos o transformaciones de explotaciones, y en general, cualquier trabajo técnico o científico asociado a áreas, parcelas, o territorios determinados.
- Bibliografía.** Listado de las fuentes de información utilizadas debidamente referenciadas y ordenadas.

<input type="checkbox"/> <b>OBTENIDA LA CONFORMIDAD</b>	
<input type="checkbox"/> <b>DENEGADA LA CONFORMIDAD</b> (No se autoriza la presentación)	Fdo.: El Tutor/es

## **RESUMEN**

Los incendios forestales son uno de los mayores problemas ambientales a los que nos enfrentamos en la actualidad, produciendo importantes efectos sobre la vegetación, los suelos y sobre las masas de agua que atraviesan las zonas quemadas debido al arrastre de suelo y cenizas por erosión. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es conocer la capacidad de recuperación de la vegetación en el primer año tras un gran incendio forestal, y analizar su influencia sobre la calidad de las aguas.

Se realizó un estudio en la zona quemada por el incendio de Bárcena de la Abadía que tuvo lugar en septiembre de 2016. En dicho incendio se recogieron datos de cobertura vegetal, se determinó la severidad del incendio y su influencia sobre la hidrofobicidad del suelo, así como los efectos sobre la calidad de las aguas de la cuenca del Cúa, (a partir de mediciones de pH, conductividad, oxígeno, sólidos en suspensión y volátiles, y fosfatos disueltos) durante cinco periodos de muestreo, desde marzo hasta junio de 2017. Se intenta conocer también la eficacia de diferentes mecanismos de protección, como albarradas y mulching en los arroyos y laderas para evitar el arrastre de cenizas hacia el río Cúa, y la relación entre todos los parámetros.

Se observó que la severidad del incendio sobre la vegetación se puede estimar de manera precisa mediante el diámetro mínimo remanente, sin embargo, no reflejó adecuadamente la severidad sobre el suelo. El incendio disminuyó la hidrofobicidad superficial del suelo desplazando la misma en profundidad, situación típica de una elevada severidad sobre el suelo. En cuanto a la vegetación se observa una buena regeneración gracias al rebrote, sin embargo, es peor donde la severidad ha sido mayor. Por último, en lo relativo a la calidad de las aguas no se ha podido comprobar que el paso de un incendio tenga un efecto en las aguas medio año después del fuego, probablemente debido a la escasez de precipitaciones, aunque sí ha visto una influencia positiva de la vegetación de ribera en la retención de partículas sólidas.

**AGRADECIMIENTOS.**

**A Raquel y Víctor por la ayuda en campo y laboratorio.**

**A mi familia por la ayuda en este proyecto, en la carrera y en todo.**

**A Elena y Reyes, mis tutoras, por la paciencia, el esfuerzo y dedicación.**

## INDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Problemática de los incendios forestales .....	1
1.2 Efectos sobre la vegetación y el suelo .....	2
1.3 Efecto sobre la calidad de las aguas.....	4
2. Objetivos.....	6
3. Material y métodos .....	7
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	7
3.1.1. Condiciones climáticas.....	8
3.1.2. Condiciones edafológicas.....	9
3.1.3 Vegetación.....	9
3.1.4 Hidrología.....	11
3.1.5. El gran incendio de 2016.....	11
3.1.6. Descripción de los puntos de muestreo .....	14
3.2. Diseño experimental y método de muestreo .....	18
3.3. Análisis de laboratorio .....	24
3.4. Análisis de datos .....	26
4. Resultados.....	28
4.1. Estimación de la severidad del incendio .....	28
4.2. Grado de hidrofobicidad del suelo .....	28
4.3. Muestreo de vegetación .....	30
4.4. Análisis conjunto de la recuperación de la vegetación y relación con la severidad estimada del incendio y la hidrofobicidad del suelo.....	35
4.5. Evolución de la vegetación de ribera y de ladera durante el periodo de muestreo. .....	36
4.6 Calidad de las aguas.....	40
4.6.1 Oxígeno disuelto .....	40
4.6.2 Conductividad .....	41
4.6.3 pH.....	42
4.6.4 Temperatura .....	42
4.6.5. Sólidos en suspensión totales .....	43
4.6.6. Sólidos en suspensión volátiles .....	44

4.6.7. Fosfatos .....	45
4.6.8. Estimación visual de la efectividad de las albarradas. ....	46
5. Discusión .....	49
6. Conclusiones.....	52
7. Bibliografía.....	53
ANEXO I.....	58
Informe bioclimático.....	58
ANEXO II. ....	63
Resultados de los análisis estadísticos .....	63
ANEXO III .....	70
Material y métodos usados en laboratorio: .....	70
ANEXO IV .....	75
Planos y mapa .....	75

## INDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Localización del municipio de Fabero, el más afectado por el incendio. ....	7
Figura 2. Municipios afectados por el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León) .....	7
Figura 3. Climodiagrama de Walter-Lieth para el municipio de Fabero. Fuente: Elaboración propia.....	9
Figura 4. Tipo de superficies para cada municipio afectadas en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León) .....	12
Figura 5. Especies afectadas en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León) .....	12
Figura 6. Tipo de vegetación y superficie afectada en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León). .....	13
Figura 7 . Ubicación de los puntos de muestro dentro del perímetro del incendio. (Fuente: Elaboración propia) .....	15
Figura 8. Imágenes de la zona control; se observa de arriba abajo y de izquierda a derecha la vegetación de las laderas próximas a las zonas control, la vegetación de la ribera de la zona control y la desembocadura del arroyo en el río. ....	16
Figura 9. Imágenes de la zona 1 donde se puede observar las laderas quemadas con algún pie vivo y regeneración debajo de los pies muertos. ....	16
Figura 10. Imágenes de la zona 2, donde se observan las laderas quemadas y la fuerte pendiente.....	17
Figura 11. Imágenes de la zona 3, donde se observa un menor daño por el fuego, en especial en la zona de ribera. ....	18
Figura 12. Imágenes de la zona aguas abajo del incendio, zona de recreo. ....	18
Figura 13. Esquema de la distribución de los puntos de muestreo.....	19
Figura 14. Precipitaciones en las semanas anteriores a los períodos de muestreo. ....	21
Figura 15. Imágenes de la toma de datos de aguas.....	23
Figura 16. Imágenes de la toma de datos para la estimación de la hidrofobicidad y severidad.....	24
Figura 17: Imágenes del espectrofotómetro, utilizado para el análisis de fosfatos en el agua en el laboratorio. ....	25
Figura 18: Imagen de los filtros utilizados para conocer los sólidos totales en suspensión y volátiles una vez usados. ....	25
Figura 19: Imagen de los compuestos químicos utilizados para el trabajo del laboratorio. .....	26
Figura 20: Imagen de los filtros tras filtrar el agua en el muestro 3.....	26
Figura 21. Valores medios y desviación estándar del diámetro remanente de <i>Erica australis</i> tras el paso del incendio en las diferentes zonas de estudio (Zona 1, 2 y 3). ..	28
Figura 22. Distribución de las clases de repelencia al agua en las muestras de suelo de la zona control y afectadas por el incendio (Zonas 1, 2 y 3) (1= hidrofílico, 2= ligeramente repelente al agua, 3= fuertemente repelente al agua). ....	29

Figura 23: Distribución de las clases de repelencia al agua en las muestras de suelo de la zona 3, en superficie y a 2 cm de profundidad (1=hidrofílico, 2=ligeramente repelente al agua, 3= fuertemente repelente al agua).....	29
Figura 24. Gotas de agua sobre un suelo repelente, a 2 cm de profundidad, en la zona 3 .....	30
Figura 25: Porcentaje de cobertura de especies leñosas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).....	31
Figura 26: Riqueza de leñosas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).....	32
Figura 27: Porcentaje de cobertura de especies herbáceas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).....	33
Figura 28: Riqueza de herbáceas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).....	34
Figura 29: Representación de las zonas y las especies en el plano definido por los dos primeros ejes del Análisis de Correspondencias. Para este análisis solo se incluyen las especies que se encontraron en más de un muestreo. Clave de zonas: C = Zona control no quemada (verde) y Z1 (naranja), Z2 (rojo) y Z3 (marrón) zonas 1, 2 y 3 quemadas. Clave de especies (azul) en la figura. ....	35
Figura 30: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona control. ....	36
Figura 31: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 1.....	37
Figura 32. Imagen la zona 1. Destaca la abundancia de los restos muertos en pie. ....	38
Figura 33: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 2.....	39
Figura 34: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 3.....	39
Figura 35: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona aguas abajo del incendio. ....	40
Figura 36: Concentración de oxígeno disuelto (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ..	41

Figura 37. Conductividad del agua en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ...	41
Figura 38. Valores del pH (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ....	42
Figura 39: Valores de la temperatura del agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ...	43
Figura 40: Sólidos en suspensión en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ...	44
Figura 41: Sólidos en volátiles en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ....	45
Figura 42: Fosfatos en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la al barrada (AA), después de la al barrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo. ....	46
Figura 43: Aspecto de la al barrada tras su colocación, antes de comenzar el estudio. ...	47
Figura 44: Aspecto de la al barrada el día 28 de mayo. ....	47

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Grandes Incendios Forestales en 2016, entre los que se encuentra el incendio del municipio de Fabero. (MAPAMA, 2017a).....	2
Tabla 2. Cronología de emergencias INFOCAL.....	14
Tabla 3. Calendario de muestreos en la zona de estudio.....	19
Tabla 4. Clasificación de la repelencia al agua de los suelos según Bisdom et al. (1993). .....	23
Tabla 5. Contenido de humedad en el suelo (%)......	30
Tabla 6: Cobertura (%) de especies leñosas presentes en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017).....	31
Tabla 7. Cobertura (%) de especies herbáceas presentes en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017).....	33
Tabla 8: Porcentaje de cobertura de musgo, hojarasca, suelo descubierto y piedras en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017). ....	34
Tabla 9: Análisis de correlación de Spearman entre las variables de vegetación (CL=Cobertura de leñosas, CH= Cobertura de herbáceas, SD= Suelo descubierto, RL= Riqueza de leñosas y RH= Riqueza de herbáceas) y la severidad e hidrofobicidad. Cuando la correlación es estadísticamente significativa se indica en rojo. ....	36
Tabla 10. Análisis de correlación de Spearman entre las variables químicas del agua (O <sub>2</sub> = Oxígeno disuelto, Conductividad, pH, T <sup>a</sup> = Temperatura, SSV=Sólidos en suspensión totales, SSV= Sólidos en suspensión volátiles y Fosfatos) y la cobertura vegetal en las zonas quemadas (VR= Vegetación de ribera, VL= Vegetación de laderas próximas a la ribera, RMP= Restos muertos en pie en la zona de ribera, LMP= Restos muertos en pie de laderas próximas, RRC= Restos muertos caídos en la ribera y LRC= Restos muertos caídos en las laderas próximas). Cuando la correlación es estadísticamente significativa se indica en rojo.....	48

## 1. Introducción

### 1.1 Problemática de los incendios forestales

Los incendios forestales producen efectos complejos sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad de estructuras del paisaje y a las diferentes respuestas de la vegetación. Los efectos de los incendios van a depender fundamentalmente de la intensidad alcanzada en el mismo y de su recurrencia. Estos efectos pueden ser directos tales como la mortalidad de la fauna, pérdida de la vegetación y degradación del suelo. Los efectos indirectos por su parte, van desde la erosión del suelo y contaminación de las aguas superficiales hasta la colmatación de represas y deslizamientos de tierra (González Ulibarry, 2017).

Además, los incendios forestales son uno de los factores de riesgo más graves de nuestro patrimonio forestal y suponen, en ocasiones, una amenaza para los bienes materiales e incluso para las vidas humanas. Las cifras anuales del número de siniestros y superficies afectadas en España, con una media de 17.117 siniestros al año y 113.847,72 ha afectadas, refleja la gravedad del problema, debido entre otros factores al clima mediterráneo característico de gran parte del territorio nacional y al uso tradicional del fuego por parte de la población. La magnitud del problema ocasiona el gasto de millones de euros por parte de las administraciones estatales, autonómicas y locales en la prevención y extinción de los incendios forestales (MAPAMA, 2017b).

En particular, la provincia de León, es una de las más problemáticas en cuanto a siniestralidad en incendios, junto con la provincia de Zamora, y la comunidad autónoma de Galicia. En el transcurso del 2016 se produjeron un total de 417 incendios forestales que arrasaron con un total de 7.203,440 hectáreas. (Junta de Castilla y León- SINFO, 2017).

En particular, la comarca forestal de Vega de Espinareda, a la cual pertenece el incendio sobre el que se basa el estudio, sufrió a lo largo del 2016 un total de 67 incendios, de los cuales 33 fueron forestales, y 34 no forestales, que calcinaron 2.878,540 hectáreas, siendo 2.664 hectáreas pertenecientes únicamente al incendio de Bárcena de la Abadía del día 12 de septiembre (Junta de Castilla y León, 2017).

Según la estadística provisional proporcionada por los servicios competentes de las administraciones autonómicas, durante 2016 tuvieron lugar 22 Grandes Incendios Forestales (GIF), categoría que incluye aquellos incendios que superan las 500 hectáreas forestales afectadas. En total los GIF registrados supusieron, según se recoge en la tabla 1, un 49,43% de la superficie total afectada y un 0,24% del total de siniestros ocurridos (MAPAMA, 2017a).

Tabla 1. Grandes Incendios Forestales en 2016, entre los que se encuentra el incendio del municipio de Fabero. (MAPAMA, 2017a)

Provincia	Municipio	Fecha (día/mes)	Superficie Forestal (ha)
Valencia	Chella/Bolbaite	15-jun.	1.535,73
Valencia	Carcaixent	16-jun.	2.210,67
Albacete	Liétor	30-jun.	871,00
Cáceres	Cáceres	23-jul.	1.394,46
Castellón	Artana	25-jul.	1.534,50
S.C. Tenerife	El Paso (La Palma)	3-ago.	4.793,63
A Coruña	Santiago de Compostela	10-ago.	825,18
A Coruña	Porto do Son (Caamaño)	10-ago.	730,00
A Coruña	Porto do Son (Xuño)	10-ago.	870,00
Pontevedra	Arbo	10-ago.	1.992,05
Cáceres	Jerte	18-ago.	1.053,70
Navarra	Tafalla/Pueyo	25-ago.	1.455,00
Sevilla	Castillo de la Guardas	28-ago.	1.224,92
Alicante	Poble Nou de Benitatxel	4-sep.	689,30
Ourense	Muiños	5-sep.	747,00
Ourense	Oímbra	6-sep.	1.363,25
Ourense	Entrimo	6-sep.	2.999,50
Ourense	Cualedro	12-sep.	1.588,44
<b>León</b>	<b>Fabero</b>	<b>12-sep.</b>	<b>2.620,88</b>
León	Encinedo	12-sep.	810,61
Salamanca	Olmedo de Camaces	24-sep.	656,43
Lleida	La Guingueta d'Aneu	3-nov.	567,74
<b>SUPERFICIE FORESTAL AFECTADA</b>			<b>32.533,99</b>

## 1.2 Efectos sobre la vegetación y el suelo

Los efectos de los incendios son muy variados debido a la influencia de múltiples factores de los que depende el incendio (Neary et al., 1999). Hay especies vegetales que presentan adaptaciones encaminadas a resistir e incluso a propagar el fuego, ya que han desarrollado mecanismos, que les aportan una ventaja cuando el fuego está presente, al disminuir la competencia con otras especies más sensibles e incapaces de recuperarse (Arianoutsou et al., 1993).

Existen dos grandes grupos de especies vegetales según su respuesta al fuego: las especies rebrotadoras y las especies germinadoras. Las primeras tienen capacidad para rebrotar vegetativamente tras el paso de un incendio, mientras que, en el caso de las segundas, se produce la muerte del individuo pero no de sus semillas, cuya germinación resulta

favorecida por el efecto del calor. También existen las llamadas especies facultativas, que utilizan como mecanismos de regeneración tanto el rebrote vegetativo como la germinación. Por último, hay especies que ni son rebrotadoras, ni sus semillas sobreviven tras el paso de un incendio, desapareciendo temporalmente, y colonizando los extremos de las zonas quemadas (Pausas, 2004; Lloret y Zedlwe, 2009).

El rebrote es uno de los mejores mecanismos de resistencia; las partes aéreas se queman, pero se mantiene viva la cepa, ocasionalmente constituida por un *lignotuber*, como en el caso de *Erica australis*, que asegura la supervivencia de la planta almacenando agua y nutrientes que posteriormente utilizarán en su regeneración (Molinas & Verdaguer, 1993). Por otro lado, entre las especies germinadoras adaptadas a los incendios, algunas retienen las semillas en piñas serótinas como *Pinus pinaster*, que pueden permanecer cerradas con el piñón maduro en su interior, hasta que el calor hace que se abran y se dispersen las semillas. En otros casos, las semillas sobreviven en el suelo, hasta que la temperatura alcanzada durante el incendio estimula su germinación (Pausas, 2004).

Después de un incendio no hay sucesión en el sentido clásico del término, es decir, que unas comunidades reemplazan a otras, sino que hay una progresiva reaparición de las especies que pertenecían ya a la comunidad, lo que se conoce como autosucesión (Trabaud, 1990). Se ha comprobado que algunas comunidades vegetales tienen una alta resiliencia a los incendios forestales, de modo que cuando un régimen de incendios permanece en un ecosistema por largo tiempo se produce un tipo de relación entre la resiliencia de las especies y el régimen de fuego (Loret & Zedler, 2009).

La degradación del suelo y el riesgo de erosión por la pérdida de la cubierta vegetal suelen ser los procesos más críticos después de un incendio (Vallejo et al., 2009). La magnitud de estos efectos depende en gran medida de las características del incendio. Una de las características del suelo muy relacionada con los incendios es la repelencia al agua o hidrofobicidad y por lo tanto muy útil a la hora de determinar el riesgo de erosión tras un incendio (Jordan et al., 2010). La hidrofobicidad se puede relacionar directamente con la intensidad y la duración del mismo (Rodríguez Alleres et al., 2009), aunque también está muy ligada a las condiciones previas del suelo por lo que la respuesta al fuego puede ser muy variada. Cuando los valores de hidrofobicidad son muy elevados favorecen el incremento de las tasas de escorrentía y por lo tanto la pérdida de suelo por erosión (DeBano, 2000). Esta situación es muy típica en los suelos ácidos del noroeste de España que presentan valores fuertes o muy fuertes de hidrofobicidad (Benito et al., 2009)

Independientemente de la mayor o menor resiliencia del ecosistema tras el fuego, la gestión de las zonas forestales quemadas pasa por la rápida planificación y ejecución de actuaciones efectivas encaminadas a prevenir la erosión hídrica, sobre todo a corto plazo (Alloza et al., 2013). En este sentido, es habitual la realización de estructuras vegetales manuales, como fajinas y albarradas en los meses posteriores al fuego con el fin de retener el suelo, reduciendo el volumen de sedimentos arrastrados y disminuyendo la energía de escorrentía (Gómez-Sánchez & Navarro, 2015). Las albarradas son estructuras realizadas

en los barrancos, canales de desagüe o cárcavas posicionadas perpendicularmente al flujo del agua con el objetivo de:

- Disminuir la velocidad de circulación del agua de escorrentía evitando el crecimiento de la cárcava (tanto lateral en talud y lecho, como hacia la parte alta o inicio de cárcava responsable de la erosión remontante).
- Actuar como barrera-filtro que retenga el material arrastrado.
- Facilitar la regeneración natural aguas arriba de la estructura, al propiciar la acumulación de sustrato favorable con los sólidos arrastrados hasta ella

Por su parte, las fajinas son estructuras realizadas en ladera, construidas siguiendo las curvas de nivel, y diseñadas para disminuir la longitud efectiva de la pendiente (Gómez-Sánchez & Navarro, 2015) con el objetivo de:

- Frenar el paso del agua disipando su energía cinética, y reduciendo con ello su velocidad a un nivel no erosivo.
- Actuar sobre el origen de las cárcavas, evitando su crecimiento.
- Proteger caminos frente a los arrastres de ladera.
- Favorecer acumulación de materiales, creando un microclima favorable para la colonización y desarrollo de la vegetación.

La aplicación de una capa de mulch es también una práctica ampliamente utilizada como tratamiento de emergencia tras un incendio. Hay una gran variedad de materiales susceptibles de ser usados como mulches en la rehabilitación post-incendio, aunque la aplicación de cubiertas de paja de cebada o trigo es el tratamiento más ampliamente usado (Robichaud et al., 2003; Fernández Filgueira et al., 2017). El mulch simula el papel de la capa de hojarasca, protegiendo el suelo del impacto de la lluvia y disminuyendo la velocidad de la escorrentía superficial. Así mismo puede beneficiar la germinación y crecimiento de la vegetación al aumentar la infiltración y el contenido de humedad del suelo (Bautista et al., 1996).

### **1.3 Efecto sobre la calidad de las aguas**

El efecto que produce el fuego sobre una cuenca puede ser analizado considerando su efecto sobre los procesos que intervienen dentro del ciclo hidrológico (DeBano et al., 1996). Este efecto puede ser clasificado según los cambios que produce el fuego dentro y fuera de los sitios afectados (Baker, 1990). Dentro del primer grupo, podemos mencionar una disminución de la interceptación (proceso mediante el cual la vegetación impide que la mayor parte de la precipitación llegue al suelo y además disminuye su energía cinética), aumento de la infiltración y lixiviación (cantidad de agua y nutrientes que se mueven en profundidad en el suelo en un período de tiempo dado), erosión (pérdidas de nutrientes por escorrentía superficial o acción del viento) y pérdidas por volatilización (pérdidas de nutrientes en forma gaseosa) (Baker, 1990). Dentro del segundo grupo, podemos mencionar la alteración de los caudales y de la calidad del agua.

Entre los parámetros de calidad de agua más afectados por un incendio figuran las concentraciones de sedimentos aportados y la variación en las concentraciones de nutrientes disueltos, fundamentalmente nitrógeno y fósforo (Tiedemann, 1978; DeBano et al., 1996). El incremento en la disponibilidad de nutrientes que se detecta tras el fuego se debe a la deposición de las cenizas, al calentamiento y a los cambios post-fuego que incrementan las tasas de mineralización (Raison, 1979). De los compuestos del fósforo, los que predominan son el ortofosfato y el fósforo orgánico, y generalmente se encuentran fuertemente retenidos en los coloides del suelo (DeBano et al., 1996).

Normalmente hay mucho más nitrógeno que fósforo, y las especies han evolucionado para vivir en estas condiciones. Pero, si esta proporción se altera, los organismos reducen su capacidad de crecimiento y mantenimiento de las funciones vitales. Las aportaciones excesivas de nitrógeno y de fósforo favorecen un proceso que se conoce como ‘eutrofización’ del agua. Consiste en una fertilización que origina un crecimiento desmedido de algunas especies de algas en superficie que terminan por impedir el paso de la luz, de manera que las algas del fondo no pueden realizar la fotosíntesis y el agua acaba perdiendo casi todo el oxígeno. Además, esta contaminación de nitrógeno y fósforo afecta también a las plantas acuáticas que viven sumergidas o flotando en el agua. (Yan et al., 2016).

## 2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es conocer la capacidad de recuperación de la vegetación en el primer año, tras un gran incendio forestal y determinar su efecto sobre la calidad de las aguas. En concreto se pretende:

- Estimar la severidad del incendio en las diferentes zonas quemadas.
- Determinar el grado de hidrofobicidad del suelo en dichas zonas.
- Comparar la recuperación de la vegetación en estas mismas zonas y determinar si existe relación con la severidad y la hidrofobicidad del suelo.
- Conocer el efecto del incendio en la calidad de las aguas de ríos y arroyos que transcurren por las zonas quemadas, a través del análisis de sólidos en suspensión totales y volátiles, fosfatos disueltos, pH, temperatura, oxígeno y conductividad.
- Determinar si existe una relación entre la recuperación de la vegetación y los parámetros físicos y químicos medidos en las aguas.
- Comprobar si el uso de albarradas disminuye el arrastre y la cantidad de sólidos en suspensión en las aguas, por comparación entre las variables estudiadas en los arroyos antes y después de las albarradas
- Comprobar, de manera visual, si las albarradas producen una mejoría en la calidad de las aguas, visualizando la cantidad de sólidos que quedan retenidos en ellas.

### 3. Material y métodos

#### 3.1. Descripción de la zona de estudio

La zona donde se ha realizado este estudio, se encuentra situada en la provincia de León. Dicha zona fue afectada por un incendio que comenzó en la localidad de Bárcena de la Abadía, y afectó a los municipios de Fabero, Páramo del Sil y Peranzanes (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Localización del municipio de Fabero, el más afectado por el incendio.

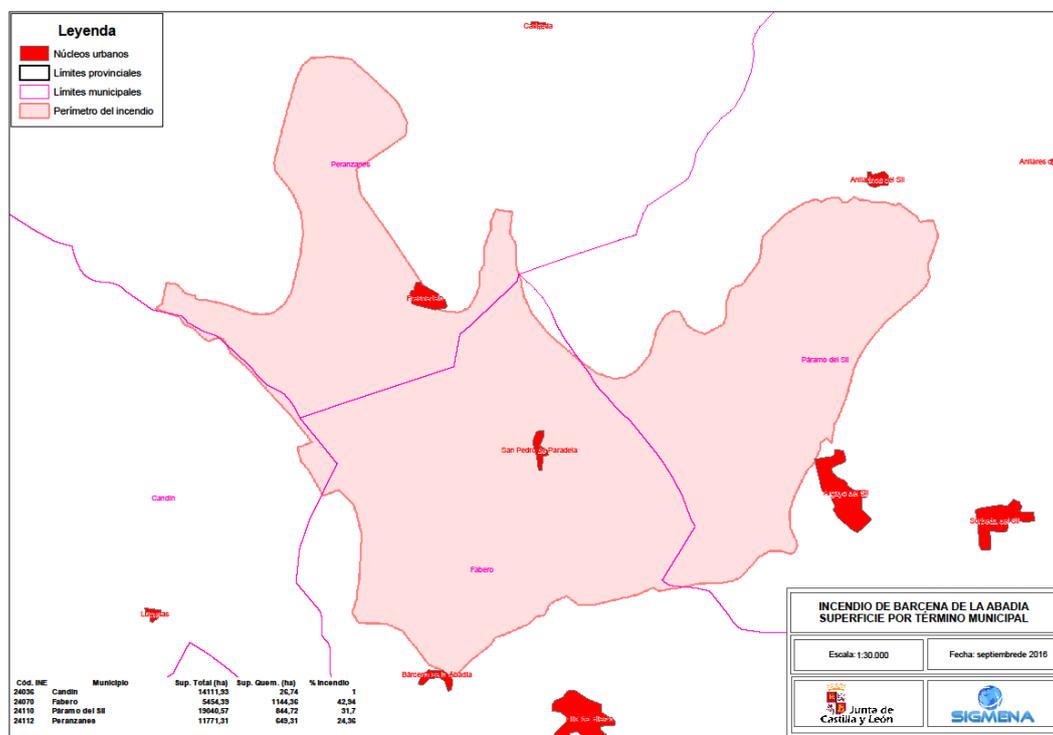


Figura 2. Municipios afectados por el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León)

### 3.1.1. Condiciones climáticas

La zona de estudio se encuentra en el piso bioclimático mesomediterráneo superior (Rivas Martínez, 2007; Anexo I), con una temperatura media anual de 12,3°C, una temperatura máxima absoluta de 28,6 °C y una mínima absoluta de 0°C (Figura 3). En cuanto a la pluviometría, la precipitación anual es de 765,6 mm anuales (Tabla 2). Para la elaboración de los datos, se han usado los obtenidos en AEMET (2017) e INFORIEGO (2017) para Ponferrada, ya que la estación más próxima (Vega de Espinareda), no ofrecía una serie de datos de 30 años. Se han corregido los datos a la altitud de la zona de estudio, siguiendo el criterio de restar 0.65°C cada 100 metros a las temperaturas y sumar 8 mm por cada 100 metros de altitud a las precipitaciones, excepto en los meses de julio y agosto en el clima mediterráneo. En este caso, la diferencia de altitud es de 142 metros (Ponferrada, 534m; Fabero 676m) por lo que la corrección es de -0.923°C para las temperaturas y +11.36 mm en las precipitaciones.

**Tabla 2: Datos climatológicos obtenidos de la estación climatológica de Ponferrada y adaptados al municipio de Fabero.**

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P (mm)</b>	78.4	65.4	57.4	61.4	65.4	43.4	23.0	25.0	60.4	92.4	93.4	100.4
<b>T media (°C)</b>	4.0	6.0	9.1	10.7	14.0	18.4	21.8	21.4	17.3	12.5	7.6	4.5
<b>T media máx. (°C)</b>	7.8	11.0	15.0	16.7	20.3	25.5	29.4	29.0	24.0	17.6	11.6	7.9
<b>T media mín. (°C)</b>	0.2	0.9	3.1	4.8	7.8	11.4	14.2	13.8	10.6	7.4	3.5	1.1
<b>T máx. (°C)</b>	6.8	10.0	13.1	15.7	19.0	24.1	28.6	18.2	24.1	17.2	11.3	7.4
<b>T mín. (°C)</b>	-0.0	1.5	2.5	4.4	7.2	10.7	13.9	13.3	10.6	7.0	3.2	1.0

Se observa que se trata de un clima mediterráneo con un periodo de sequía típico que abarca los meses de julio y agosto, y un periodo húmedo en el resto de meses del año sin existir período hiperhúmedo. No existen periodos de heladas seguras, pero en el mes de enero existen heladas probables (Figura 3).

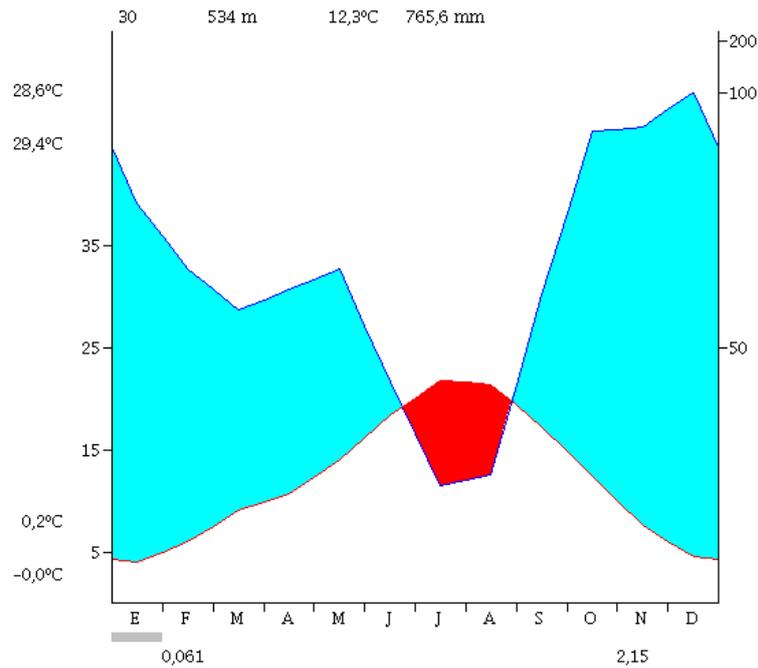


Figura 3. Climodiagrama de Walter-Lieth para el municipio de Fabero. Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2. Condiciones edafológicas

Los suelos más típicos de la comarca berciana pertenecen a los órdenes Inceptisol (subordenes Ochrept y Umbrept) y Entisol (subordenes Orthent y Psamment) (Soil Survey Staff, 1999) o como también conocidos como Cambisols, Leptosoles, Regosoles, Arenosoles y a veces Fluvisoles según la FAO (2006). En concreto la zona del incendio tiene una litología general de conglomerados, areniscas, pizarras, calizas y vulcanitas, además de carbón, y específica de pizarras, esquistos, areniscas, calizas ampelitas y lititas (IGME, 2017).

Es destacable también, la presencia de escombreras y vertidos producidos por la minería del carbón, que ocupa un 5.6 % de la superficie de los municipios mineros de la cuenca carbonífera de El Bierzo (Mejuto et. al., 2010). Estas escombreras se clasifican como Tecnosoles (FAO, 2006).

### 3.1.3 Vegetación

La zona se enmarca en el piso mesomediterráneo superior húmedo, pero con estío más o menos prolongado. Su dominio climático corresponde siempre a bosques sobre suelos pobres y ácidos. Dentro de la tipología biogeográfica de la Península Ibérica (Rivas Martínez, 2007), pertenece a la región Mediterránea, subregión Mediterránea Occidental, provincia Mediterránea Ibérica Occidental, subprovincia Carpetano-Leonesa, sector Berciano- Sanabriense, distrito Berciano. Las series edafohigrófilas vienen condicionadas por la presencia de agua o de elevada humedad edáfica. En el noroeste de la Península Ibérica, bajo la influencia del clima oceánico y sobre suelos silíceos, los más abundantes son los bosques dominados por el aliso (*Alnus glutinosa*), que son los que predominan en

la cuenca carbonífera de El Bierzo. Las series climatófilas aparecen en laderas y bases de zona de montaña. Los bosques más desarrollados corresponden a los melojares y encinares. Los bosques de roble melojo (*Quercus pyrenaica*), también denominados rebollares, son el tipo de vegetación potencial más extendida en la cuenca carbonífera y en todo El Bierzo. Son bosques caducifolios marcescentes de ámbito subatlántico, muy resistentes a la continentalidad, propios de suelos silíceos. La formación madura es un melojar (*Genista falcata-Quercus pyrenaica*), dominado por ejemplares de talla media de *Q. pyrenaica*, sobre substratos ácidos. Su presencia es mayoritaria en las laderas de umbría, mientras que, en los valles de orientación norte- sur, puede aparecer en ambos lados o alternando con franjas de encinar. Entre las especies más características de este bosque aparecen *Q. pyrenaica*, *Genista falcata*, *Festuca elegans*, *Cytisus scoparius*, *Genista florida*, *Erica arborea*, *Primula vulgaris*, y *Cytisus multiflorus*, entre otras. En situaciones de sotobosque más cerrado, aparecen numerosas herbáceas como *Helleborus foetidus*, *Lathyrus montanus*, *Poa nemoralis*, *Polygonatum odoratum*, *Silene nutans*, o *Lotus corniculatus*. Es en la zona ocupada potencialmente por estos bosques donde se desarrolla mejor el castaño (*Castanea sativa*), por lo que la presencia de éste es un buen indicador del lugar donde se ubicarían estos melojares. Los matorrales densos de sus primeras etapas de sustitución son diversos tipos de matorral como los piornales con cantueso (*Lavandula sampaiioanae-Cytisetum multiflori*) dominados por *Cytisus multiflorus* con *Lavandula pedunculata* y acompañados por *Cytisus striatus*, *Erica arborea*, *Adenocarpus complicatus*, *Pteridium aquilinum*, o los piornales con aulagas (*Genista hystricis- Cytisetum multiflori*) también dominados por *C. multiflorus* pero con abundancia de *Genista hystrix* y acompañados por *Genista florida* subsp. *polygaliphylla*, *C. scoparius*, y *Adenocarpus complicatus*. Los bosques de encinas o carrascas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) ocupan como vegetación potencial una superficie mucho menor que los melojares tanto en la cuenca carbonífera como en el resto de El Bierzo. Son bosques perennifolios esclerófilos típicamente mediterráneos, también muy resistentes a la continentalidad, como los melojares, pero más resistentes a la sequía. Son indiferentes edáficos por lo que se extienden por gran parte de la Península Ibérica y a muy diversas altitudes, por los pisos termo, meso y supramediterráneo. La serie mesosupramediterránea salmantina y orensano- sanabriense silicícola de la encina (*Genista hystricis-Querceto rotundifoliae* S.) se extiende por las laderas de solana de la media montaña, en el curso bajo de la cuenca del río Cúa. La etapa madura corresponde a un encinar con sotobosque rico en arbustos, pero pobre en especies herbáceas, siempre sobre cuarcitas y pizarras. Entre las especies características se encuentran *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Genista hystrix*, *Cytisus multiflorus*, *Daphne gnidium* y *Cistus ladanifer*. En el río Cúa se reconoce una subasociación termófila caracterizada por la presencia de *Arbutus unedo*, *Rubia peregrina* y *Ruscus aculeatus*. Sus etapas de sustitución comienzan con los carrascales abiertos y diversos piornales similares a los correspondientes a la serie de los melojares subhúmedos, como son los piornales con cantueso (*Lavandula sampaiioanae-Cytisetum multiflori*) y los piornales con aulagas (*Genista hystricis- Cytisetum multiflori*) (Zaballos et al. en García Álvarez & Díaz Puente, 2010).

### 3.1.4 Hidrología

El río Cúa se enclava en la cuenca hidrográfica Miño-Sil, clasificándose como río nortatlántico, galaico, que posee un caudal abundante y constante.

Estas aguas presentan una gran variabilidad en sus parámetros físicos y químicos marcado por los materiales que atraviesan y la complejidad de la zona de estudio (Vadillo et al., 2008). El régimen de aportación es pluvio-nival, presenta un estiaje bastante intenso con su mínimo en agosto. Las temperaturas de las aguas son templadas con unas medias anuales de unos 14°C y pequeñas oscilaciones estivales.

Desde el punto de vista de las comunidades biológicas, se trata de un río de montaña media, con aguas oligotróficas, rápidas, frescas y muy oxigenadas (Masachs Alavedra, 1948). Los recursos hídricos subterráneos son muy escasos por la coincidencia del territorio con materiales paleozoicos de naturaleza impermeable, limitándose a pequeños caudales que se mueven por la red de diaclasas y fracturas en los niveles cuarcíticos (Vadillo et al. 2006).

### 3.1.5. El gran incendio de 2016

En septiembre de 2016, un gran incendio arrasó extensas laderas de brezales en un territorio prácticamente forestal en su totalidad (97.12%, Figura 4). Los términos municipales afectados por el incendio fueron Fabero, Peranzanes y Páramo del Sil dejando un balance de 2.664 hectáreas calcinadas. El incendio se inició el 12 de septiembre de 2016 a las 15:01, dándose por controlado el 15 de septiembre a las 09:30, y por extinguido a las 14:30. La mayoría de la vegetación quemada estaba formada por matorral, principalmente *Erica australis* y monte bajo con un total de 1.773 hectáreas, seguida de arbolado con 815 ha principalmente de *Pinus sylvestris* (339,51 ha) y *Quercus pyrenaica* (346,54 ha), y por último de pastos con 28,8 hectáreas (Figura 4).

Entre los factores que han podido influir en la virulencia del incendio cabe destacar el abandono de los usos tradicionales en la zona, la limitación de accesos y la falta de cortafuegos, junto con el rechazo a la gestión forestal por parte de la población, acostumbrada a hacer un uso ancestral del fuego como herramienta para mantener los paisajes limpios dentro de una tradición ganadera (Comunicación personal).

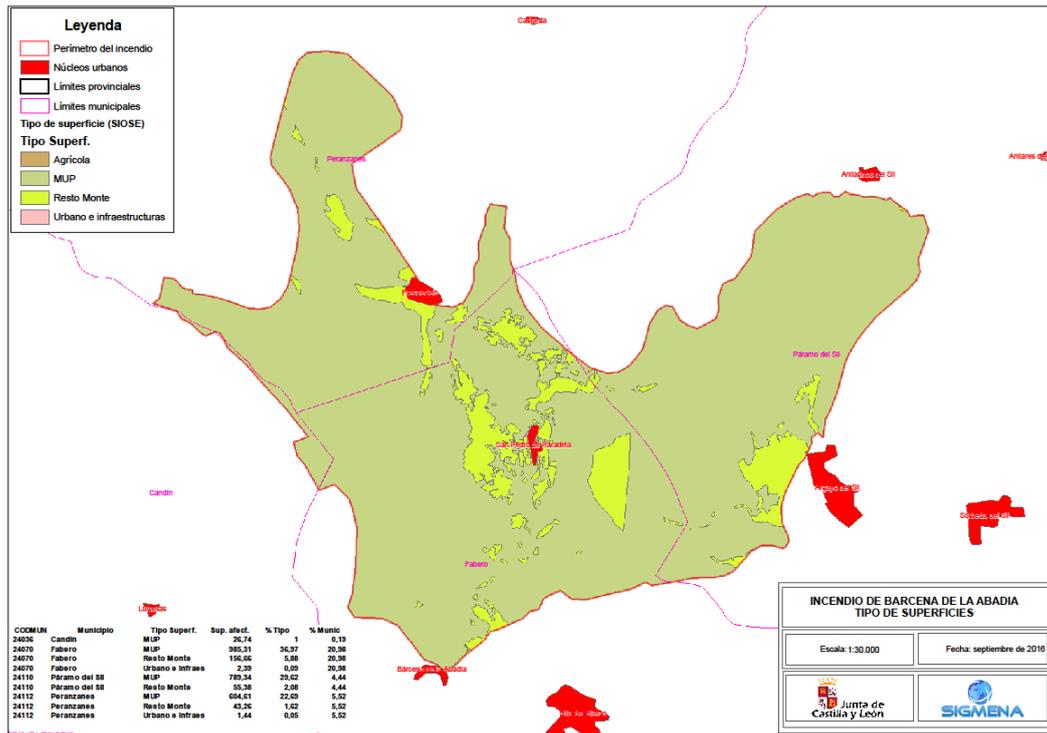


Figura 4. Tipo de superficies para cada municipio afectadas en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León)

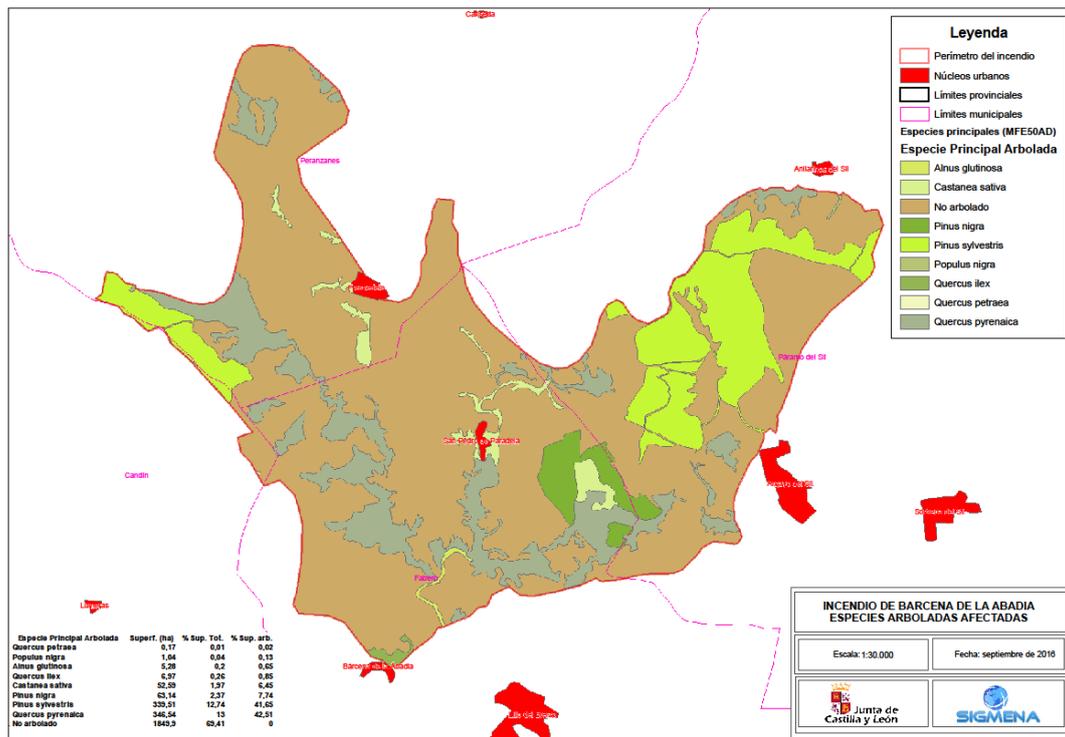


Figura 5. Especies afectadas en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León)

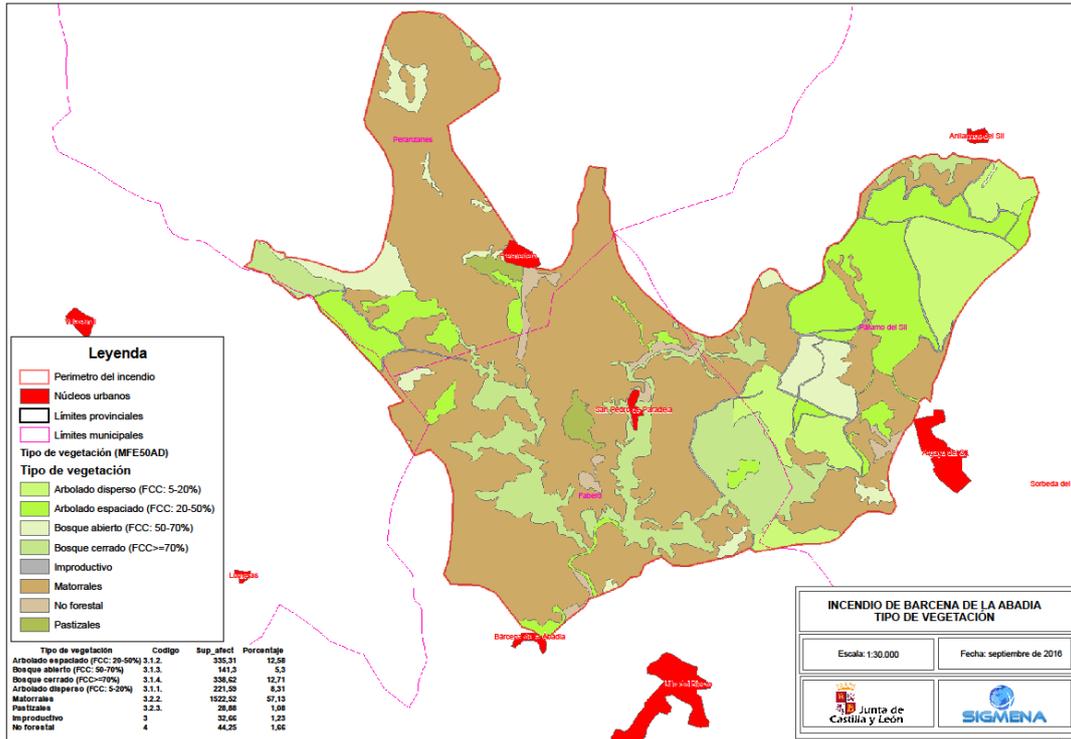


Figura 6. Tipo de vegetación y superficie afectada en el incendio. (Fuente: Junta de Castilla y León).

Durante el verano de 2016 se produjo una alta reincidencia de incendios en la zona, llegándose a contabilizar hasta veintitrés. A nivel provincial, el día que se desató el incendio, se tenían activos más de una decena de incendios, que hacía que los medios se quedasen escasos, agravándose con la situación meteorológica totalmente desfavorable, con temperaturas de 27° C en el momento de inicio, acompañados de rachas de viento del suroeste de 22 km/h y una humedad relativa del 31%, que fue disminuyendo a medida que aumentaban las otras dos variables. Además, en ese momento existía una alta inestabilidad atmosférica derivada de una borrasca, es decir, existía una gran diferencia de temperatura entre las capas altas y bajas, generando un gran gradiente térmico que provoca la subida del aire caliente y corrientes convectivas que provocan fuertes vientos y tormentas que no llegan al incendio, pero hacen que entre más aire y explote, formando los peligrosos e impredecibles incendios de convección (José Carlos García, técnico de la delegación de León de la Junta de Castilla y León. Comunicación personal).

Las incidencias registradas, durante el incendio, por protección civil fueron las siguientes:

- Evacuación de San Pedro de Paradela.
- Confinamiento de la población en Fresnedelo.
- Defensa activa de Argayo y Anllarinos.
- Corte de carretera desde Bárcena de la Abadía a Peranzanes.
- Daños en líneas telefónicas.
- Daños en la red de suministro de agua.

El incendio alcanzó el nivel 2 del INFOCAL, con la siguiente cronología (Tabla 2):

Tabla 2. Cronología de emergencias INFOCAL.

NIVEL	DÍA	HORA	MOTIVO
Nivel 1	12/09	15:24	Incendio en masa arbolada extensa que supera las 12 horas
Nivel 2	12/09	17:40	Emergencia nacional, riesgo para la población
Nivel 1	13/09	03:04	No hay riesgo para la población.
Nivel 0	13/09	13:50	

El incendio se desarrolló de la siguiente manera:

- Día 12/09/2016:

El incendio se detecta a las 15:01, comenzando de manera intencionada por tres mechas que provocan un incendio con mucha intensidad al pasar tan solo veinte minutos. Dos horas más tarde ya se contabilizan 150 hectáreas quemadas debido a los fuertes vientos del valle, que hacen que el incendio avance hacia el noroeste.

A las 20:00 ya son 1.500 hectáreas las arrasadas, con un perímetro de 15,5 km, la convección aumenta, y junto con el viento realizan una función de motor para el fuego. Se comienzan a desarrollar focos secundarios por delante de los frentes activos, haciendo que el incendio quede fuera de la capacidad de extinción y poniendo como prioridad la defensa de las poblaciones. Numerosos medios aéreos y terrestres intentan evitar el avance de las llamas y se une a ellos la UME. La extinción se complica ya que las densas nubes de humo impiden la actuación de los medios aéreos.

- Día 13/09/2017:

Ya son 2.300 hectáreas las que se han calcinado y un total de 28 km de perímetro, pero el viento comienza a descender hasta los 12 km/h, y la población que corre más riesgo en la de Anllarinos. Cae la convección y se cuenta con menos medios, pero se procede al ataque directo y la liquidación de las zonas quemadas.

A medio día una borrasca deja caer agua sobre el incendio lo que ayuda enormemente a su extinción, dejando a estas horas las 2.664 hectáreas finales ardiendo y un perímetro de 34,5 km.

Los medios comienzan a retirarse, y los que permanecen en el incendio seguirán trabajando hasta su completa extinción el día 15 de septiembre.

### 3.1.6. Descripción de los puntos de muestreo

A lo largo del incendio se establecieron 10 puntos de muestreo (Figura 7), siempre situados próximos a la carretera para facilitar el acceso, y donde se pudiese comprobar la eficacia de los mecanismos de restauración con las albarradas.

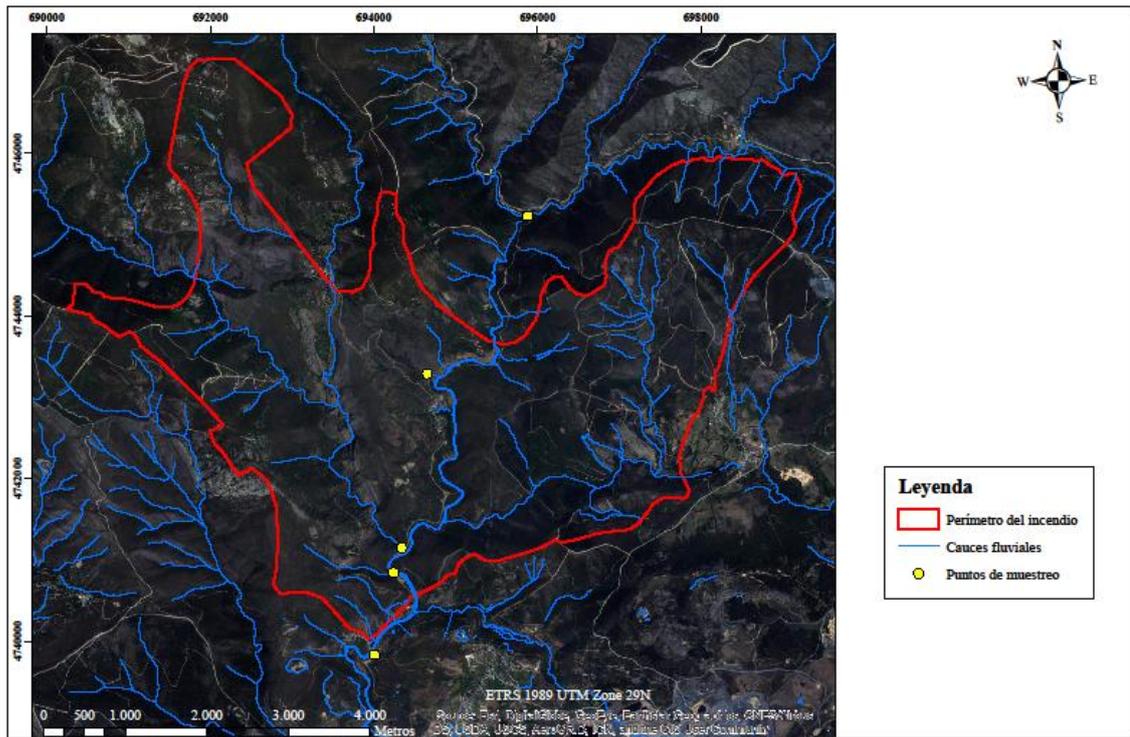


Figura 7 . Ubicación de los puntos de muestro dentro del perímetro del incendio. (Fuente: Elaboración propia)

#### ZONA CONTROL:

Se ha tomado una zona aguas arriba del incendio (Figura 8), en la que existe un arroyo y una zona de acceso al río, de características similares a los de las zonas quemadas, para poder evaluar la influencia del incendio en la calidad del agua. La vegetación está constituida por vegetación de ribera como *Betula* sp. y *Quercus* sp., acompañada principalmente de *Erica arborea*, *Erica cinerea*, y *Genista florida*.



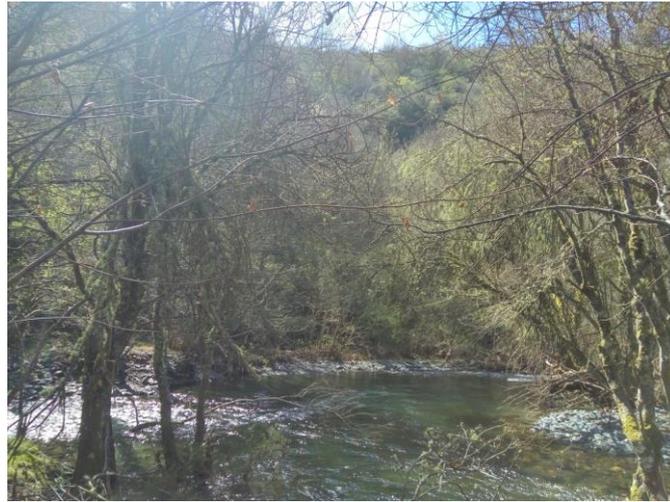


Figura 8. Imágenes de la zona control; se observa de arriba abajo y de izquierda a derecha la vegetación de las laderas próximas a las zonas control, la vegetación de la ribera de la zona control y la desembocadura del arroyo en el río.

- ZONA 1:

La zona número 1 (Figura 9), se encuentra sobre un sustrato de pizarra, donde tras el paso de las llamas quedaron calcinadas especies de *Quercus* sp, (roble melojo y encina) así como *Erica australis* o *Genista tridentata* y un diverso tapiz de herbáceas.



Figura 9. Imágenes de la zona 1 donde se puede observar las laderas quemadas con algún pie vivo y regeneración debajo de los pies muertos.

- ZONA 2:

La zona dos (Figura 10), cuenta con un suelo muy pedregoso, pero sin ser de pizarra, donde se observa que el incendio arrasó una masa de *Arbutus unedo* y *Quercus pyrenaica*. Es una zona marcada por grandes pendientes.



Figura 10. Imágenes de la zona 2, donde se observan las laderas quemadas y la fuerte pendiente.

- ZONA 3:

La vegetación de la tercera zona era más arbustiva (Figura 11), con *Erica australis* y *Genista tridentata* en su mayoría, con pies de *Quercus* sp., en especial *Quercus ilex*. Las zonas próximas a ríos, cuentan con una vegetación típica de ribera, menos dañada por el fuego.



Figura 11. Imágenes de la zona 3, donde se observa un menor daño por el fuego, en especial en la zona de ribera.

- ZONA AGUAS ABAJO:

Para identificar el efecto aguas abajo del incendio (Figura 12), se eligió una zona del río Cúa a su paso por Bárcena de la Abadía. Es una zona de recreo, donde el agua fluye encauzada en una especie playa fluvial, y donde la vegetación es totalmente herbácea con algún pie arbóreo suelto, y que se aprovecha para el pasto de ovino.



Figura 12. Imágenes de la zona aguas abajo del incendio, zona de recreo.

### 3.2. Diseño experimental y método de muestreo

Para abordar los objetivos planteados, se han realizado una serie de muestreos en zonas afectadas por el fuego y en una zona control. En las zonas quemadas se toman muestras de agua en: los arroyos, como aguas arriba (AA) y aguas abajo de las albarradas (AD) dispuestas sobre los mismos, y además en un punto cercano al arroyo situado en el río Cúa (R). En la zona control se hace un muestreo en el arroyo en un punto próximo a la

desembocadura (AC) y en el mismo río (RC). Además, se tomaron muestras en una zona situada aguas abajo del incendio, que para el tratamiento de datos se considerará como una réplica de río en zona quemada, ya que se encuentra justo después del incendio y presenta características similares con el agua de los tramos del río de zonas quemadas. Todos los puntos de muestreo han sido georreferenciados mediante la aplicación “GPS Essentials”. No en todas las zonas se ha podido realizar tomas de agua de los tres puntos, ya que en la zona 1 el río tenía un difícil acceso, y en la zona 2 la albarrada fue arrastrada por el agua al comienzo del estudio (figura 13).

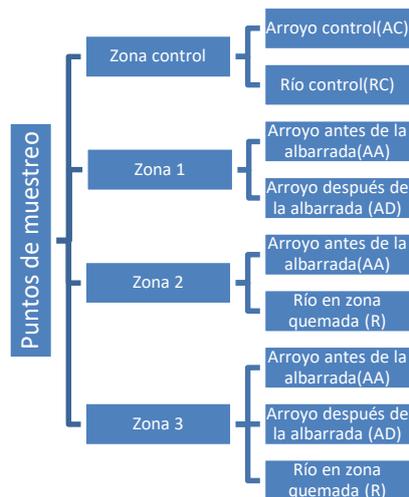


Figura 13. Esquema de la distribución de los puntos de muestreo.

La toma de datos se ha llevado a cabo en cinco salidas de campo (Tabla 3). La meteorología, ha condicionado en cierta medida dichas salidas, aunque ha sido muy variable como se muestra a continuación. Se ha tratado de salir a campo aquellos días después de producirse precipitaciones para poder recoger la mayor parte de los sólidos arrastrados.

Tabla 3. Calendario de muestreos en la zona de estudio.

MUESTREO	DÍA
1	13/03/2017
2	03/04/2017
3	08/05/2017
4	28/05/2017
5	05/06/2017

En la semana anterior al primer muestreo (Figura 14), se produjeron bastantes precipitaciones, en especial los días 4, 5, 6 y 7, que fueron disminuyendo progresivamente hasta el día del muestreo (METEOSIG, 2017). Para el segundo muestreo, las precipitaciones fueron abundantes, con un pico el 28 de marzo, y disminuyendo según se acercaba el día de muestreo. En el tercer muestreo, las precipitaciones fueron más concentradas en los últimos días previos al muestreo, y con mayor cantidad y

torrencialidad. La semana anterior al cuarto muestreo, las precipitaciones fueron más repartidas a lo largo de los días, pero de menor intensidad. En el último muestreo, las precipitaciones se concentraron unos 6 días antes del muestreo y también fueron abundantes.

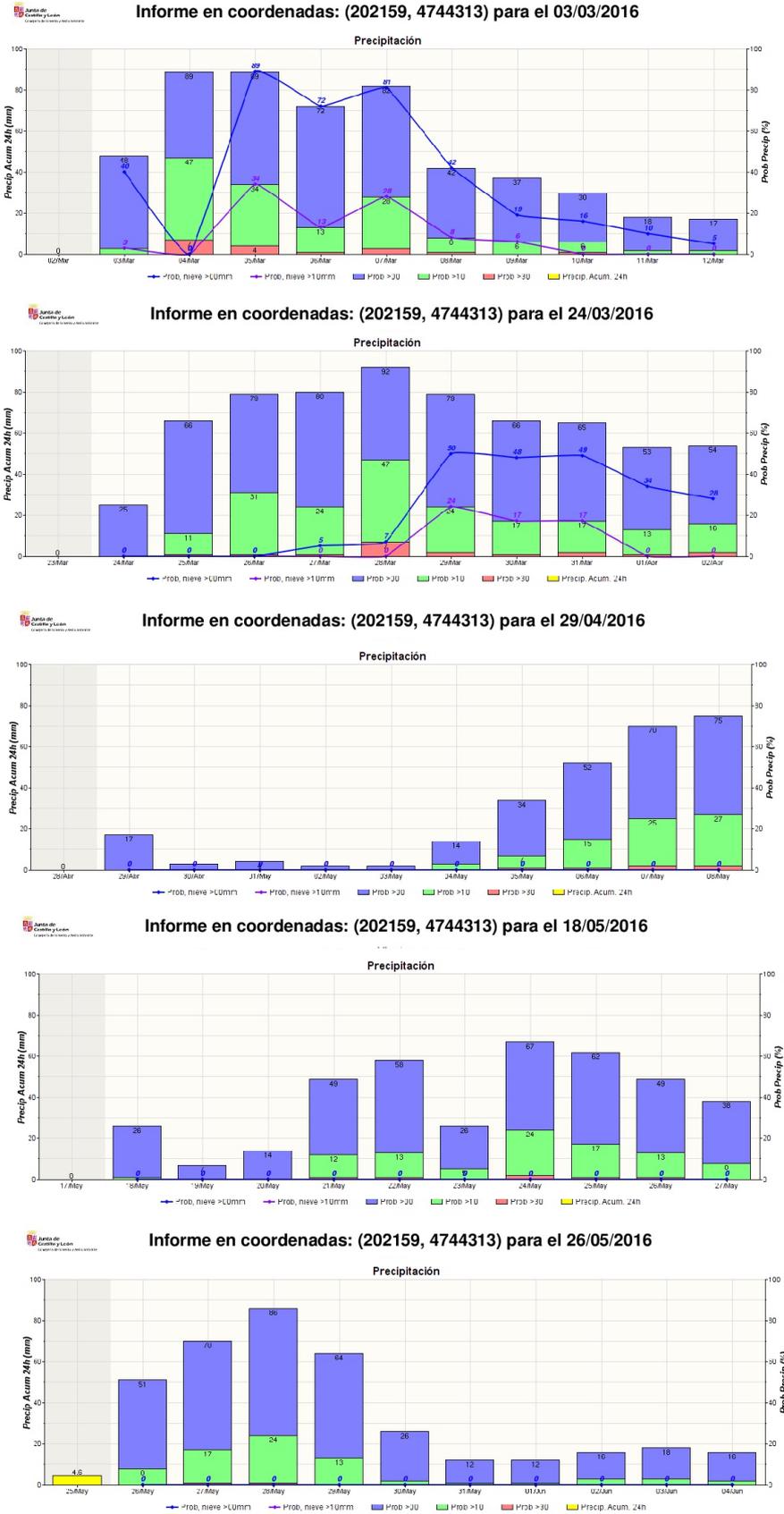


Figura 14. Precipitaciones en las semanas anteriores a los períodos de muestreo.

En cada punto y periodo de muestreo se realizó una estimación visual de la cobertura vegetal total tanto de la ribera como de las laderas próximas al río (VR total y VL total, respectivamente), del porcentaje de cobertura de restos muertos en pie en ribera y ladera (RMP y LMP, respectivamente) y del porcentaje de cobertura de restos muertos caídos en ribera y ladera (RRC y LRC, respectivamente).

Para determinar la calidad de las aguas basada en parámetros físico-químicos se midió, *in situ* mediante sensores específicos WTW, la concentración de oxígeno disuelto (en el último muestreo falta este dato por problemas con el electrodo correspondiente), la conductividad, el pH y la temperatura. Los datos se tomaron en tres puntos de la masa de agua. Además, se recogió una muestra compuesta de agua de un litro en cada punto de muestreo, mezclando muestras tomadas en tres puntos dentro de la misma área de muestreo (Figura 15). Estas muestras se conservan en 4°C hasta la realización de los análisis de laboratorio al día siguiente de su recogida.





Figura 15. Imágenes de la toma de datos de aguas.

Para conocer la recuperación de la comunidad vegetal en cada zona, se ha procedido a realizar un muestreo sistemático, mediante un transecto de 10 m x 1 m, paralelo a las curvas de nivel. En cada transecto, se muestreaban 5 metros cuadrados, situados alternos, en los que se estimaba la cobertura visual de todas las especies presentes y el porcentaje de suelo cubierto por musgo, hojarasca, piedras y suelo descubierto. Este muestreo se realizó en junio de 2017.

Simultáneamente a este muestreo de vegetación y en los mismo transectos, se estimó el grado de hidrofobicidad del suelo (Figura 16) mediante el test del tiempo de penetración de la gota de agua (*Water Drop Penetration Time*, WDPT) que consiste en colocar una gota de agua sobre la superficie del suelo, registrando el tiempo que necesita el agua para penetrar en el suelo, de modo que se obtiene una medida del tiempo que persiste la hidrofobicidad sobre la superficie porosa (Wessel, 1988). De esta manera el WDPT relaciona la hidrofobicidad con las propiedades hidrológicas del suelo, ya que el tiempo requerido por la infiltración de las gotas de lluvia afecta de manera importante a la generación de escorrentía superficial. En este caso, la hidrofobicidad se ha estimado depositando 5 gotas de agua destilada en cada metro cuadrado del transecto. Además, en cada metro cuadrado se recogió una muestra de suelo en la que se determinó el contenido gravimétrico de humedad por secado a 105°C durante 24 horas en una estufa (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986)

Para la hidrofobicidad se calculó el valor medio de todos los tiempos recogidos por muestra de suelo y se clasificó la persistencia de la repelencia al agua (Tabla 4) según Bisdom et al. (1993).

Tabla 4. Clasificación de la repelencia al agua de los suelos según Bisdom et al. (1993).

CLASE	TIEMPO DE PENETRACIÓN (s)
Hidrofilico (1)	<5
Ligeramente repelente al agua (2).	5-60
Fuertemente repelente al agua (3).	60-600
Severamente repelente al agua (4).	600-3600
Extremadamente repelente al agua (5).	>3600

Finalmente se estimó la severidad (Figura 16) del incendio a partir de la medida del diámetro mínimo remanente de los tallos (Moreno & Oechel, 1989; Pérez & Moreno, 1998) de *Erica australis*. En cada metro cuadrado y en una planta de *Erica australis* se midieron los 5 tallos que presentaban menor tamaño. Se seleccionó esta especie por ser la más representativa de la zona afectada por el fuego.



Figura 16. Imágenes de la toma de datos para la estimación de la hidrofobicidad y severidad.

### 3.3. Análisis de laboratorio

En las muestras de agua recogidas en campo se determinaron los sólidos en suspensión totales y volátiles, así como el fósforo en forma de ortofosfato (Figuras 17, 18, 19 y 20).

El término “sólidos en suspensión” hace referencia al conjunto heterogéneo de sólidos que pueden llevar las aguas, y que en este caso proceden de arrastres y procesos erosivos derivados de un incendio forestal. El contenido en sólidos en suspensión totales y volátiles se determinó mediante el método propuesto en A.P.H.A (1989) y Vollenweider (1969).

El fósforo en forma de ortofosfato ( $P-PO_4^{3-}$ ) se determinó mediante el método colorimétrico del ácido ascórbico (A.P.H.A. 1989). Se midió la concentración en un espectrofotómetro a 885 nm.

Un procedimiento detallado de los análisis se incluye en el Anexo III.



Figura 17: Imágenes del espectrofotómetro, utilizado para el análisis de fosfatos en el agua en el laboratorio.

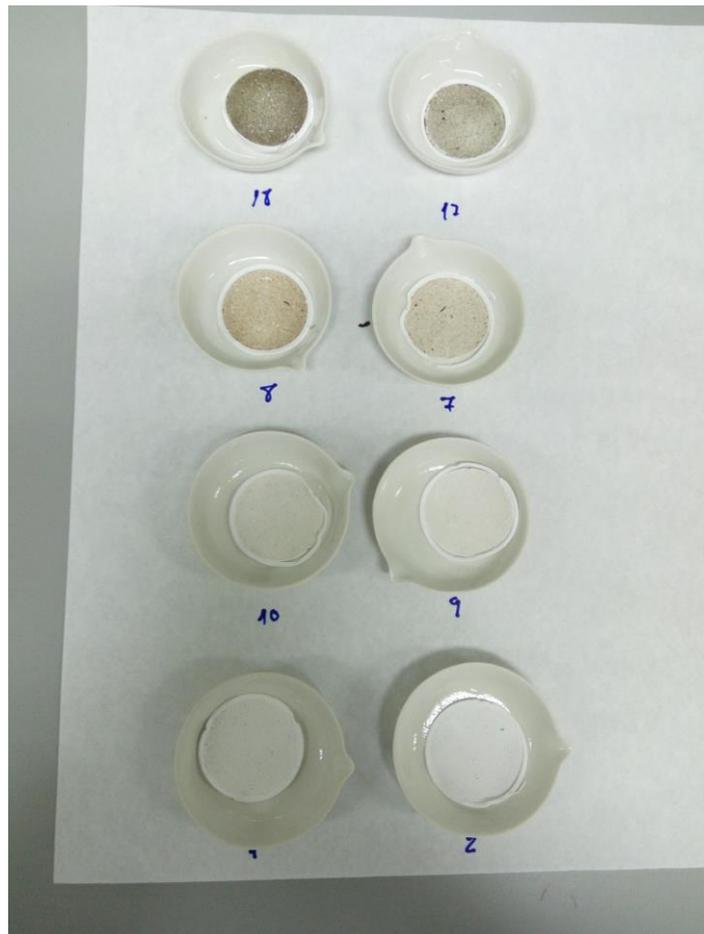


Figura 18: Imagen de los filtros utilizados para conocer los sólidos totales en suspensión y volátiles una vez usados.



Figura 19: Imagen de los compuestos químicos utilizados para el trabajo del laboratorio.



Figura 20: Imagen de los filtros tras filtrar el agua en el muestro 3.

### 3.4. Análisis de datos

Para comparar la recuperación de la vegetación en las diferentes zonas en el muestreo de junio de 2017, se utilizó un ANOVA de una vía para la cobertura total de leñosas, herbáceas, hojarasca y piedras, así como la para la riqueza de especies leñosas y herbáceas. También se compararon mediante ANOVA de una vía los datos hidrofobicidad y severidad. El porcentaje de suelo descubierto se comparó mediante un test no paramétrico (Kruskal Wallis), por no cumplir los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Por último, se realizó un análisis de correlación entre todas estas variables mediante el índice de correlación de Spearman. No se utilizó el coeficiente de Pearson al incluir en el análisis el suelo descubierto.

Se compararon mediante análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con medidas repetidas, los resultados de oxígeno disuelto, sólidos en suspensión totales y volátiles, pH, conductividad, fosfatos y T<sup>a</sup> del agua, considerando como medida repetida los 5 periodos de tiempo de muestreo y como factor de variación la localización antes o después de la albarrada en los arroyos y el río. Cuando el ANOVA detectaba diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), se hacían las comparaciones entre pares mediante el test de Tukey. En estos análisis no se incluyen los datos de la zona control

porque no existen réplicas. Además, se realizó un análisis de correlación entre las variables del agua y la estimación visual de cobertura vegetal, porcentaje de restos muertos en pie y de restos caídos, tanto para la vegetación de ribera como para la vegetación de laderas próximas.

Todos estos análisis se realizaron con el programa Statistica 6.0. Los resultados se incluyen en el Anexo II.

Se utilizaron técnicas multivariantes para comparar en conjunto los resultados obtenidos. La recuperación de la comunidad vegetal en las diferentes zonas se compara mediante un Análisis de Correspondencias (AC). Se realizó un Análisis en Componentes Principales (ACP) con las variables medidas en medio acuático pero no se incluye en Resultados al no observarse una tendencia temporal clara, ni diferencias entre los puntos de ríos y arroyos de la zona quemada y los de la zona control. Para ambos análisis se utilizó el Programa PAST 3.

## 4. Resultados

### 4.1. Estimación de la severidad del incendio

El diámetro remanente de *Erica australis* en las zonas quemadas (Figura 21) indica que la severidad ha sido mayor en la zona 1, con un diámetro de 1,09 cm que suele indicar un grado de consumo bastante importante de la vegetación. Las zonas 2 y 3 presentarían una severidad menor con un diámetro remanente de 0,87 cm y de 0,64 cm respectivamente. A la vista de los resultados se puede decir que todas las zonas de estudio han sido afectadas por un incendio de alta severidad. Solo se observan diferencias significativas en el diámetro remanente entre la zona 1 y 3 (Anexo II).

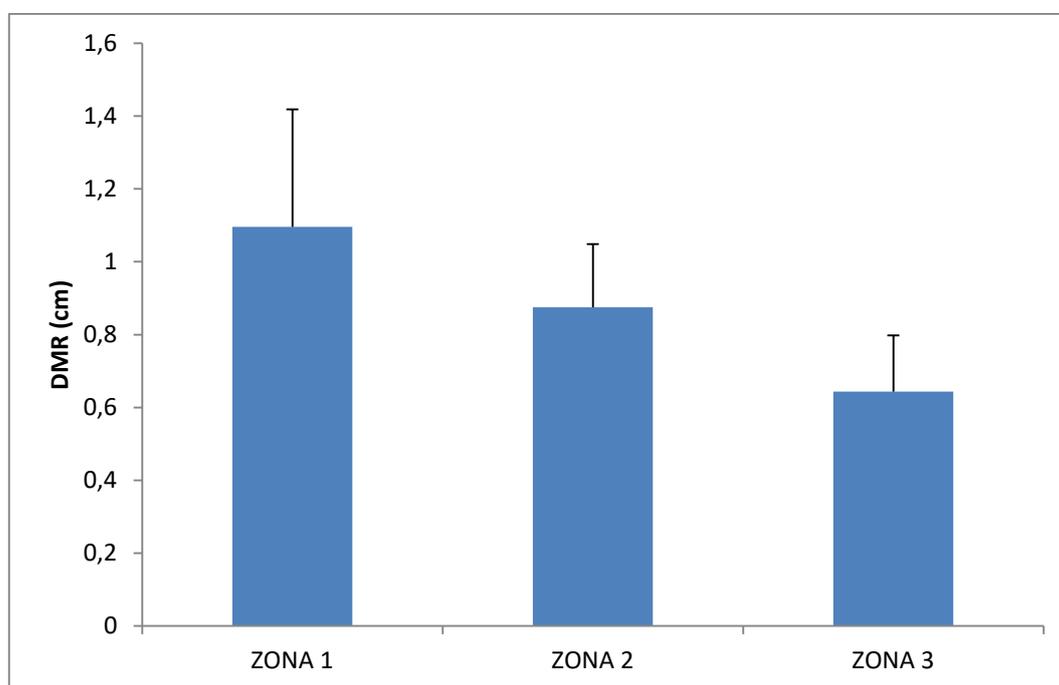


Figura 21. Valores medios y desviación estándar del diámetro remanente de *Erica australis* tras el paso del incendio en las diferentes zonas de estudio (Zona 1, 2 y 3).

### 4.2. Grado de hidrofobicidad del suelo

En la zona control el 100% de las muestras pertenecen a la categoría 3, es decir, fuertemente repelentes al agua. Sin embargo, las zonas quemadas muestran menos repelencia al agua. Hay que destacar que en la zona 3, el 100% de sus muestras son hidrofílicas (Figura 22), mientras que las zonas 1 y 2 presentan el 60 y el 80% de sus muestras hidrofílicas siendo el resto ligeramente hidrofóbicas. Cuando se compara mediante análisis de varianza el tiempo medio de penetración de las gotas, se encuentran diferencias significativas entre la zona control y todas las zonas, pero no entre las diferentes zonas quemadas (Anexo II)

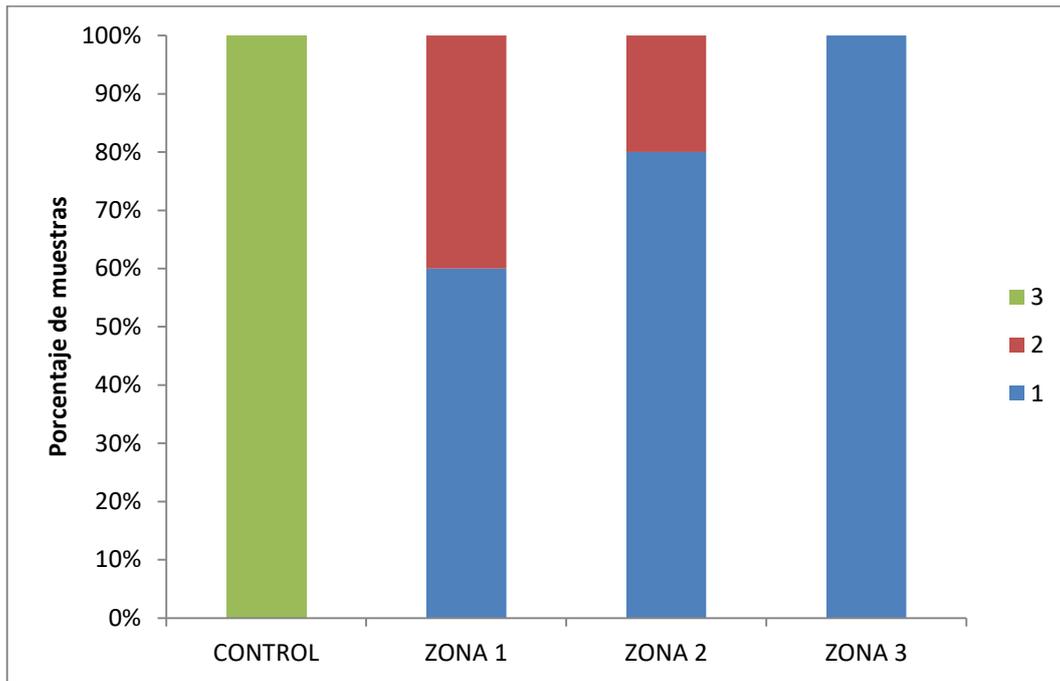


Figura 22. Distribución de las clases de repelencia al agua en las muestras de suelo de la zona control y afectadas por el incendio (Zonas 1, 2 y 3) (1= hidrofílico, 2= ligeramente repelente al agua, 3= fuertemente repelente al agua).

Sin embargo, al realizar la misma prueba a dos centímetros de profundidad, solo para la zona 3, (Figuras 23 y 24), se observa que, aunque en superficie esta zona es en su totalidad hidrofílica, pasa a ser en un 80% fuertemente repelente al agua en cuanto se profundiza a 2 cm.

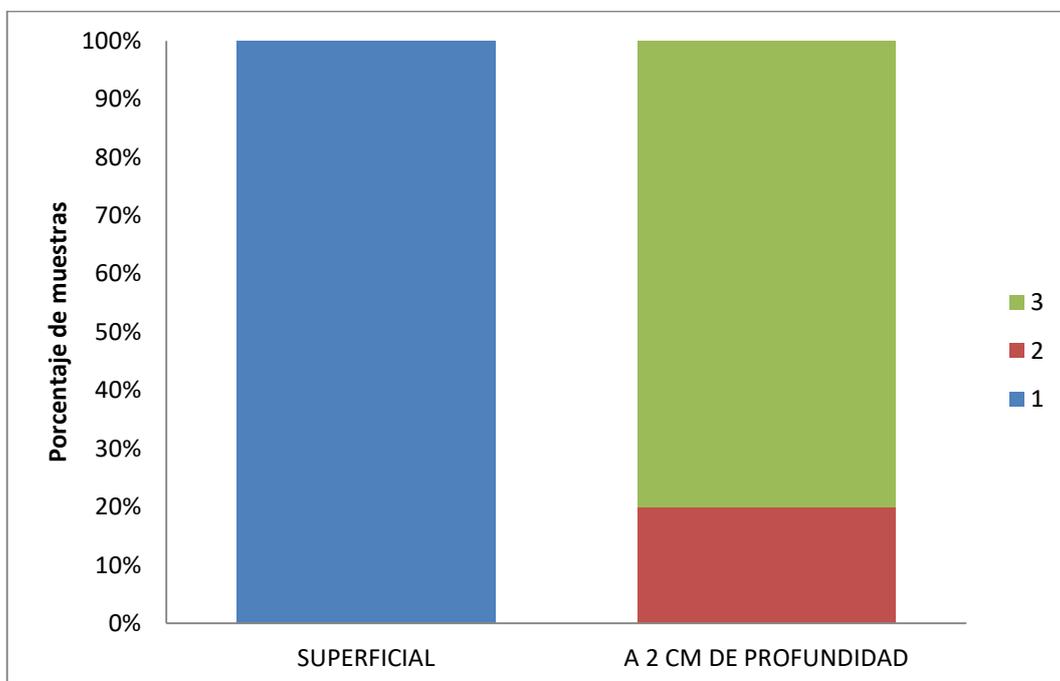


Figura 23: Distribución de las clases de repelencia al agua en las muestras de suelo de la zona 3, en superficie y a 2 cm de profundidad (1=hidrofílico, 2=ligeramente repelente al agua, 3= fuertemente repelente al agua).



Figura 24. Gotas de agua sobre un suelo repelente, a 2 cm de profundidad, en la zona 3

La humedad del suelo es baja en todos los puntos (Tabla 5), incluido el control, que no llega al 30% de humedad, y siendo los valores aún más bajos, entre el 1 y 2%, en las zonas quemadas.

Tabla 5. Contenido de humedad en el suelo (%).

MUESTRA	% H
Control	26,92
1	2,09
2	2,18
3	1,96

### 4.3. Muestreo de vegetación

Las especies leñosas presentan mayor representación en la zona control, siendo la zona 1 la que menos porcentaje presenta (Figura 25). Se encuentran diferencias significativas (Anexo II) entre todas las zonas, exceptuando la zona 2 con la zona 3.

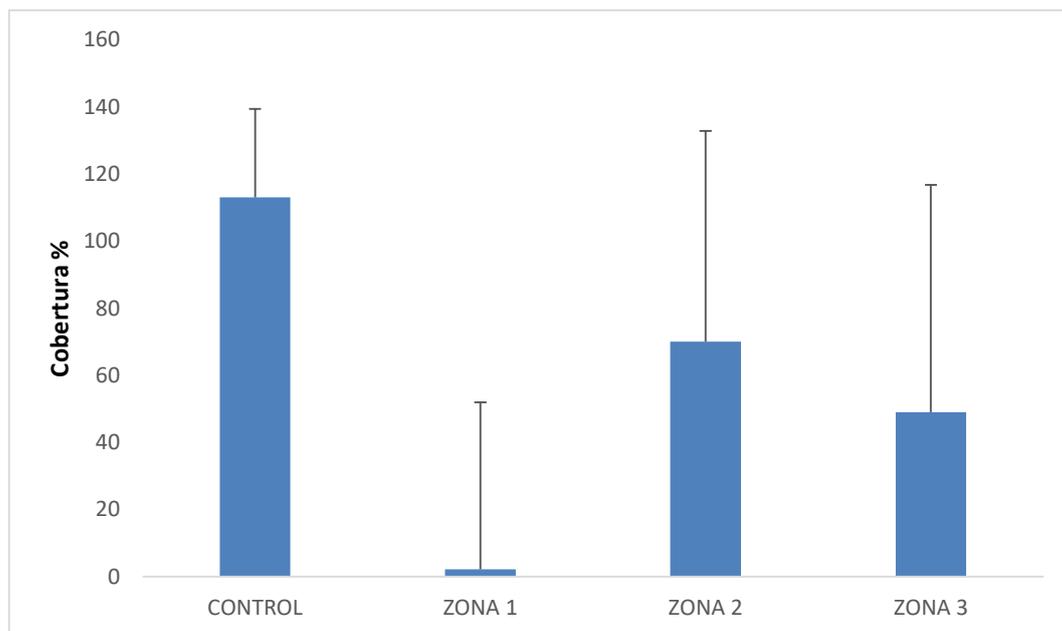


Figura 25: Porcentaje de cobertura de especies leñosas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).

En cuanto a la cobertura por especies (Tabla 6), predomina el género *Erica* en la zona control, especialmente *Erica arborea* y *Erica australis*; *Genista tridentata* en la zona 1; *Quercus pyrenaica* y *Arbutus unedo* en la zona 2, y por último *Genista tridentata*, *Erica australis*, y *Halimium alyssoides* en la zona 3.

Tabla 6: Cobertura (%) de especies leñosas presentes en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017).

Leñosas	CONTROL	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
<i>Arbutus unedo</i>	0	0	22	0
<i>Cistus psilosepalus</i>	0	0	0	1,6
<i>Genista tridentata</i>	0	1	0	20
<i>Cytisus scoparius</i>	0	0,2	0	0
<i>Erica arborea</i>	46	0	0	0
<i>Erica australis</i>	43	1	0	18
<i>Erica cinerea</i>	3	0	0	0
<i>Genista florida</i>	17	0	0	0
<i>Halimium alyssoides</i>	0	0	0	8,8
<i>Lonicera periclymenum</i>	2	0	0	0
<i>Quercus pyrenaica</i>	1	0	48	0
<i>Quercus ilex</i>	0	0	0	0,6
<i>Rosa sp.</i>	1	0	0	0

La zona control y la zona 3 presentan mayor riqueza de leñosas (Figura 26), siendo la zona 1 la más pobre en especies leñosas. Se aprecian diferencias estadísticamente significativas (Anexo II) entre las zonas control y zona 3 respecto a las zonas 1 y 2.

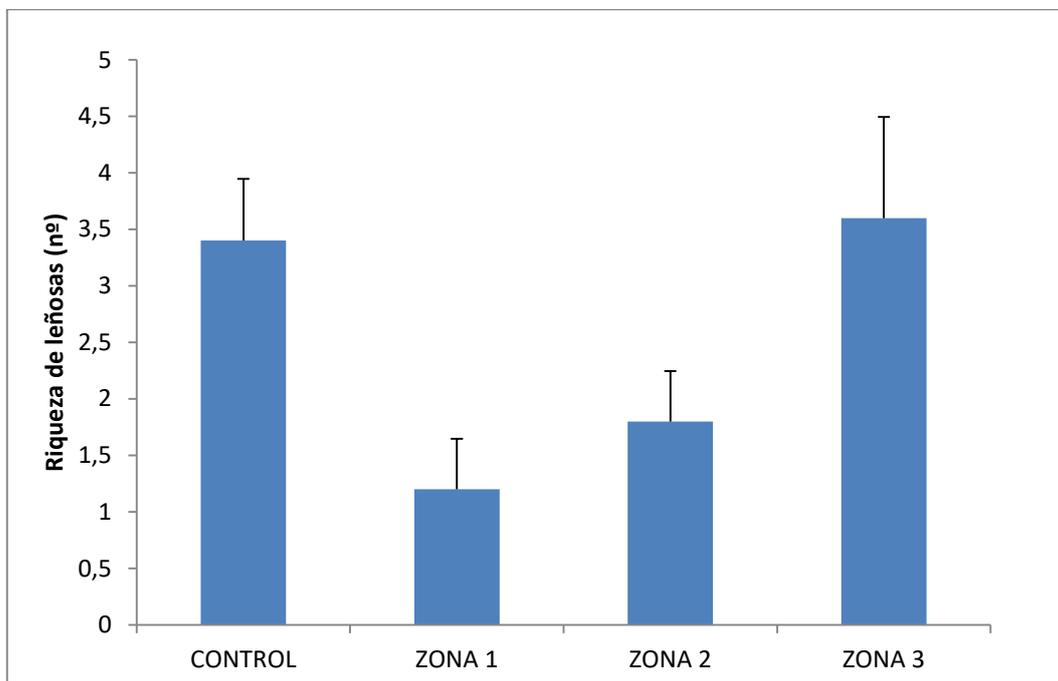


Figura 26: Riqueza de leñosas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).

En cuanto a la cobertura de herbáceas (Figura 27), es muy escasa en todas las zonas y no se encuentran diferencias significativas entre ellas (Anexo II). En la zona control destacan *Clinopodium vulgare*, *Arenaria montana* y *Hedera hélix*, en la zona 1 aparecen principalmente *Conopodium majus* y *Teesdalia nudicaulis*. En la zona 3, destaca *Avenula marginata* subsp. *sulcata*. Por último, el porcentaje más bajo está la zona 2, donde se encuentran *Clinopodium vulgare*, *Pteridium aquilinum* o *Lathyrus niger* (Tabla 7).

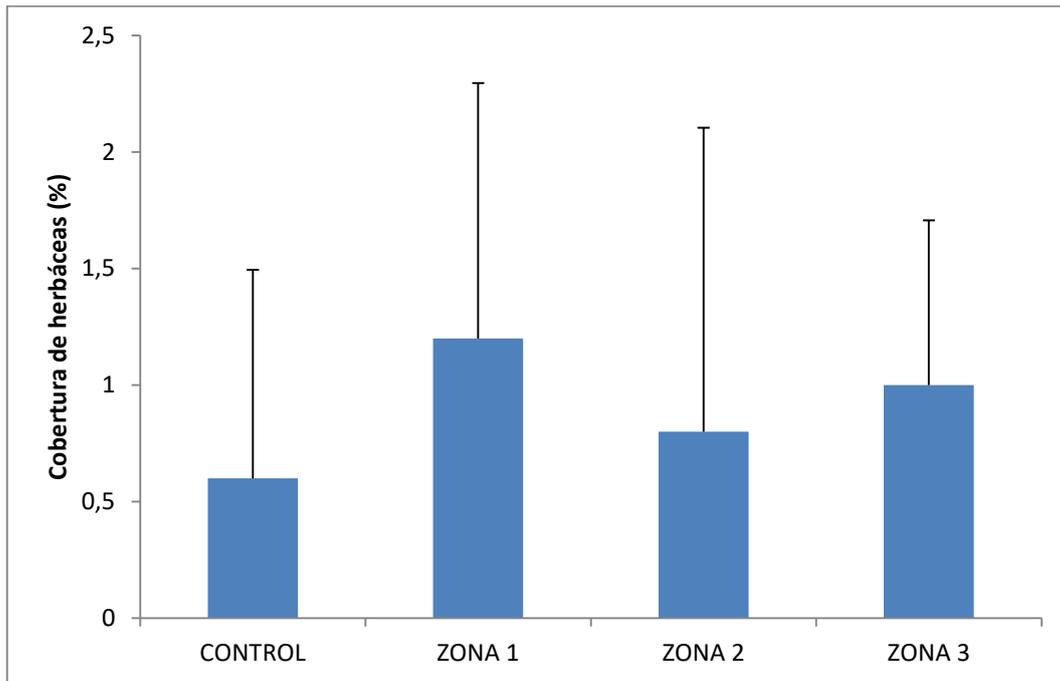


Figura 27: Porcentaje de cobertura de especies herbáceas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).

Tabla 7. Cobertura (%) de especies herbáceas presentes en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017).

Herbáceas	CONTROL	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
<i>Aira sp.</i>	0	0	0	0,2
<i>Arenaria montana</i>	1	0	0,2	0,4
<i>Avenula marginata subsp. sulcata</i>	0	0	0	1,8
<i>Clinopodium vulgare</i>	3	0	0,6	0
<i>Conopodium majus</i>	0	2,4	0	0
<i>Hedera helix</i>	1	0	0	0
<i>Lathyrus niger</i>	0	0	0,4	0
<i>Lolium perenne</i>	0	0,2	0	0
<i>Lotus corniculatus</i>	0	0	0	0,6
<i>Pteridium aquilinum</i>	0	0	0,6	0
<i>Teesdalia nudicaulis</i>	0	2	0	0

La riqueza de especies herbáceas (Figura 28) es muy similar en todas las zonas, y no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre ellas (Anexo II).

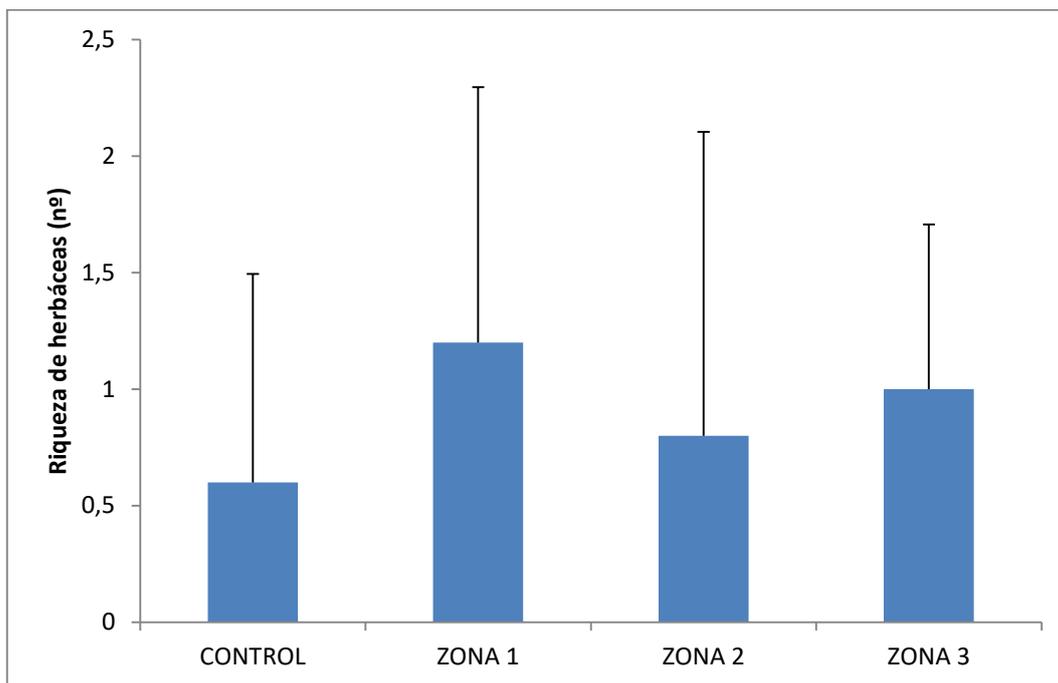


Figura 28: Riqueza de herbáceas (valores medios y desviación estándar) en las zonas de estudio (C= Control y zonas quemadas 1, 2 y 3).

Por último, en cuanto al suelo descubierto (Tabla 8) se aprecia que en la zona control es prácticamente inexistente, encontrándose cubierto de musgo y hojarasca. En relación a las zonas quemadas, se observa que es mayor el porcentaje de suelo descubierto en la zona 1, con una pequeña cobertura de musgo. La zona 2, presenta igual proporción de piedras y suelo desnudo, mientras que la zona 3, presenta tanto suelo descubierto como piedras, pero es más predominante el primero. Mediante al análisis no paramétrico (Anexo II) (dado que en la zona control los valores de suelo descubierto son todos cero y no hay varianza), se observa que solo existen diferencias significativas entre la zona control y la zona 1, no es posible detectar diferencias entre los distintos tramos quemados.

Tabla 8: Porcentaje de cobertura de musgo, hojarasca, suelo descubierto y piedras en las zonas de estudio (valores medios de los 5 muestreos realizados en junio de 2017).

	CONTROL	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Musgo	86	1,6	0	0
Hojasca	10	0	0	0
Suelo	0	97,4	46	70
Piedras	0	0	42	16

#### 4.4. Análisis conjunto de la recuperación de la vegetación y relación con la severidad estimada del incendio y la hidrofobicidad del suelo.

Se puede observar en el análisis de correspondencias (Figura 29) una separación clara de la zona control, asociada a especies como *Arenaria montana*, *Erica australis*, *Clinopodium vulgare*, *Lonicera periclymenum*, *Genista florida* o *Erica arborea*. También la zona 2 se diferencia claramente del resto, asociándose a especies como *Arbutus unedo* y *Quercus pyrenaica*. La zona 1 y 3, son muy parecidas, compartiendo las especies *Halimium alyssoides*, *Conopodium majus*, *Genista tridentata* y *Avenula marginata* subsp. *sulcata*.

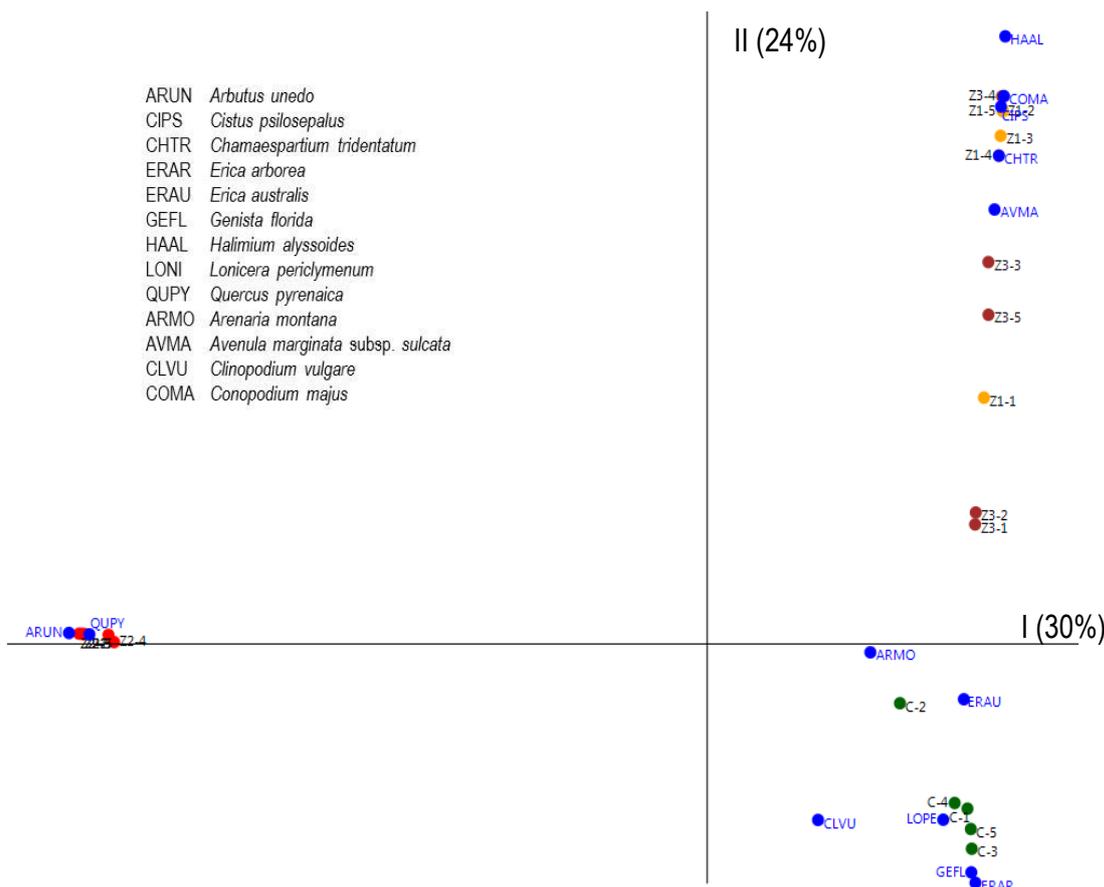


Figura 29: Representación de las zonas y las especies en el plano definido por los dos primeros ejes del Análisis de Correspondencias. Para este análisis solo se incluyen las especies que se encontraron en más de un muestreo. Clave de zonas: C = Zona control no quemada (verde) y Z1 (naranja), Z2 (rojo) y Z3 (marrón) zonas 1, 2 y 3 quemadas. Clave de especies (azul) en la figura.

En el análisis de correlación (Tabla 9) se observa que la cobertura de herbáceas está relacionada de manera positiva con la riqueza de herbáceas. Se observa también que el mayor porcentaje de suelo descubierto corresponde a una menor cobertura y riqueza de leñosas y está asociado a zonas con mayor hidrofobicidad y severidad del incendio.

Tabla 9: Análisis de correlación de Spearman entre las variables de vegetación (CL=Cobertura de leñosas, CH= Cobertura de herbáceas, SD= Suelo descubierto, RL= Riqueza de leñosas y RH= Riqueza de herbáceas) y la severidad e hidrofobicidad. Cuando la correlación es estadísticamente significativa se indica en rojo.

	CL	CH	SD	RL	RH	Hidrofobicidad	Severidad
CL	1						
CH	-0,29	1					
SD	-0,83	-0,02	1				
RL	0,49	-0,01	-0,55	1			
RH	-0,35	0,95	0,27	0,01	1		
Hidrofobicidad	-0,28	-0,17	0,56	-0,64	-0,22	1	
Severidad	-0,29	0,06	0,54	-0,46	-0,03	0,40	1

#### 4.5. Evolución de la vegetación de ribera y de ladera durante el periodo de muestreo.

En los muestreos realizados simultáneamente a la toma de muestras de agua, se observa que, como sería de esperar, en la zona control (Figura 30), hay una alta cobertura vegetal total, tanto en ribera como en ladera, e inexistencia de restos muertos tanto en pie como caídos.

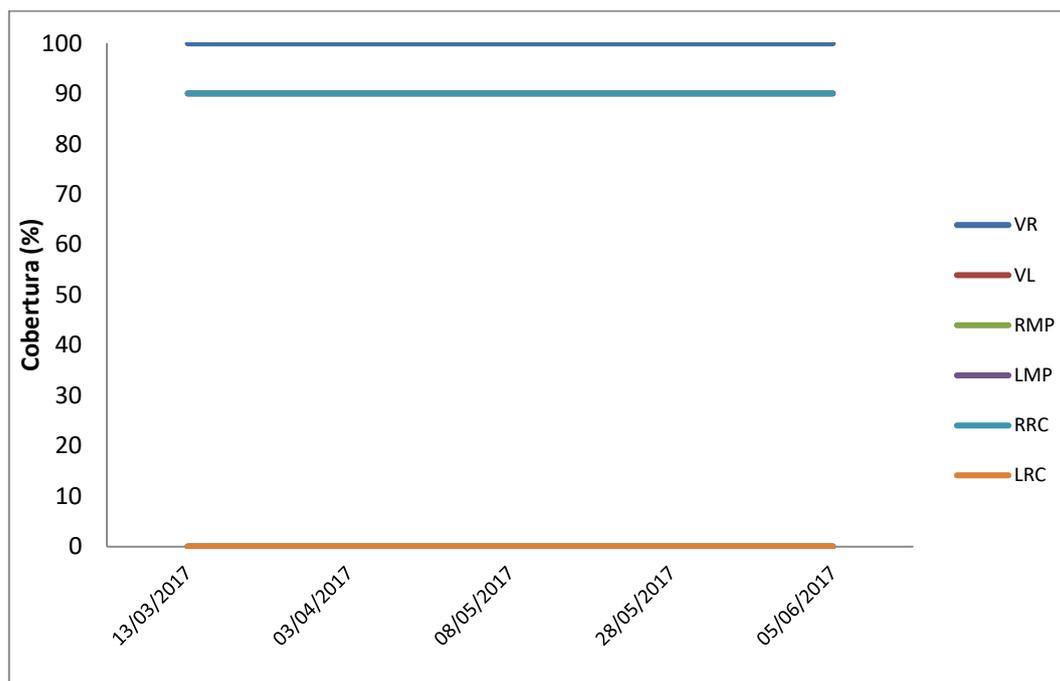


Figura 30: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona control.

En la zona 1 (Figura 31), se observa una alta cobertura de vegetación de ribera, sobre todo debido a la presencia de herbáceas en la época primaveral. También hay una gran cantidad de restos muertos en pie (Figura 32), que se mantienen durante todo el periodo de

muestreo, y que incluso en la gráfica aumentan debido a que se trata de una estimación visual.

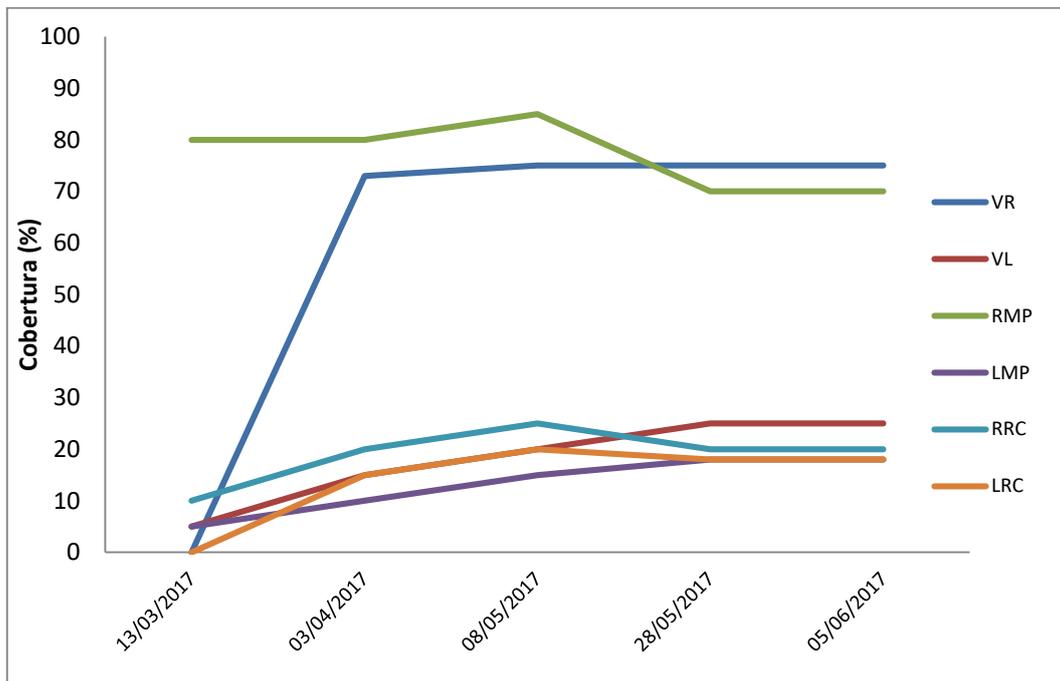


Figura 31: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 1.



**Figura 32. Imagen la zona 1. Destaca la abundancia de los restos muertos en pie.**

En la zona 2 (Figura 33) se observa un aumento de la cobertura total de la vegetación de ribera, pero una disminución en las laderas debido a la extracción de árboles muertos en pie. En cuanto a los restos muertos en pie y caídos, son mayores en las zonas de ladera, manteniéndose más o menos constantes en todos los muestreos.

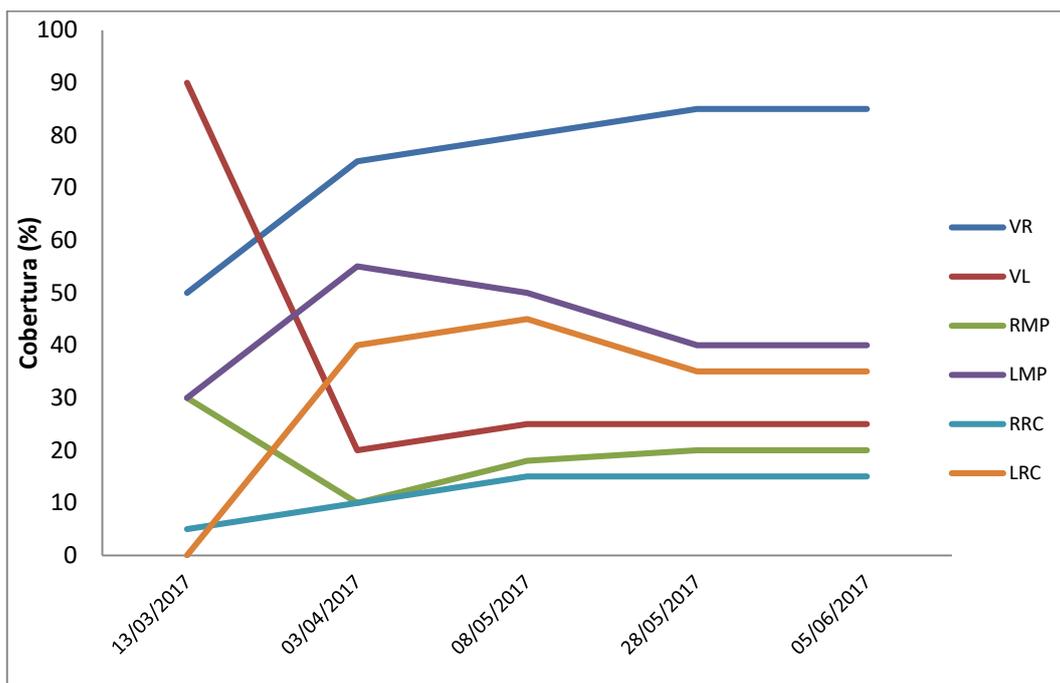


Figura 33: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 2.

La zona 3 (Figura 34) presenta mayor cobertura vegetal en la zona de ribera que en las laderas, observándose en ambos casos una tendencia temporal a aumentar. En las riberas hay un menor porcentaje de restos muertos, tanto caídos como en pie.

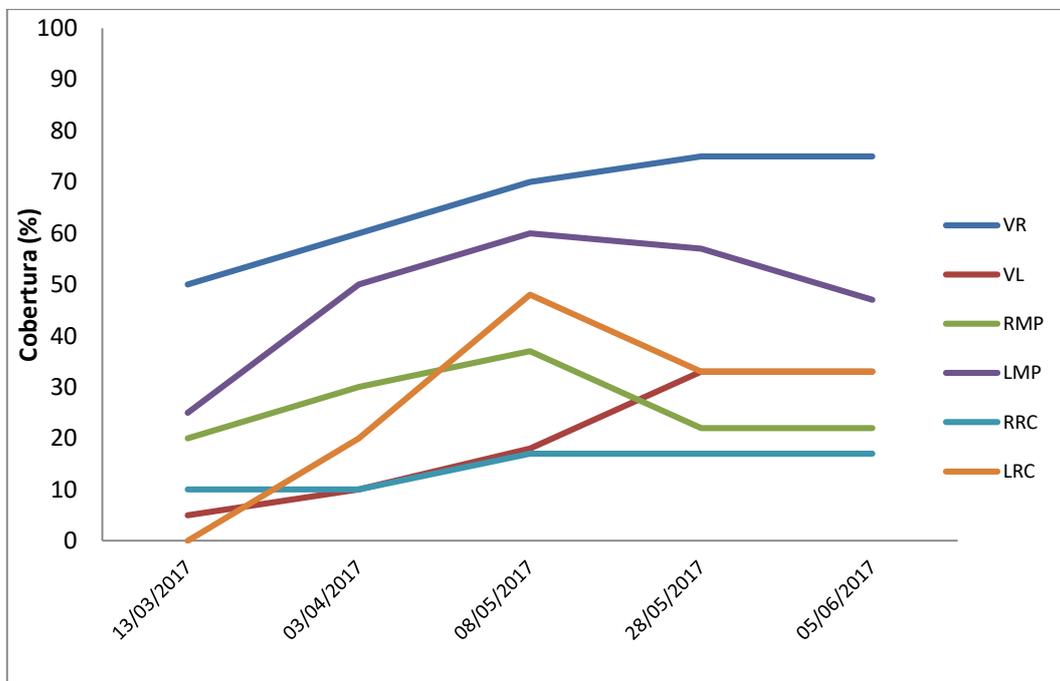


Figura 34: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona 3.

En la zona aguas abajo del incendio (Figura 35), existe una alta cobertura total tanto en la zona de ribera como en las laderas, debido a que se trata de una zona no quemada, por lo que no existen restos muertos en pie, y las existencias de restos muertos caídos, corresponden a hojarasca y ramas muertas.

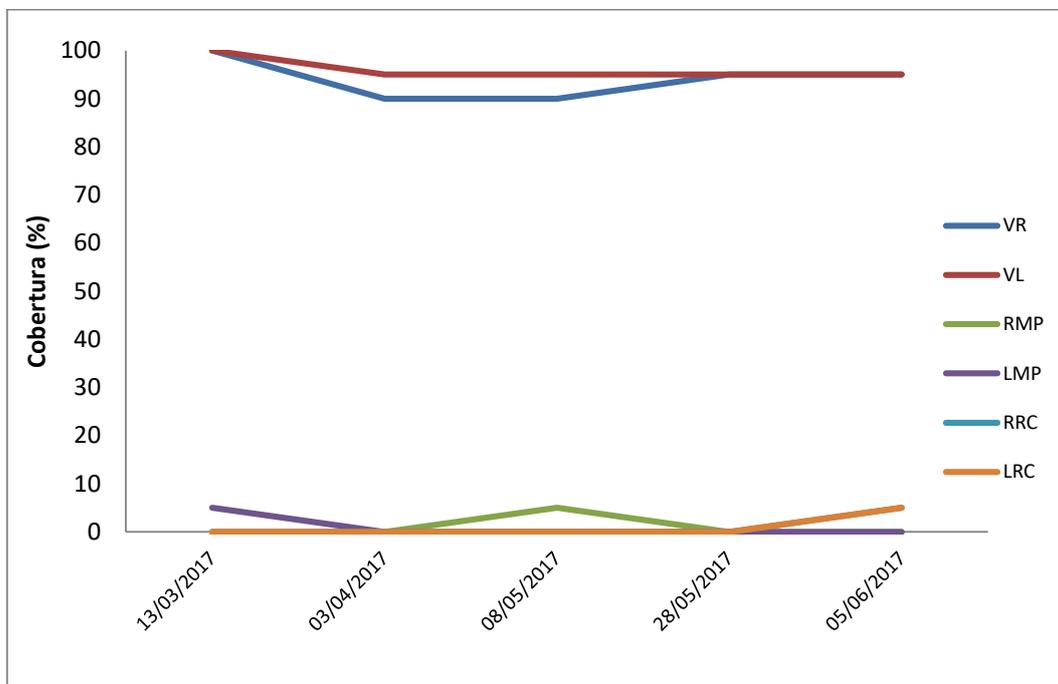


Figura 35: Porcentaje de cobertura de vegetación de ribera (VR), vegetación de laderas próximas a la ribera (VL), restos muertos en pie en la zona de ribera (RMP) y de laderas próximas (LMP) y restos muertos caídos en la ribera (RRC) y en las laderas próximas (LRC) en la zona aguas abajo del incendio.

## 4.6 Calidad de las aguas

### 4.6.1 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en los ríos tanto en control como de zona quemada es bastante similar, pero siguen una tendencia opuesta durante el muestreo de primavera (Figura 36). En el caso de los arroyos, se encontraron unos valores muy altos en el arroyo control en el segundo muestreo y menores en los arroyos afectados por el incendio. Comparando los resultados de los diferentes tramos quemados (no hay réplicas de las zonas control, por lo que no se pueden incluir en los análisis de varianza), no se han encontrado diferencias significativas entre zonas, pero sí entre periodos de muestreo, aunque solo en el caso de los arroyos después de las albarradas, con valores significativamente mayores en los dos tiempos iniciales que en los dos finales (ANEXO II). La diferente dinámica temporal en los valores de oxígeno disuelto en las diferentes zonas se pone de manifiesto porque la interacción es estadísticamente significativa.

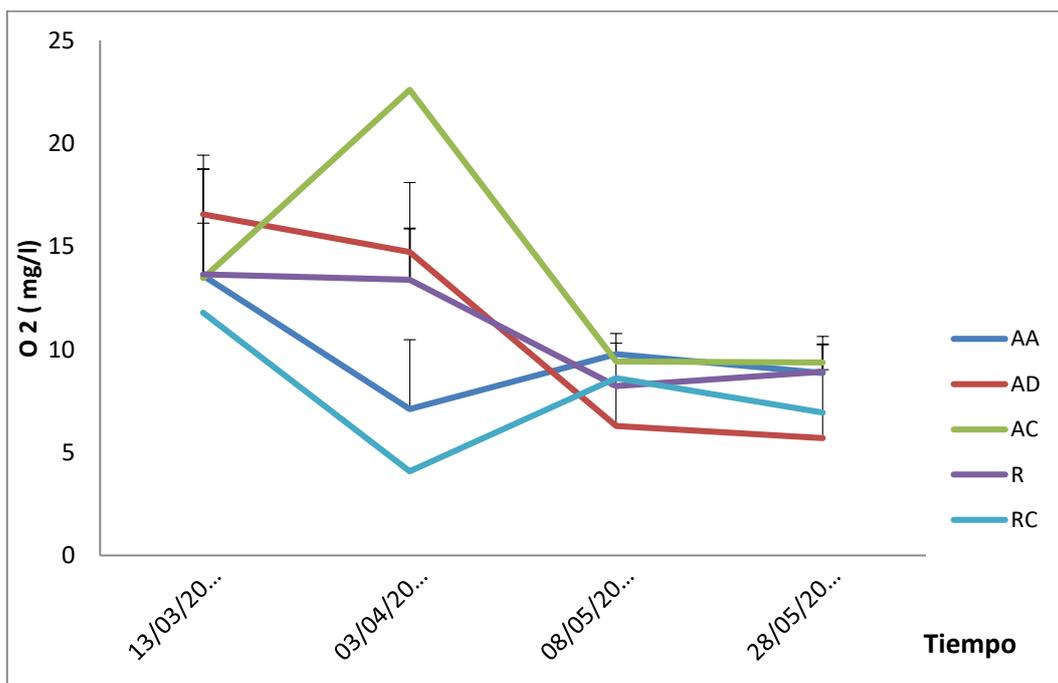


Figura 36: Concentración de oxígeno disuelto (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

#### 4.6.2 Conductividad

En los valores de conductividad no se aprecian tendencias claras, ni entre zonas ni entre tiempos de muestreo y tampoco se encuentran diferencias estadísticamente significativas (Figura 37, Anexo II).

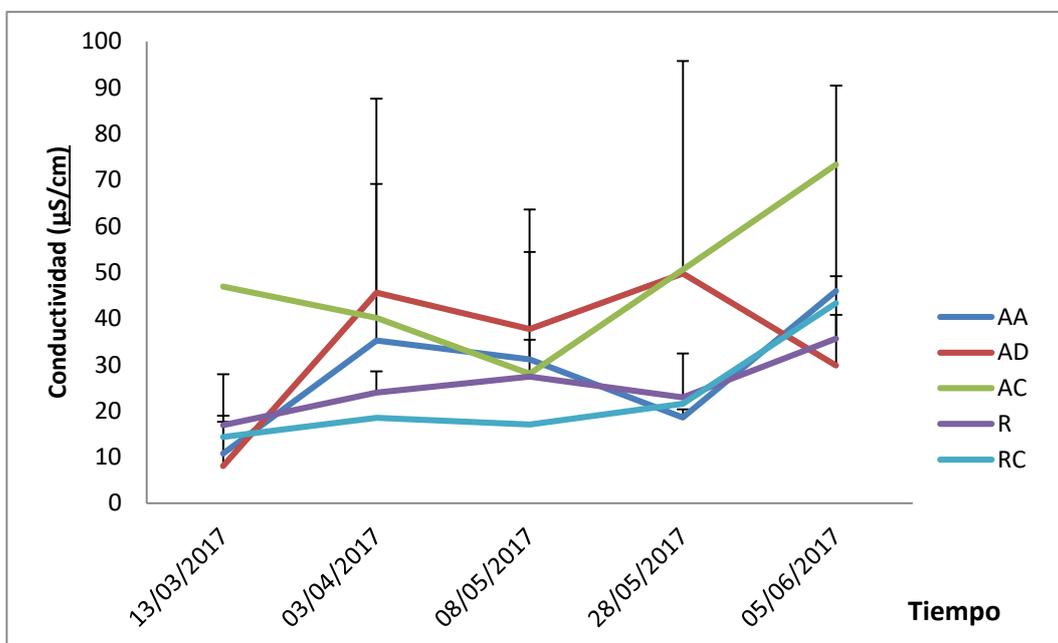


Figura 37. Conductividad del agua en µS/cm (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

### 4.6.3 pH

El pH tiene unos valores similares tanto a lo largo del tiempo como entre los distintos puntos, exceptuando el río control, que en el muestreo número 3 tiene un valor bastante inferior al resto, lo que puede ser debido a un funcionamiento erróneo de la sonda. Se observa que antes de las albarradas el pH tiene valores un poco más altos en todas las ocasiones y que la tendencia a lo largo de los muestreos es muy similar (Figura 38). No se aprecian diferencias significativas ni entre las zonas ni entre tiempos de muestreo (Anexo II).

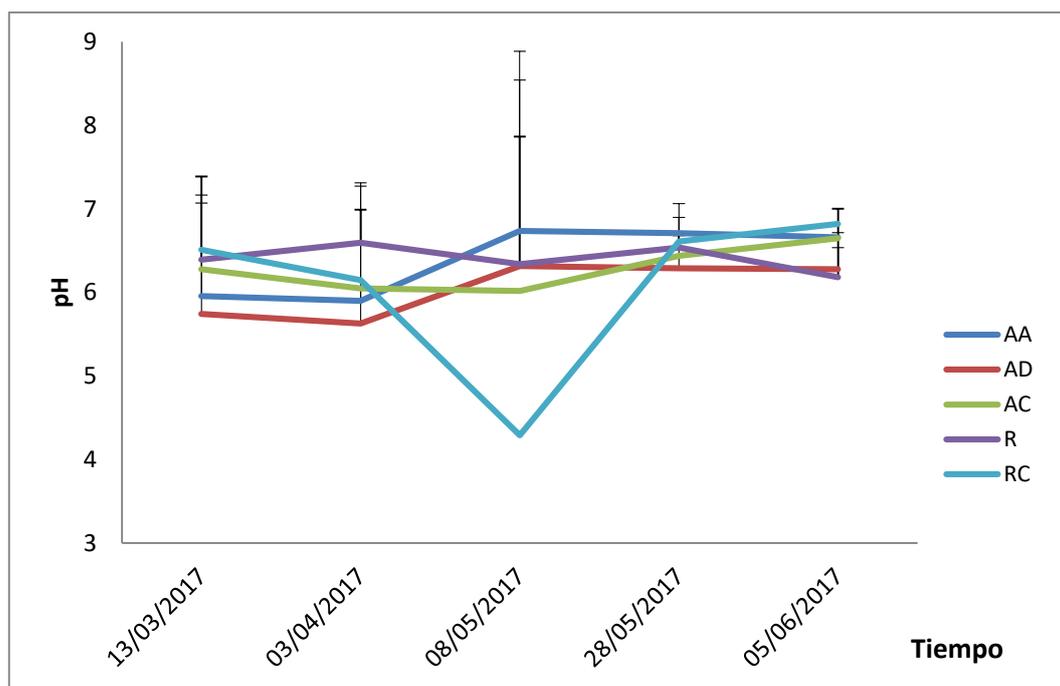


Figura 38. Valores del pH (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

### 4.6.4 Temperatura

La temperatura sigue la misma tendencia (Figura 39) tanto en los arroyos, antes y después de la albarrada, los ríos y las zonas control, aumentando con el tiempo debido a la entrada en la primavera. Los arroyos de las zonas quemadas presentan temperaturas más altas que el arroyo control, lo que puede ser debido a la falta de sombra por la ausencia de vegetación. Se aprecian diferencias significativas en general en todos los puntos con respecto al tiempo de muestreo (Anexo II), es decir, entre los muestreos iniciales y finales, ya que los muestreos comenzaron en invierno y finalizaron en verano.

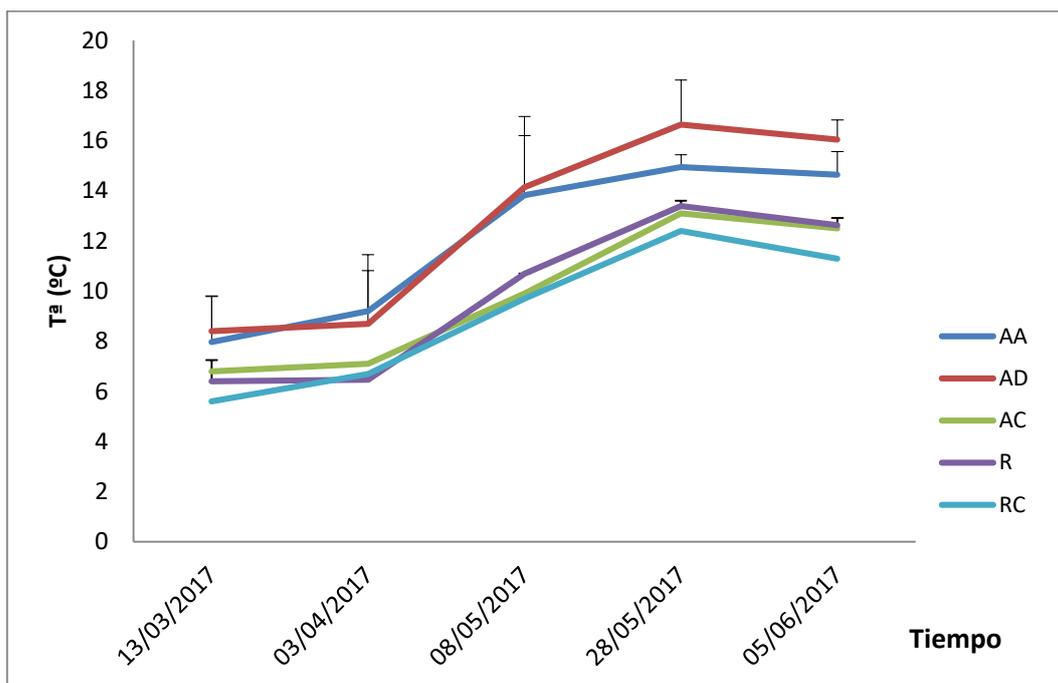


Figura 39: Valores de la temperatura del agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

#### 4.6.5. Sólidos en suspensión totales

En cuanto a los sólidos en suspensión, se observa que hay más en las zonas quemadas, especialmente en los arroyos, y dentro de éstos en los puntos anteriores a las albarradas (Figura 40). El pico que presenta en el tiempo de muestreo 3 en los arroyos antes de albarrada, es coincidente con altas precipitaciones en la semana anterior al muestreo. Por su parte, los ríos muestran menos variación entre las zonas quemadas y control, lo que puede ser debido a la gran cantidad de agua que presentan. No obstante, no se aprecian diferencias significativas (Anexo II).

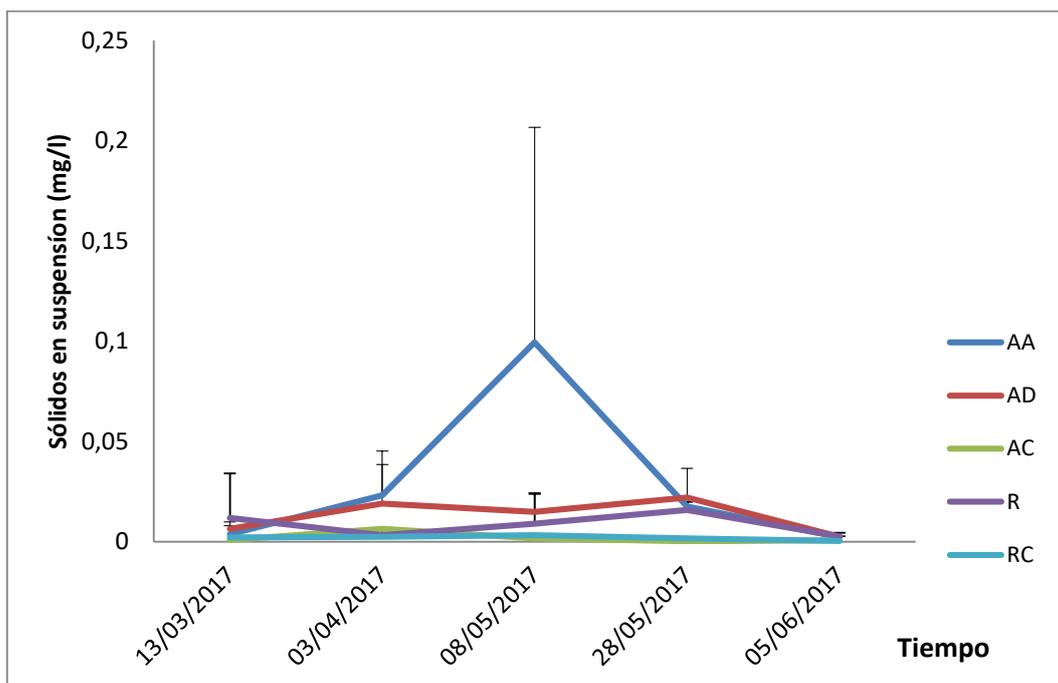


Figura 40: Sólidos en suspensión en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

#### 4.6.6. Sólidos en suspensión volátiles

En cuanto a los sólidos volátiles, se aprecia mayor cantidad en los arroyos de la zona quemada antes de las albarradas, aunque las diferencias son muy pequeñas, excepto en el tercer muestreo. La tendencia temporal es similar en todos los puntos, con una notable disminución en el cuarto muestreo. (Figura 41). Se aprecian diferencias significativas en función del tiempo (Anexo II) especialmente entre el muestreo número cuatro y los demás.

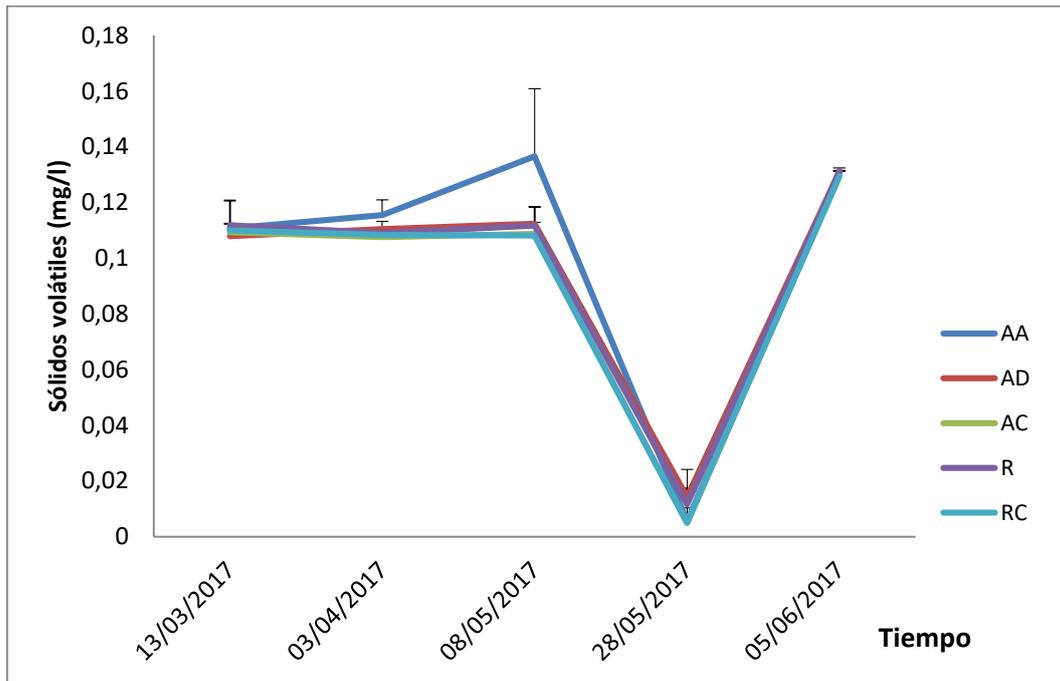


Figura 41: Sólidos en volátiles en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

**4.6.7. Fosfatos**

La concentración de fosfatos es muy pequeña en todos los casos y no se observan diferencias significativas entre zonas (Figura 42, Anexo II). La tendencia temporal no es clara. Sólo se aprecian diferencias significativas entre periodos de muestreo para el caso del río (zona quemada), con valores significativamente más altos en el segundo muestreo que en el primero y tercero.

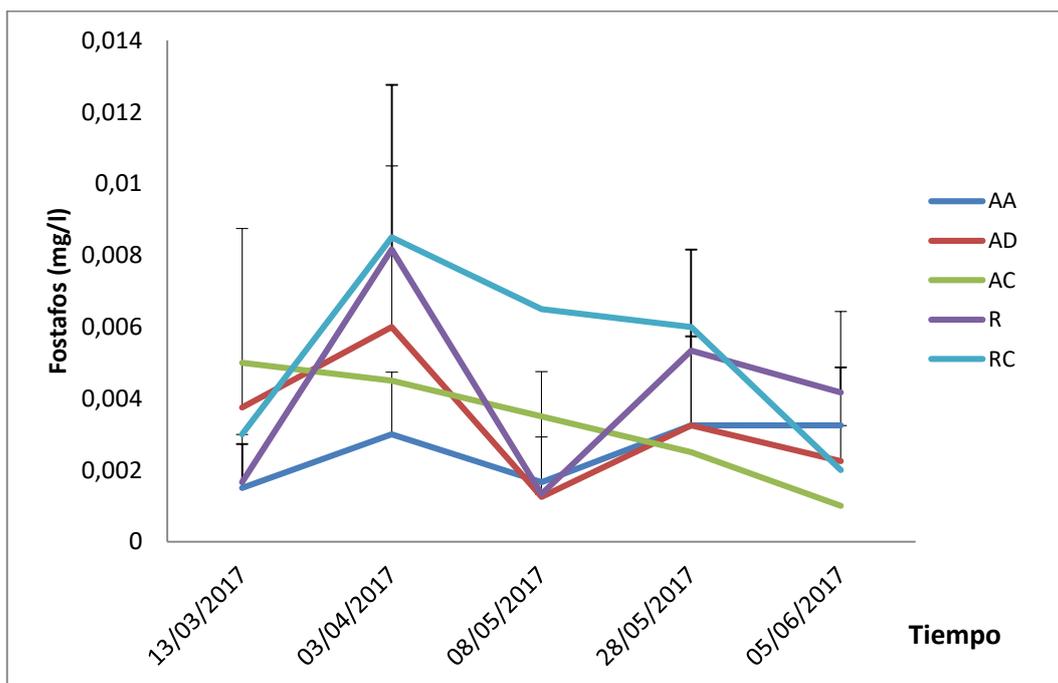


Figura 42: Fosfatos en el agua (valores medios y desviación estándar) en el arroyo antes de la albarrada (AA), después de la albarrada (AD) y control (AC) y río en tramo quemado (R) y en río control (RC) en los diferentes periodos de muestreo.

**4.6.8. Estimación visual de la efectividad de las albarradas.**

Además del estudio de los diferentes parámetros del agua, se puede observar visualmente que las albarradas consiguen detener las cenizas y sólidos arrastrados desde las laderas hacia los cauces de agua.

En la colocación de las albarradas, antes de comenzar el estudio, se podía observar que algunas albarradas levantaban aproximadamente un metro del suelo (Figura 43). Sin embargo, como se aprecia en la figura 44, a finales del mes de mayo, era tal la colmatación de sólidos y cenizas, que apenas quedaban unos 20 centímetros desde el sustrato a la altura de la albarrada.



Figura 43: Aspecto de la albarrada tras su colocación, antes de comenzar el estudio.



Figura 44: Aspecto de la albarrada el día 28 de mayo.

#### 5.4 Relación entre la recuperación de la vegetación y la calidad de las aguas.

Observando los resultados del análisis de correlación (Tabla 10), en primer lugar, respecto a los parámetros de calidad de las aguas, se puede ver como al aumentar la temperatura disminuye el oxígeno disuelto, aumenta la conductividad y los sólidos en suspensión

totales. Se observa también una correlación negativa entre los sólidos en suspensión volátiles y los fosfatos.

Por otra parte, existe una correlación positiva entre la cobertura vegetal de ribera y ladera, observándose además una correlación negativa con los restos muertos tanto en pie como caídos.

En cuanto a la relación entre los parámetros químicos medidos en el agua y las variables relacionadas con la vegetación y restos muertos en la ribera y laderas próximas (Tabla 10), se observa que a mayor cobertura vegetal, tanto de ribera como de ladera, hay menor cantidad de sólidos en suspensión totales. Por el contrario, los restos muertos en pie en zona de ribera presentan una correlación positiva con los sólidos en suspensión, tanto totales como volátiles, y negativa con la concentración de fosfatos. Los restos muertos en pie de las laderas también se correlacionan positivamente con los sólidos en suspensión totales, además de con el pH. Los restos caídos de ambas zonas se correlacionan negativamente con el oxígeno disuelto y positivamente con la temperatura (esto último probablemente debido a que la temperatura aumenta en los sucesivos muestreos, y con el paso del tiempo van cayendo cada vez más restos quemados). Además, los restos caídos en la zona de ribera tienen una correlación positiva con la conductividad, y los de ladera con el pH y los sólidos en suspensión totales.

Tabla 10. Análisis de correlación de Spearman entre las variables químicas del agua (O2= Oxígeno disuelto, Conductividad, pH, Tª= Temperatura, SST=Sólidos en suspensión totales, SSV= Sólidos en suspensión volátiles y Fosfatos) y la cobertura vegetal en las zonas quemadas (VR= Vegetación de ribera, VL= Vegetación de laderas próximas a la ribera, RMP= Restos muertos en pie en la zona de ribera, LMP= Restos muertos en pie de laderas próximas, RRC= Restos muertos caídos en la ribera y LRC= Restos muertos caídos en las laderas próximas). Cuando la correlación es estadísticamente significativa se indica en rojo.

	O2	CONDUC.	pH	Tª	SST	SSV	Fosfatos	VR	VL	RMP	LMP	RRC	LRC
O2													
CONDUC.	-0.28077												
pH	-0.18746	-0.17847											
Tª	<b>-0.52761</b>	<b>0.33517</b>	-0.037774										
SST	-0.098813	-0.021039	-0.0086609	<b>0.30337</b>									
SSV	-0.19139	0.18029	0.031712	0.11847	0.084602								
Fosfatos	0.12868	-0.064402	-0.087707	-0.18052	-0.043281	<b>-0.34538</b>							
VR	-0.24241	<b>0.31613</b>	-0.18456	0.064875	<b>-0.4707</b>	-0.25289	0.26498						
VL	-0.021987	0.13993	-0.23413	-0.022841	<b>-0.46321</b>	-0.2489	0.20154	<b>0.78304</b>					
RMP	0.042207	0.02091	-0.055676	<b>0.3176</b>	<b>0.62018</b>	<b>0.34187</b>	<b>-0.30837</b>	<b>-0.78151</b>	<b>-0.68588</b>				
LMP	-0.12485	-0.2183	<b>0.56701</b>	0.20427	<b>0.43107</b>	0.14084	-0.17827	<b>-0.57794</b>	<b>-0.52941</b>	<b>0.46453</b>			
RRC	<b>-0.36107</b>	<b>0.42298</b>	-0.13967	<b>0.29644</b>	-0.011147	0.042718	-0.0085073	<b>0.45125</b>	0.15094	-0.065915	<b>-0.29813</b>		
LRC	<b>-0.38103</b>	0.074994	<b>0.45361</b>	<b>0.42753</b>	<b>0.3645</b>	0.23952	-0.13646	-0.23369	<b>-0.39283</b>	<b>0.37107</b>	<b>0.84196</b>	-0.074269	

## 5. Discusión

En relación a los resultados obtenidos, se puede considerar que el incendio ha sido de severidad variable en las tres zonas estudiadas, significativamente mayor en la zona 1 que en la 3. Sin embargo, esta estimación de severidad, que refleja bien el efecto del fuego sobre la vegetación, no se corresponde con el impacto sobre el suelo, por lo menos en lo que se refiere a la hidrofobicidad. En el caso de este estudio, se puede observar como el paso del fuego ha convertido suelos fuertemente hidrofóbicos, como los de la zona control, en suelos ligeramente hidrofóbicos o incluso hidrofílicos en superficie, donde además esta hidrofobicidad se desplazó a 2 cm de profundidad. Esto es indicador de una severidad elevada sobre el suelo (Parson et al., 2010). Algunos autores han observado un aumento de la hidrofobicidad en los suelos (Varela et al., 2005) mientras que otros señalan la desaparición de esta debido a las altas temperaturas del incendio (De Grado, 2011). Jordan et al. (2008) y Mataix-Solera et al. (2009) señalan que la vegetación existente está estrechamente relacionada con la hidrofobicidad del suelo, siendo los suelos de brezales y pastizales más hidrofóbicos que el resto. Esto podría ser la causa de la hidrofobicidad que muestra la zona control, donde dominan los brezos, que también eran las especies más abundantes en las zonas quemadas.

La recuperación de la vegetación leñosa a los 9 meses del incendio es relativamente buena en dos de las tres zonas muestreadas, aunque todavía no es similar a la situación control. En la tercera zona, zona 1 de mayor severidad del incendio, la recuperación de las leñosas es muy escasa. La cobertura de herbáceas es inferior al 5% en las zonas quemadas, pero también lo es en la zona control. Muchos autores han señalado un incremento en la cobertura y riqueza de especies herbáceas en zonas quemadas, pero suele producirse entre el primer y el tercer año tras el incendio o incluso algo más tarde (Luis et al., 2000; Calvo et al., 2002; Álvarez et al., 2009). Por tanto, es probable que en la zona estudiada aún no haya tenido lugar esta proliferación de herbáceas.

Las especies leñosas dominantes en las zonas quemadas son fundamentalmente rebrotadoras, como *Quercus pyrenaica*, *Erica australis* o *Genista tridentata*. Esto coincide con lo observado por otros autores que indican que, en general, las especies rebrotadoras son las que primero colonizan la zonas quemadas (Pausas, 2004; Alvarez et al., 2009; Lloret y Zedler, 2009). Sin embargo, Calvo et al. (2003) señalan que los incendios de otoño o finales de verano, como es el caso del incendio objeto de estudio, al afectar a una vegetación más seca, determinan grandes intensidades de fuego, y perjudican gravemente el rebrote. También De Araujo Vieira Santos (2003) destaca la influencia de la severidad del incendio en la cantidad y velocidad del rebrote de cepa. Esto coincide con los resultados de este estudio, donde la recuperación en la zona 1 es mucho menor que en las demás.

La recuperación de la vegetación se produce por autosucesión, como se pone de manifiesto por la presencia de especies diferentes en los distintos tramos quemados, en

función de las que aparecían antes en esas zonas. La zona 2 antes del incendio era un robledal dominado por *Quercus pyrenaica* con muchos ejemplares de *Arbutus unedo*, mientras que las zonas 1 y 3 eran más similares entre sí por presentar más especies arbustivas. Esto se refleja en los resultados del análisis de correspondencias y coincide con lo observado por muchos autores (Trabaud, 1990; Luis et al. 2000; Calvo et al., 2002).

No se observaron cambios significativos en los parámetros analizados en el agua entre las zonas control y las quemadas, ni para los arroyos ni para los ríos. Esta falta de cambios puede ser debida a la escasez de precipitaciones durante la mayor parte del periodo de estudio. Sin embargo, cuando se han producido episodios de lluvias más fuertes, como antes del tercer muestreo, sí se aprecian aumentos en los sólidos en suspensión en los arroyos. Esto coincide con lo observado por otros autores, que solo detectan aumentos en los sólidos en suspensión tras fuertes tormentas que provocan procesos erosivos en las zonas quemadas (Murphy et al., 2015). Tiedemann (1978) y DeBano et al. (1996) indican que los sólidos en suspensión son uno de los parámetros más afectados tras el paso de un incendio, notándose un gran incremento de su concentración en el agua. Cosavella et al. (2005) registraron un incremento de los sólidos suspendidos en un estudio realizado en Córdoba, en el embalse Los Molinos, tras el paso de un incendio reciente en su cuenca, además de observar un incremento en la carga de fósforo en los ríos próximos que, a su vez, volcaban esta agua y cargas a dicho embalse. Otros autores no detectan tendencias claras en la concentración de fósforo en el agua y señalan que es muy dependiente de las condiciones hidrológicas de cada año (Santos et al., 2015). Por otra parte, Dahm et al. (2015) encuentran graves pérdidas de calidad de las aguas tras incendios severos, con incrementos en la turbidez y modificaciones de la conductividad (aumentos iniciales con disminuciones posteriores). Estos mismos autores señalan que el pH generalmente tiende a aumentar debido a la alcalinidad de las cenizas, sin embargo, se pueden encontrar valores más bajos de pH en periodos de elevada turbidez, debido a la presencia de grandes cantidades de carbón procedente de la incompleta combustión de la materia orgánica. En este estudio se ve que no existen diferencias de pH entre las zonas control y las zonas quemadas, con excepción del muestreo número tres, donde se produjeron lluvias más torrenciales y se observa un aumento del pH en las aguas que transcurren por zona quemada en referencia a las aguas control. Por otro lado, la conductividad sí es mayor en los ríos quemados frente al control, pero en los arroyos no sigue un patrón del que puedan sacarse conclusiones claras.

Aunque no es posible demostrar diferencias significativas para las variables estudiadas entre los puntos de los arroyos situados antes y después de las albarradas, sí que se observan valores más elevados de sólidos en suspensión antes, particularmente en el tercer muestreo, asociado a elevadas precipitaciones. Por otra parte, la estimación visual de los efectos de las albarradas es positiva, pudiéndose considerar como una estructura eficaz para parar el arrastre de los sólidos y cenizas hacia los ríos, lo que coincide con lo que señalan Gómez Sánchez & Navarro (2015).

Se pone de manifiesto el efecto positivo de la vegetación de ribera y de las laderas próximas en la calidad de las aguas, por la correlación negativa con los sólidos en suspensión. Algunos autores comentan el efecto positivo de la cobertura vegetal y el tipo de especies, principalmente herbáceas y matorrales, en la hidrología y erodabilidad del suelo, ya que actúan reduciendo el flujo de escorrentía y la pérdida de suelo (Cerdà & Doerr, 2005)

## 6. Conclusiones

1. El diámetro mínimo remanente proporciona una buena estimación de la severidad del incendio en la vegetación pero no refleja adecuadamente el impacto sufrido por el suelo.
2. La repelencia al agua o hidrofobicidad del suelo es afectada por el paso del fuego, aumentando en el grado de hidrofobicidad cuando la severidad del fuego es moderada, pero desapareciendo superficialmente y desplazándola en profundidad cuando la severidad del fuego ha sido alta. Las zonas con mayor suelo descubierto presentan una mayor repelencia al agua y están correlacionadas con una mayor severidad.
3. La regeneración de la vegetación a los 9 meses del incendio es bastante buena en dos de las zonas, pero peor en la de mayor severidad. La recuperación se produce por autosucesión, predominando las especies leñosas rebrotadoras. La cobertura por herbáceas es escasa en todas las zonas, incluyendo la no quemada.
4. Se comprueba la efectividad de la vegetación de ribera y de las laderas próximas en la retención de los sólidos en suspensión tanto totales como volátiles.
5. No se observa un efecto claro del incendio sobre la calidad de las aguas. No se encuentran diferencias entre las zonas quemadas y el control.
6. Tampoco se detecta una influencia positiva de la albarrada en la calidad de las aguas. Sin embargo, visualmente se comprueba que las albarradas son una medida positiva, frenando el avance de los sólidos totales a lo largo de los ríos.

## 7. Bibliografía.

- AEMET. Agencia Estatal de meteorología. 2017. (Consultada: 26/11/2017) Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada>
- ALLOZA, J.A. GARCÍA-BARREDA, S., GIMENO, T., VALLEJO, R., ROJO, L., MARTÍNEZ, A., 2013. *Guía técnica para la gestión de montes quemados. Protocolos de actuación para la restauración de zonas quemadas con riesgo de desertificación*. Madrid, España.
- ÁLVAREZ R., MUÑOZ A., PESQUEIRA X.M., GARCÍA-DURO J. REYES O., CASAL M. 2009. Spatial and temporal patterns in structure and diversity of Mediterranean forest of *Quercus pyrenaica* in relation to fire. *Forest Ecology and Management* 257, 1596-1602
- APHA. 1989. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> ed. Washington.
- ARIANOUTSOU, M., BEARD, J. S., FERRÉS, L., FOLCH, R., TRABAUD, L. V. 1993: «La vida a les formacions escleròfiles». En: *Mediterrànies* (Folch, R. coord.). Barcelona, Edit. MAB, UNESCO, 64-109
- BAKER, M.B. 1990. Hydrologic and Water Quality Effects of Fire. Pp. 31-42 in: *Proceedings of a Symposium on Effects of Fire Management of Southwestern Natural Resources*. USDA Forest Service, General Technical Report RM-191.
- BAUTISTA, S., BELLOT, J., VALLEJO, R. 1996. *Mulching treatment for postfire soil conservation in a semiarid ecosystem*. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10: 235-242.
- BERNAL, C., CARDILLO, E. 2005. *Efectos del fuego y selvicultura de su restauración*. Mérida: Instituto del corcho, la madera y el carbón vegetal (PROCOR), p. 111.
- BENITO, E., SOTO, B., VARELA, E., RODRÍGUEZ-ALLERES, M., RODRÍGUEZ-SUÁREZ, J.A. 2009. Modificaciones inducidas por los incendios forestales en las propiedades físicas de los suelos del noroeste de España: implicaciones en la respuesta hidrológica y en la erosión hídrica. En: CERDÀ, A. & MATAIX SOLERA, J. (Eds.). *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Cátedra Divulgación de la Ciencia, pp. 305-323.
- BISDOM, E. B. A., DEKKER, L. W., SCHOUTE, J.F., 1993. *Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure*. *Geoderma* 56, 105-118.
- CALVO, L., SANTALLA, S., MARCOS, E., VALBUENA, L., TÁRREGA, R., LUIS, E. 2003. Regeneration after wildfire in communities dominated by *Pinus pinaster*, an obligate seeder, and in others dominated by *Quercus pyrenaica*, a typical resprouter. *Forest Ecology and Management*, vol. 184, no 1, p. 209-223.
- CALVO L., TÁRREGA R, DE LUIS E. 2002. Secondary succession after perturbations in a shrubland community. *Acta oecologica* 23, 393-404.
- CERDÀ, A., DOERR, S.H. 2005. Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11-year investigation. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 423-437.
- COSSAVELLA, A; R BAZÁN; M CORRAL; MI RODRÍGUEZ; G GRISOLIA ET AL. 2005. Variación de la Carga de Fósforo Provocada por los Incendios en la

- Cuenca del Embalse los Molinos. *III Congreso Argentino de Limnología, Chascomús, Argentina. Libro de Resúmenes.*
- DAHM, C.N., CANDELARIA-LEY, R.I., REALE, C.S., REALE, J.K., VAN HORN, D.J. 2015. Extreme water quality degradation following a catastrophic forest fire. *Freshwater Biology* 60, 2584-2599.
- DE ARAÚJO VIEIRA SANTOS, M. 2003. *Regeneración post-incendio de matorral en suelos con distintas historias de uso.* Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona,
- DEBANO, L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* 231-232: 195-206
- DEBANO, L.F. PF FOLLIOTT & MB BAKER JR. 1996. Fire Severity Effects on Water Resources. Pp. 77-84 in: *A Symposium Proceedings "Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems"*. USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-289
- DOERR, S.H. (1998)- "On standardizing the "water drop penetration time" and the "molarity of an ethanol droplet" techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils". *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 663-668.
- DE GRADO, J. 2011 J. *Influencia de la temperatura y tipo de vegetación en la hidrofobicidad de los suelos de los montes de Valsain.* Proyecto Fin de Máster. Universidad de León.
- FAO 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. *World Soil Resources Reports*, 103. FAO, Roma, 128 p.
- FERNÁNDEZ FILGUEIRA, C., VEGA HIDALGO, J.A. y FONTÚRBEL LLITERAS, T. 2017. Aplicación de helimulching para reducir la erosión post-incendio en Galicia. *7º Congreso Forestal Español. Plasencia. 7CFE01-408.*
- GÓMEZ-SÁNCHEZ E., NAVARRO T. 2015: Manual para la realización de albarradas y fajinas para el control de la erosión en zonas forestales afectadas por el incendio de Hellín (Albacete) de 2012. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 41: 89-102 (2015).
- GONZÁLEZ ULIBARRY F. 2017, Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna, (*Congreso Nacional de Chile*).
- INFOCAL. Plan de Protección Civil ante Emergencias por Incendios Forestales en Castilla y León. 2017 (Consultada: 26/11/2017) Disponible en: <http://www.infocal.org/eventos.asp>
- INFORIEGO. 2017. (Consultada 26/11/2017). Disponible en: <http://www.inforiego.org/opencms/opencms>
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME). Consultada: 05/12/2017). Disponible en: <http://www.igme.es/>
- JORDÁN, A.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; BELLINFANTE, N. 2008. Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain. *Catena*, 74 (2):137-143.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. Delegación territorial de Medio Ambiente. Aplicación interna SINFO, 2017
- LETEY, J., M.L.K. CARRILLO, AND X.P. PANG. 2000. Approaches to characterize the degree of water repellency. *J. Hydrol.* 231/232:61-65.
- LLORET, F.; ZEDLER, P. H. 2009: «The effect of forest fire on vegetation», en *Fire effects on Soils and Restoration Strategies* (Cerdà, A. y Robichaud, P. R., coord.). Enfield, Edit. Science Publishers, 257-295
- LUIS-CALABUIG, E, TÁRREGA, R, CALVO, L, MARCOS, E & VALBUENA, L, 2000. History of landscape changes in northwestern Spain according to land use

- and management. En: *Life and Environment in the Mediterranean*. L. Trabaud (ed.) Wit Press. pp. 43-86.
- MAPAMA 2017a. *Estadística general de incendios forestales*. (Consultada 03/10/2017) Disponible en :[http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Estad%3%ADstica General de Incendios Forestales ME TODOLOG%3%8DA\\_tcm7-349131.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Estad%3%ADstica%20General%20de%20Incendios%20Forestales%20ME%20TODOLOG%3%8DA_tcm7-349131.pdf)
- MAPAMA 2017b. *Los Incendios Forestales en España*. (Consultada 03/10/2017) Disponible en: [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/iiff\\_2016\\_def\\_tcm7-454599.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/iiff_2016_def_tcm7-454599.pdf)
- MASACHS ALAVEDRA, V. 1948. *El régimen de los ríos peninsulares*. Instituto Lucas Mallada. CSIC, Barcelona, 511pp.
- MATAIX-SOLERA, J., GUERRERO, C., ARCENEGUI, V. BARCENAS, G., ZORNOZA, R., PÉREZ-BEJARANO, A., BODÍ, M.B., MATAIX-BENEITO, J., GÓMEZ, I., GARCÍA-ORENES, F., NAVARRO-PEDREÑO, J., JORDÁN, M.M., CERDÁ, A., DOERR, S.H., ÚBEDA, X., OUTEIRO, L., PEREIRA, P., JORDÁN, A., ZAVALA, L. 2009 Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. En: CERDÁ, A. & MATAIX-SOLERA, J. (Eds.). *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Cátedra Divulgación de la Ciencia, p. 5.
- MEJUTO MENDIETA, M., SCHMID SUTTER, T., CANTÓ PORTILLO, F., GARCÍA ÁLVAREZ, A. 2010. Representación cartográfica del catálogo. Aplicaciones. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). Fundación Ciudad de la Energía y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ponferrada, pp: 119-135.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (1986). *Métodos Oficiales de Análisis de Suelos y Plantas*. Serv. Publ. M.A,PA. Madrid
- MOLINAS, M. L. y VERDAGUER, D. 1993: Lignotuber ontogeny in the cork-oak (*Quercus suber*; *Fagaceae*). I. Late embryo. *American Journal of Botany*, 80, 172- 181
- MORENO, J.M.; OECHEL, W.C. 1989. A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. *Acta Oecol.-Oecol. Plantarum*, 10, 57-68.
- MURPHY, S.F., WRITER, J.H., McCLESKEY, R.B., MARTIN, D.A. 2015. The role of precipitation type, intensity and spatial distribution in source water quality after wildfire. *Environmental Research Letters* 10, 084007.
- NEARY, D. G., KLOPATEK, C., C., DEBANO, L. F. y FFOLLIOTT, P. F. 1999: Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.
- PARSON, A., ROBICHAUD, P.R., LEWIS, S.A., NAPPER, C., CLARK. J.T. 2010. Field guide for mapping post-fire soil burnt severity. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-2043*. Fort Collins, CO: U.S.D.A. Forest Service Rocky Mountain Research Station. 49.
- PAUSAS, J. G. 2004: Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change*, 63, 337-350.
- PEREZ, B.; MORENO, J.M. Methods for quantifying fire severity in shrubland-fires. *Plant Ecology*, 1998, vol. 139, p.91-101.

- PROCLI 2017 (aplicación) Jesús Lago Macía. (Consultada 01/11/2017). Disponible en: <http://www.uhu.es/03009/procli/procli11.php>
- RAISON, R.J. (1979). *Modification of the soil environment by vegetation fires, with a particular reference to nitrogen transformations: a review*. Plant and Soil 51, 73-108.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. 2007. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España En: *Itinera Geobotanica n° 17*. Universidad de León, León, España, pp: 5436.
- ROBICHAUD, P.R., MCDONALD, L., FREEOUF, J., NEARY D., MARTIN, D. ASHMUN, L. 2003. Postfire rehabilitation of the Hayman Fire. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-114. 293-313.
- SANTOS, R.M.B, SANCHES FERNANDES, L.F., PEREIRA, M.G., CORTES, R.M.V., PACHECO, F.A.L. 2015. Water resources planning for a river basin with recurrent wildfires. *Science of the Total Environment* 526, 1-13.
- SIEMCALSA. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León, S.A. [En la web] (Consulta realizada el 15/11/201) 2014. Disponible en: <http://www.siemcalsa.com>.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (2º Ed.) USDA, Handbook 436, Washington D.C., 869 p.
- TIEDEMANN, AR. 1978. Regional Impacts of Fire. Pp. 532-556 in *Proceedings of the Conference "Fire and Ecosystem Properties"*. Forest Service, General Technical report WO-26.
- TRABAUD, L. V. 1990: «Fire resistance of *Quercus coccifera* L. garrigue», en *Fire in ecosystem dynamics: Mediterranean and northern perspectives* (Goldammer, J. G. y Jenkins, M. J. coord.). The Hague, Edit. SPB Academic Publishing, 21-32.
- TSCHAPEK, M 1984: Criteria for determining the hidrophility-hidrophobicity of soils. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, 147: 137-149.
- VADILLO, L., ADUVIRE, O., ALBERRUCHE, M.E., ARRANZ, J.C., LACAL, M., MARTÍNEZ B. Y MORENO C. 2006. *Memoria del acuerdo específico de colaboración entre el CIEMAT y el IGME para la restauración ambiental de la región de El Bierzo*. IGME-CIEMAT, Madrid, España, 120 pp.
- VADILLO, L., DE LA LOSA, A., MORENO, L., NÚÑEZ I. 2008. *Calidad Química de las aguas subterráneas en una zona de actividad minera (Cuenca del Bierzo)*. Memoria .IGME, Madrid, España, 21 pp.
- VALLEJO, V., BAUTISTA AGUILAR, S., ALLOZA MILLÁN, J., 2009. Restauración de montes quemados en condiciones mediterráneas. *Recursos Rurais do IBADER. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural*.5, 55-60
- VARELA, M.E.; BENITO, E.; DE BLAS, E. 2005 Impact of wildfires on Surface water repellency in soils of NW Spain. *Hydrological Processes* 19, 3649-3657.
- VOLLENWEIDER RA. 1969. *Primary production in aquatic environments*. IBP handbook 12. Oxford and Edinburgh: Blakwell Sci Publ, 213.
- WESSEL A. T. 1988. On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils. 555–561.
- YAN, Z., PEÑUELAS, J., SARDANS, J., ET AL. (2016). *Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts*. Ecology Letters. 19: 1237–1246. DOI: 10.1111/ele.12658

ZABALLOS, J.P., PULIDO, S.; GAMARRA, R. 2010. Vegetación y flora en la cuenca carbonífera de El Bierzo. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, 39-50.

## ANEXO I

### Informe bioclimático

#### Datos generales de la estación:

**Nombre:** Ponferrada

**Longitud:** 6° 35' 59"

**Latitud:** 42° 33' 49"

**Altitud:** 534.0 m

**Capacidad de campo:** 0 mm

**Coefficiente de escorrentía:** 0 %

#### Valores climatológicos normales

**Nº de años de la serie:** 30

**P anual:** 765.6 mm

**T media anual:** 12.3 °C

**T media anual de las máximas diarias:** 18.0 °C

**T media anual de las mínimas diarias:** 6.6 °C

**T máxima absoluta:** 28.6 °C

**T mínima absoluta:** -0.0 °C

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>P (mm)</b>	78.4	65.4	57.4	61.4	65.4	43.4	23.0	25.0	60.4	92.4	93.4	100.4
<b>T media (°C)</b>	4.0	6.0	9.1	10.7	14.0	18.4	21.8	21.4	17.3	12.5	7.6	4.5
<b>T media máx. (°C)</b>	7.8	11.0	15.0	16.7	20.3	25.5	29.4	29.0	24.0	17.6	11.6	7.9
<b>T media mín. (°C)</b>	0.2	0.9	3.1	4.8	7.8	11.4	14.2	13.8	10.6	7.4	3.5	1.1
<b>T máx. (°C)</b>	6.8	10.0	13.1	15.7	19.0	24.1	28.6	18.2	24.1	17.2	11.3	7.4
<b>T mín. (°C)</b>	-0.0	1.5	2.5	4.4	7.2	10.7	13.9	13.3	10.6	7.0	3.2	1.0

Siendo P la precipitación y T la temperatura

#### Índices bioclimáticos

**Factor de pluviosidad de Lang:** 62.5 (zona húmeda de bosques ralos)

**Índice de aridez de Martonne:** 34.4 (clima húmedo)

**Índice de Dantín-Revenga:** 1.6 (zona húmeda)

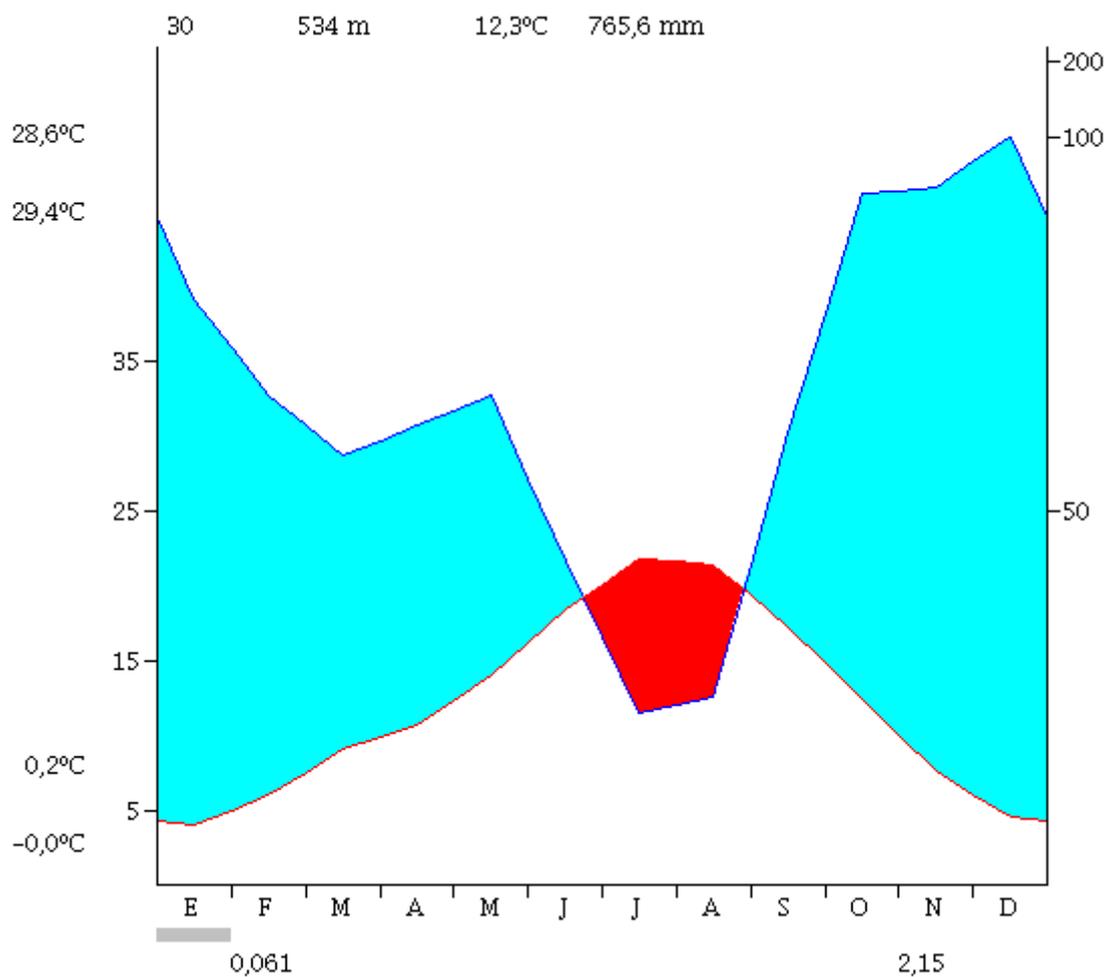
**Índice de Vernet:** -6.2 (clima mediterráneo)

**Índice de Bagnouls-Gausson (CORINE): 32.0**

**Índice de Fournier (CORINE): 13.2**

**Piso bioclimático de Rivas Martínez: Clima mediterráneo -  
Supramediterráneo – Subhúmedo**

**Climodiagrama de Walter-Lieth:**



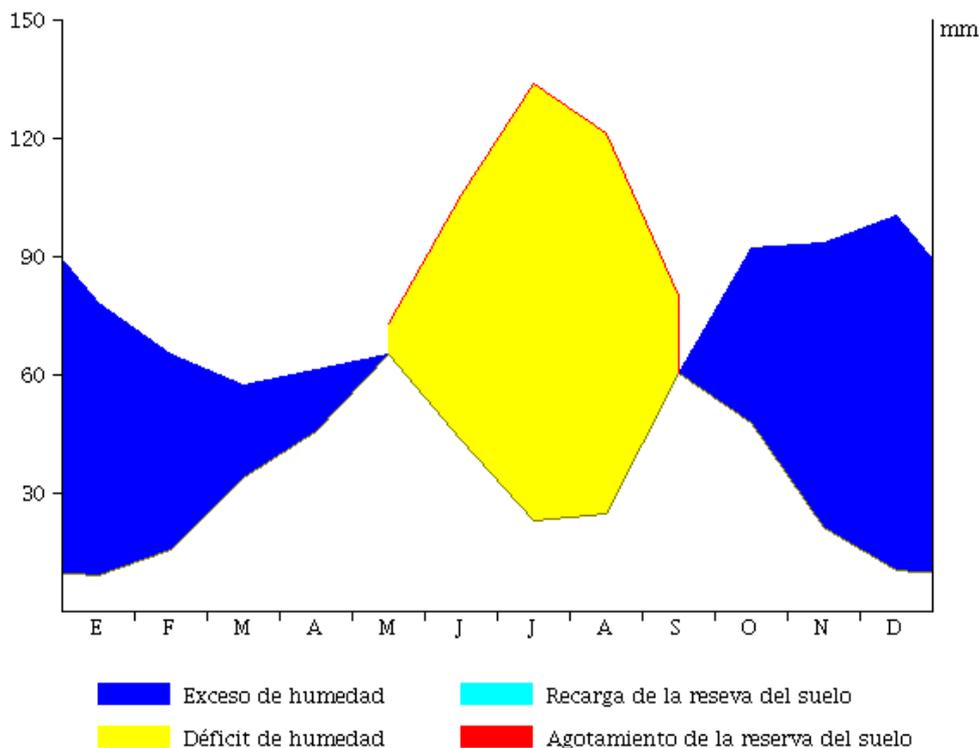
**Clasificación climática de Thornthwaite**

**Balance hídrico:**

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>T media</b> (°C)	4.0	6.0	9.1	10.7	14.0	18.4	21.8	21.4	17.3	12.5	7.6	4.5
<b>ETP</b> (mm)	9.2	15.8	34.1	45.7	73.2	105.7	133.7	121.4	80.1	48.0	21.4	10.4
<b>Pe</b> (mm)	78.4	65.4	57.4	61.4	65.4	43.4	23.0	25.0	60.4	92.4	93.4	100.4
<b>R</b> (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>ETR</b> (mm)	9.2	15.8	34.1	45.7	65.4	43.4	23.0	25.0	60.4	48.0	21.4	10.4
<b>S</b> (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	62.3	110.7	96.4	19.8	0.0	0.0	0.0
<b>D</b> (mm)	69.1	49.6	23.3	15.6	-7.9	-62.3	-110.7	-96.4	-19.8	44.4	71.9	90.0

Siendo:

- ETP la evapotranspiración potencial
- Pe la precipitaciónn efectiva
- R la reserva de agua en el suelo
- ETR la evapotranspiración real
- S el déficit de agua
- D el exceso de agua



**Índice de humedad:** -33.0 (clima seco subhúmedo  $C_1$ )

**Índice de eficacia térmica:** 698.8 (clima mesotérmico  $B'_1$ )

**Índice de exceso de agua:** 9.6 (poco o ningún exceso de agua  $d$ )

**Concentración en verano de la eficacia térmica:** 51.6% (moderada concentración  $b'_4$ )

**ETo Hargreaves**

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>ETo (mm)</b>	23.5	37.5	70.3	94.0	129.1	160.3	183.0	160.8	104.5	59.3	29.9	20.3

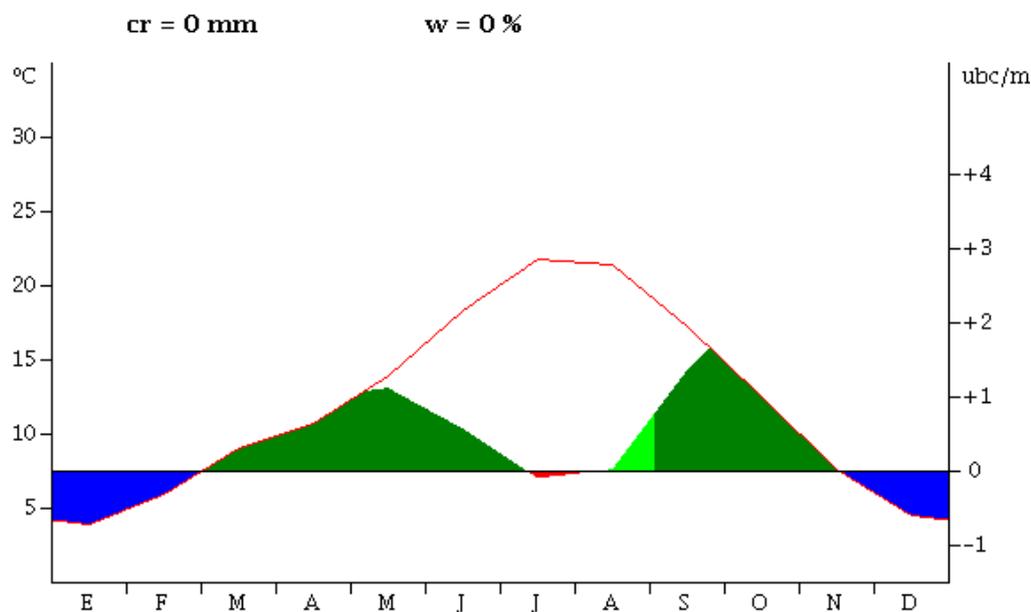
**ETo FAO Penman-Monteith**

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>ETo (mm)</b>	24.3	38.2	69.7	91.1	123.4	153.1	175.8	156.6	103.3	59.2	30.4	21.1

- Radiación y humedad estimadas a partir de las diferencias térmicas
- Velocidad del viento  $u_2=2$  m/s

### Diagrama bioclimático de Montero de Burgos:

- ETP por Thornthwaite



**IBPc** = 13.03 ubc    **TM** = 18.11 °C    **D** = 9.00 mes

**IBLc** = 4.92 ubc    **TM** = 14.27 °C    **D** = 6.93 mes

**IBCc** = 0.11 ubc    **TM** = 18.04 °C    **D** = 1.07 mes

**IBRc** = 5.03 ubc    **TM** = 14.36 °C    **D** = 8.00 mes

**IBSc** = -0.10 ubc    **TM** = 21.80 °C    **D** = 1.00 mes

**IBPf** = -1.61 ubc    **TM** = 4.54 °C    **D** = 3.00 mes

**IBLf** = -1.61 ubc    **TM** = 4.54 °C    **D** = 3.00 mes

**IBCf** = 0.00 ubc

**IBRf** = -1.61 ubc    **TM** = 4.54 °C    **D** = 3.00 mes

**IBSf** = 0.00 ubc

**Recorrido teórico de la estación:** -0.34

**Recorrido real de la estación:** 0.00

**Capacidad de respuesta a la restauración forestal:** 0.13

**Coefficiente de aprovechamiento climático actual:** 1.00

**Coefficiente de aprovechamiento climático típico:** 0.24

## ANEXO II.

**Resultados de los análisis estadísticos**

Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para las variables de vegetación, hidrofobicidad y severidad. Cuando el ANOVA muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) se incluye el resultado del test de Tuckey. En el caso del suelo descubierto se utiliza un test no paramétrico (Kruskal-Wallis) porque las varianzas no son homocedásticas. (C= Zona control, A3= Zona 1, A5= Zona 2 y A7= Zona 3)

**Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la severidad según el diámetro remanente.**

Univariate Tests of Significance for Severidad (ANOVA Vegetacion)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11,39530	1	11,39530	216,2996	0,000000
ZONA	0,51265	2	0,25632	4,8654	0,028355
Error	0,63220	12	0,05268		

**Test de Tukey para la severidad según el diámetro remanente.**

Tukey HSD test; variable Severidad (ANOVA Vegetacion)				
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests				
Error: Between MS = ,05268, df = 12,000				
Cell No.	ZONA	{1}	{2}	{3}
1	A3	1,0964	,87480	,64360
2	A5	0,313811	0,313811	0,286164
3	A7	0,022503	0,286164	

**Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la hidrofobicidad.**

Univariate Tests of Significance for Hidrofob (ANOVA Vegetacion)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19922,14	1	19922,14	6,292215	0,024101
ZONA	46622,69	3	15540,90	4,908443	0,014276
Error	47492,35	15	3166,16		

**Test de Tukey para la hidrofobicidad.**

Tukey HSD test; variable Hidrofob (ANOVA Vegetacion)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 3166,2, df = 15,000					
Cell No.	ZONA	{1}	{2}	{3}	{4}
1	C	123,65	3,3600	2,0000	1,1200
2	A3	0,028067	0,028067	0,026189	0,025039
3	A5	0,026189	0,999981	0,999981	0,999995
4	A7	0,025039	0,999914	0,999995	

## Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la cobertura de leñosas.

Univariate Tests of Significance for Cob Leñ (ANOVA Vegetacion) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	68562,05	1	68562,05	193,7876	0,000000
ZONA	31812,15	3	10604,05	29,9719	0,000001
Error	5660,80	16	353,80		

## Test de Tukey para la cobertura de leñosas.

Tukey HSD test; variable Cob Leñ (ANOVA Vegetacion) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 353,80, df = 16,000					
Cell No.	ZONA	{1}	{2}	{3}	{4}
		113,00	2,2000	70,000	49,000
1	C		0,000185	0,011317	0,000484
2	A3	0,000185		0,000346	0,005973
3	A5	0,011317	0,000346		0,324910
4	A7	0,000484	0,005973	0,324910	

## Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la riqueza de especies leñosas.

Univariate Tests of Significance for Riq Leñ (ANOVA Vegetacion) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	125,0000	1	125,0000	333,3333	0,000000
ZONA	21,0000	3	7,0000	18,6667	0,000018
Error	6,0000	16	0,3750		

## Test de Tukey para la riqueza de leñosas.

Tukey HSD test; variable Riq Leñ (ANOVA Vegetacion) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,37500, df = 16,000					
Cell No.	ZONA	{1}	{2}	{3}	{4}
		3,4000	1,2000	1,8000	3,6000
1	C		0,000352	0,004036	0,954014
2	A3	0,000352		0,433395	0,000244
3	A5	0,004036	0,433395		0,001507
4	A7	0,954014	0,000244	0,001507	

## Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la cobertura de herbáceas.

Univariate Tests of Significance for Cob Herb (ANOVA Vegetacion) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	259,2000	1	259,2000	9,257143	0,007759
ZONA	32,8000	3	10,9333	0,390476	0,761468
Error	448,0000	16	28,0000		

## Resultados del análisis de varianza de una vía (zona) para la riqueza de especies herbáceas.

Univariate Tests of Significance for Riq herb (ANOVA Vegetacion) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16,20000	1	16,20000	15,42857	0,001201
ZONA	1,00000	3	0,33333	0,31746	0,812585
Error	16,80000	16	1,05000		

## Test no paramétrico (Kruskal-Wallis) para suelo descubierto.

Multiple Comparisons p values (2-tailed); Suelo desc (ANOVA Vegetacion) Independent (grouping) variable: ZONA Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 20) =16,44566 p =,0009				
Depend.:	C	A3	A5	A7
Suelo desc	R:3,0000	R:17,800	R:10,700	R:10,500
C		0,000458	0,237592	0,270125
A3	0,000458		0,346529	0,306337
A5	0,237592	0,346529		1,000000
A7	0,270125	0,306337	1,000000	

Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para las variables del agua muestreadas. Cuando el ANOVA muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) se incluye el resultado del test de Tuckey. Leyenda: Zona de muestreo (AA= Arroyo antes de albarrada, AD= Arroyo después de la albarrada, R= Río en zona quemada), seguido de la variable medida ( $O_2$ ,  $T^a$ ,...), y del tiempo de muestreo (T1= tiempo 1, T2= tiempo 2,...)

## Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para el oxígeno disuelto (mg/l)

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2857,482	1	2857,482	137,9865	0,000300
zona	21,827	2	10,913	0,5270	0,626396
Error	82,834	4	20,708		
R1	178,075	3	59,358	13,2674	0,000406
R1*zona	136,094	6	22,682	5,0698	0,008253
Error	53,688	12	4,474		

#### Test de Tukey para el oxígeno disuelto (mg/l).

Tukey HSD test; variable DV_1 (ANOVA STATISTICA) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MS = 8,5326, df = 9,5309														
Cell No.	zona	R1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	AA	O2 mg/L -T1		0,135400	0,983799	0,885273	0,913847	0,998063	0,670688	0,563802	0,999973	0,999997	0,910759	0,970742
2	AA	O2 mg/L - T2	0,135400		0,591619	0,821174	0,072990	0,169314	0,999999	1,000000	0,190758	0,217633	0,982798	0,937556
3	AA	O2 mg/L T-4	0,983799	0,591619		0,999998	0,518398	0,836299	0,976471	0,938274	0,923539	0,949562	0,999944	1,000000
4	AA	O2 mg/L T-5	0,885273	0,821174	0,999998		0,371226	0,683332	0,997565	0,988036	0,790190	0,836628	1,000000	1,000000
5	AD	O2 mg/L -T1	0,913847	0,072990	0,518398	0,371226		0,998313	0,012394	0,008069	0,987699	0,977061	0,204299	0,282727
6	AD	O2 mg/L - T2	0,998063	0,169314	0,836299	0,683332	0,998313		0,048348	0,031148	0,999999	0,999986	0,460884	0,593007
7	AD	O2 mg/L T-4	0,670688	0,999999	0,976471	0,997565	0,012394	0,048348		1,000000	0,319269	0,359914	0,999528	0,994019
8	AD	O2 mg/L T-5	0,563802	1,000000	0,938274	0,988036	0,008069	0,031148	1,000000		0,243497	0,276524	0,995578	0,974646
9	R	O2 mg/L -T1	0,999973	0,190758	0,923539	0,790190	0,987699	0,999999	0,319269	0,243497		1,000000	0,178096	0,309506
10	R	O2 mg/L - T2	0,999997	0,217633	0,949562	0,836628	0,977061	0,999986	0,359914	0,276524	1,000000		0,223199	0,377984
11	R	O2 mg/L T-4	0,910759	0,982798	0,999944	1,000000	0,204299	0,460884	0,999528	0,995578	0,178096	0,223199		0,999999
12	R	O2 mg/L T-5	0,970742	0,937556	1,000000	1,000000	0,282727	0,593007	0,994019	0,974646	0,309506	0,377984	0,999999	

#### Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para la conductividad.

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	25346,04	1	25346,04	28,03871	0,006107
zona	744,07	2	372,04	0,41156	0,687803
Error	3615,86	4	903,97		
R1	2018,62	4	504,65	2,05818	0,134288
R1*zona	2184,14	8	273,02	1,11348	0,404563
Error	3923,11	16	245,19		

#### Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para el pH.

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1408,441	1	1408,441	574,3115	0,000018
zona	3,798	2	1,899	0,7743	0,519685
Error	9,810	4	2,452		
R1	1,743	4	0,436	0,9444	0,463837
R1*zona	2,738	8	0,342	0,7417	0,655459
Error	7,384	16	0,462		

Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para la temperatura (T<sup>ns</sup>).

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4370,773	1	4370,773	860,8121	0,000008
zona	50,357	2	25,179	4,9589	0,082600
Error	20,310	4	5,077		
R1	354,031	4	88,508	271,6348	0,000000
R1*zona	4,002	8	0,500	1,5353	0,221274
Error	5,213	16	0,326		

Test de Tukey para la temperatura (°C).

Tukey HSD test; variable DV_1 (ANOVA STATISTICA) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MS = 1,2762, df = 6,2147																	
Cell No.	zona	R1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}
1	AA	T <sup>1</sup> 1	7,0000	8,5000	12,050	14,950	14,650	8,4000	8,7000	14,150	16,650	16,050	6,4000	6,4667	10,700	13,400	12,633
2	AA	T <sup>2</sup> 2	0,417917	0,000175	0,000172	0,000172	0,000172	0,981412	0,935302	0,015643	0,003211	0,004535	0,999987	0,999997	0,192006	0,017289	0,032512
3	AA	T <sup>3</sup> 3	0,000175	0,000892	0,000172	0,000172	1,000000	1,000000	0,049251	0,007919	0,011819	0,740524	0,769274	0,696333	0,062116	0,126983	
4	AA	T <sup>4</sup> 4	0,000172	0,000172	0,006285	0,006285	0,016617	0,272146	0,350489	0,817166	0,119287	0,201099	0,032053	0,033934	0,972806	0,972806	0,999991
5	AA	T <sup>5</sup> 5	0,000172	0,000172	0,016617	0,999999	0,999999	0,024309	0,030576	0,999883	0,935302	0,997311	0,003774	0,003935	0,113685	0,935748	0,644151
6	AD	T <sup>1</sup> 1	0,981412	1,000000	0,272146	0,024309	0,030576	0,999999	0,999999	0,000172	0,000172	0,000172	0,783338	0,810667	0,651604	0,056735	0,115492
7	AD	T <sup>2</sup> 2	0,935302	1,000000	0,350489	0,030576	0,038692	0,999999	0,000172	0,000172	0,000172	0,000172	0,651604	0,681444	0,783338	0,074611	0,153638
8	AD	T <sup>3</sup> 3	0,015643	0,049251	0,817166	0,999883	1,000000	0,000172	0,000172	0,000172	0,000172	0,148795	0,006376	0,006676	0,243518	0,999845	0,943342
9	AD	T <sup>4</sup> 4	0,003211	0,007919	0,119287	0,935302	0,851955	0,000172	0,000172	0,022993	0,022993	0,998041	0,001442	0,001491	0,024905	0,293799	0,141897
10	AD	T <sup>5</sup> 5	0,004535	0,011819	0,201099	0,997311	0,981412	0,000172	0,000172	0,148795	0,998041	0,001975	0,002049	0,041549	0,499342	0,251307	
11	R	T <sup>1</sup> 1	0,999987	0,740524	0,032053	0,003774	0,004569	0,783338	0,651604	0,006376	0,001442	0,001975	1,000000	0,000173	0,000172	0,000172	0,000172
12	R	T <sup>2</sup> 2	0,999997	0,769274	0,033934	0,003935	0,004772	0,810667	0,681444	0,006676	0,001491	0,002049	1,000000	0,000174	0,000172	0,000172	0,000172
13	R	T <sup>3</sup> 3	0,192006	0,696333	0,972806	0,113685	0,151213	0,651604	0,783338	0,243518	0,024905	0,041549	0,000173	0,000174	0,001769	0,035231	
14	R	T <sup>4</sup> 4	0,017289	0,062116	0,972806	0,935748	0,984168	0,056735	0,074611	0,999845	0,293799	0,499342	0,000172	0,000172	0,001769	0,922775	
15	R	T <sup>5</sup> 5	0,032512	0,126983	0,999991	0,644151	0,776334	0,115492	0,153638	0,943342	0,141897	0,251307	0,000172	0,000172	0,035231	0,922775	

Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para los sólidos totales en suspensión.

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,005251	1	0,005251	14,54417	0,018880
zona	0,000332	2	0,000166	0,45992	0,661025
Error	0,001444	4	0,000361		
R1	0,001701	4	0,000425	1,77751	0,182723
R1*zona	0,001494	8	0,000187	0,78080	0,625798
Error	0,003827	16	0,000239		

Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para los sólidos totales volátiles.

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,311566	1	0,311566	7268,332	0,000000
zona	0,000056	2	0,000028	0,654	0,568042
Error	0,000171	4	0,000043		
R1	0,063707	4	0,015927	302,575	0,000000
R1*zona	0,000406	8	0,000051	0,965	0,495097
Error	0,000842	16	0,000053		

Test de Tukey para los sólidos en suspensión volátiles.

Tukey HSD test; variable DV_1 (ANOVA STATISTICA) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MS = ,00005, df = 19.882																		
Cell No.	zona	R1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	
1	AA	SV T1	,11143	,11393	,12728	,00555	,13150	,10790	,11050	,11243	,01425	,13110	,11183	,10915	,11175	,01163	,13100	
2	AA	SV T2	1,000000	1,000000	0,671129	0,000172	0,348320	1,000000	1,000000	1,000000	0,000154	0,337249	1,000000	1,000000	1,000000	0,000154	0,229832	
3	AA	SV T3	0,671129	0,850866		0,000172	0,532030	0,999840	1,000000	1,000000	0,000154	0,532701	1,000000	0,999969	1,000000	0,000154	0,408059	
4	AA	SV T4	0,000172	0,000172	0,000172		0,000172	0,999998	0,358276	0,566846	0,729649	0,000154	0,999999	0,554810	0,325008	0,547013	0,000154	0,999999
5	AA	SV T5	0,348320	0,532030	0,999998	0,000172		0,136447	0,254051	0,380203	0,000154	1,000000	0,224493	0,108694	0,219811	0,000154	1,000000	
6	AD	SV T1	1,000000	0,999840	0,358276	0,000154	0,136447		1,000000	0,999994	0,000172	0,183911	0,999997	1,000000	0,999998	0,000154	0,087483	
7	AD	SV T2	1,000000	1,000000	0,566846	0,000154	0,254051	1,000000		1,000000	0,000172	0,315246	1,000000	1,000000	1,000000	0,000154	0,181007	
8	AD	SV T3	1,000000	1,000000	0,729649	0,000154	0,380203	0,999994	1,000000		0,000172	0,446588	1,000000	1,000000	1,000000	0,000154	0,292980	
9	AD	SV T4	0,000154	0,000154	0,000154	0,993014	0,000154	0,000172	0,000172	0,000172	0,000172		0,000172	0,000154	0,000154	0,000154	1,000000	0,000154
10	AD	SV T5	0,337249	0,532701	0,999999	0,000154	1,000000	0,183911	0,315246	0,446588	0,000172		0,248119	0,121815	0,243073	0,000154	1,000000	
11	R	SV T1	1,000000	1,000000	0,554810	0,000154	0,224493	0,999997	1,000000	1,000000	0,000154	0,248119		1,000000	1,000000	0,000172	0,173114	
12	R	SV T2	1,000000	0,999969	0,325008	0,000154	0,108694	1,000000	1,000000	1,000000	0,000154	0,121815	1,000000		1,000000	0,000172	0,080524	
13	R	SV T3	1,000000	1,000000	0,547013	0,000154	0,219811	0,999998	1,000000	1,000000	0,000154	0,243073	1,000000	1,000000		0,000172	0,169234	
14	R	SV T4	0,000154	0,000154	0,000154	0,999513	0,000154	0,000154	0,000154	0,000154	0,000154	1,000000	0,000172	0,000172	0,000172		0,000172	
15	R	SV T5	0,229832	0,408059	0,999999	0,000154	1,000000	0,087483	0,181007	0,292980	0,000154	1,000000	0,173114	0,080524	0,169234	0,000172		

Resultados del análisis de varianza de dos vías, zona y tiempo de muestreo (R1 medidas repetida) para la concentración de fosfatos.

Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA STATISTICA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,000366	1	0,000366	23,72480	0,008215
zona	0,000017	2	0,000009	0,55651	0,612020
Error	0,000062	4	0,000015		
R1	0,000094	4	0,000024	7,20496	0,001621
R1*zona	0,000026	8	0,000003	0,97644	0,487713
Error	0,000052	16	0,000003		

## Test de Tukey para la concentración de fosfatos.

Tukey HSD test; variable DV_1 (ANOVA STATISTICA)																	
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests																	
Error: Between; Within; Pooled MS = .00001, df = 11,590																	
Cell No.	zona	R1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}
1	AA	P T1	.00075	0.869811	1.000000	0.977806	0.977806	0.987417	0.664128	1.000000	0.997477	0.999990	1.000000	0.159845	1.000000	0.715793	0.937143
2	AA	P T2	0.869811		0.919139	1.000000	1.000000	1.000000	0.999739	0.993984	1.000000	0.999941	0.996896	0.811501	0.989897	0.999993	1.000000
3	AA	P T3	1.000000	0.919139		0.990719	0.990719	0.993984	0.720396	1.000000	0.999104	0.999999	1.000000	0.187836	1.000000	0.774779	0.962174
4	AA	P T4	0.977806	1.000000	0.990719		1.000000	1.000000	0.993984	0.999739	1.000000	1.000000	0.999946	0.633019	0.999561	0.998964	1.000000
5	AA	P T5	0.977806	1.000000	0.990719	1.000000		1.000000	0.993984	0.999739	1.000000	1.000000	0.999946	0.633019	0.999561	0.998964	1.000000
6	AD	P T1	0.987417	1.000000	0.993984	1.000000	1.000000		0.990719	0.977806	1.000000	0.999842	0.998964	0.755559	0.995714	0.999946	1.000000
7	AD	P T2	0.664128	0.999739	0.720396	0.993984	0.993984	0.990719		0.420178	0.954802	0.735483	0.774779	0.998471	0.695394	1.000000	0.999727
8	AD	P T3	1.000000	0.993984	1.000000	0.999739	0.999739	0.977806	0.420178		0.996834	0.999999	1.000000	0.220015	1.000000	0.828870	0.979295
9	AD	P T4	0.997477	1.000000	0.999104	1.000000	1.000000	1.000000	0.954802	0.996834		0.999999	0.999946	0.633019	0.999561	0.998964	1.000000
10	AD	P T5	0.999990	0.999941	0.999999	1.000000	1.000000	0.999842	0.735483	0.999999	0.999999		1.000000	0.394738	1.000000	0.968700	0.999561
11	R	P T1	1.000000	0.996896	1.000000	0.999946	0.999946	0.998964	0.774779	1.000000	0.999946	1.000000		0.022273	1.000000	0.498599	0.908203
12	R	P T2	0.159845	0.811501	0.187836	0.633019	0.633019	0.755559	0.998471	0.220015	0.633019	0.394738	0.022273		0.014661	0.815745	0.377956
13	R	P T3	1.000000	0.989897	1.000000	0.999561	0.999561	0.995714	0.695394	1.000000	0.999561	1.000000	1.000000	0.014661		0.377956	0.815745
14	R	P T4	0.715793	0.999993	0.774779	0.998964	0.998964	0.999946	1.000000	0.828870	0.998964	0.968700	0.498599	0.815745	0.377956		0.999909
15	R	P T5	0.937143	1.000000	0.962174	1.000000	1.000000	1.000000	0.999727	0.979295	1.000000	0.999561	0.908203	0.377956	0.815745	0.999909	

## ANEXO III

### Material y métodos usados en laboratorio:

- **Determinación de sólidos en suspensión totales y volátiles:**

- Fundamento:

Los “sólidos en suspensión” hacen referencia al conjunto heterogéneo de sólidos que pueden llevar las aguas, y que en este caso proceden de arrastres y procesos erosivos derivados de un incendio forestal. Se realizará por el método propuesto en A.P.H.A (1989) y Vollenweider (1969).

- Determinación analítica: método de filtración:

Por cada muestra, se analizan dos filtros, por los que se hace pasar 500 ml de agua con ayuda de un dispositivo de filtración a vacío como se muestra en la imagen X. El contenido de sólidos será el que quede en el filtro y se determinará por diferencia de pesadas.

- Material

Para la determinación de los sólidos se han utilizado:

- Dispositivo de filtración a vacío: Para acelerar el proceso de filtración, consiste en un pequeño vaso donde se precipita el agua a filtrar, una goma donde se coloca el filtro, un vaso de precipitados donde cae el agua y otro de seguridad para evitar desbordamientos.
- Discos filtrantes de fibra de vidrio: Por los que hacer pasar el agua a filtrar y que contendrán los sólidos existentes en ella.
- Dispositivo de filtración a vacío: Bomba con la cual se acelera el proceso de filtración.
- Estufa: Para secar los filtros.
- Mufla: Para la determinación de los sólidos volátiles.
- Pinzas: Para manipular los filtros sin contaminarlos.
- Guantes: Para no contaminar las muestras
- Desecador: Donde guardar y dejar enfriar los filtros para evitar que cojan humedad.
- Cápsulas: Donde depositar los filtros. Deben estar numeradas para evitar errores.

- Procedimiento

En primer lugar, se preparan los filtros. Para ello, se debe filtrar por ellos unos 400 ml de agua destilada y dejar secando durante dos horas a 105° C en la estufa.

Posteriormente se dejan enfriar en el desecador y se pesan, este peso inicial será el peso  $M_0$ .

A continuación, se filtra el agua de muestra, que debe estar agitada para que los sólidos no se acumulen al fondo y se puedan falsear los resultados. La filtración se realiza con 500 ml de la muestra y se deposita en la misma cápsula. Se introduce el filtro de nuevo en la estufa a 105°C siguiendo el mismo procedimiento anterior. Se vuelve a pesar, este será el peso  $M_1$ . El agua recogida en el matraz se guarda en botellas ámbar y se conserva en frío para posteriormente realizar la analítica de ortofosfato.

Por último, los filtros se introducen en la mufla a 550 °C durante dos horas para que los sólidos orgánicos se volatilicen y podamos hallar los volátiles. Se realiza la última pesada tras dejar enfriar las muestras en el desecador y obtenemos el último peso o  $M_2$ .

- Expresión de los resultados:

El contenido de sólidos volátiles y en suspensión se calculará por las expresiones:

$$SST \text{ (mg/l)} = \frac{M_1 - M_0}{V \text{ (ml)}} * 10^6$$

$$SSV \text{ (mg/l)} = \frac{M_1 - M_2}{V \text{ (ml)}} * 10^6$$

Dónde:

$M_0$  = peso del disco filtrante antes de su utilización (en mg)

$M_1$  = peso del disco filtrante después del secado a 105°C (en mg)

$M_2$  = peso del disco filtrante después del secado a 550°C (en mg)

V = volumen de agua filtrado (en ml) = 500 ml

- **Determinación de fósforo en forma de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

- Fundamento:

El molibdato amónico y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar ácidos compuestos (fosfomolibdeno,...) de color amarillo, que por la acción reductora del ácido ascórbico se convierten en un complejo de molibdeno azul intensamente coloreado, cuya concentración, proporcional a la de ortofosfato inicial, se mide espectrofotométricamente.

- Procesamiento de la muestra

La muestra está procesada tras la determinación de sólidos, por lo que sólo hay que conservarla en frío y realizar el procedimiento tan pronto como sea posible.

- Preparación del material

Todo el material utilizado, tanto en el campo como en el laboratorio, debe estar tratado con ácido clorhídrico diluido al 50% a partir del comercial, durante 24 horas. Después ha de ser aclarado profundamente y finalmente se harán 3 enjuagues en agua destilada.

Además, se trabajará con guantes para evitar que el jabón utilizado para lavar las manos pueda contaminar la muestra.

- Reactivos y material

- Muestra filtrada
- Tubos de vidrio
- Gradillas
- Pipetas automáticas: P5000, P1000
- Puntas de pipeta
- Cubetas de plástico para el espectrofotómetro
- Espectrofotómetro
- Matraces aforados
- Vasos de vidrio
- Agitadores magnéticos
- Varillas agitadoras magnéticas
  
- Solución de molibdato amónico: pesar 3 g de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  y disolver en agua destilada enrasar a 100 ml y guardar en botella de plástico oscuro. No utilizar después de 6 semanas.
- Solución de Tartrato de Antimonio y Potasio: disolver 0,085 gramos de  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ , en aproximadamente 50 ml de agua destilada. Enrasar a 100 ml. No utilizar después de 6 semanas.
- Ácido sulfúrico diluido: añadir cuidadosamente por las paredes de la probeta, 15.55 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado a 100 ml de agua destilada.
- Solución de ácido ascórbico: disolver 0.54 gr de ácido ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) en 10 ml de agua destilada. Preparar inmediatamente antes de usar.
- Solución estándar de Fosfato: secar en estufa  $105^\circ\text{C}/1$  hora ortofosfato potásico dihidrogenado ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Dejar enfriar en desecador. Pesar 0,43937 g y disolverlos en agua destilada. Enrasar a 100 ml
- 

Esta solución contiene 1 g de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  por litro, ó 1 mg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  por ml, o 1000 ppm de  $\text{P-PO}_4^{3-}$ .

- Solución hija de Fosfato: pipetear 5 ml de la solución madre y llevarlos a 500 ml en matraz aforado. La solución hija resultante es de 10 ppm.
- Reactivo Mixto: preparar la cantidad necesaria cada vez que se realiza el análisis de las muestras e inmediatamente antes de usar. Se requiere 1 ml por muestra

incluyendo los puntos de la recta patrón. En un vaso de vidrio, mezclar los reactivos en el orden y proporciones que se indican:

Ácido sulfúrico diluido	25
Molibdato amónico	10
Ácido ascórbico	10
Tartrato de antimonio y potasio	<u>5</u>
	50 ml

Mezclar en un agitador magnético. El reactivo debe quedar de color amarillo. Si tomo color verdoso o azul es señal de que algún reactivo está en malas condiciones.

- Recta Patrón: se preparará una recta patrón con los siguientes valores: 0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,5 ppm; 1,0 ppm; 1,5 ppm. Se necesitarán 5 matraces aforados de 100 ml. Rotular los matraces con los valores de la recta patrón.

Agitar la solución hija y echar un poco en un vaso de vidrio; enjuagarlo con la solución. Echar aproximadamente 50 ml de solución hija en el vaso.

De esta solución hija pipeteamos 2 ml para el aforado de 0,2 ppm

5 ml	“	0,5 ppm
10 ml	“	1,0 ppm
15 ml	“	1,5 ppm

Enrasamos todos los matraces a 100 ml con agua destilada.

El patrón de 0,1 ppm se prepara a partir del de 1,0 ppm: enjuagamos un vaso de vidrio con el patrón de 1,0 ppm y luego echamos más para de ahí pipetear 10 ml para el aforado de 0,1 ppm.

Cuando todos los matraces están enrasados se tapan y se mezclan por volteo.

#### ○ Procedimiento

en una gradilla colocamos los tubos de vidrio y los rotulamos. Se necesitan 6 tubos: 1 para el blanco y los 5 puntos de la recta. De la muestra problema se harán dos réplicas y se tendrán tubos preparados por si es necesario hacer diluciones (total 8 tubos por muestra)

- Pipetear 5 ml de cada uno de los puntos de la recta patrón en cada tubo correspondiente

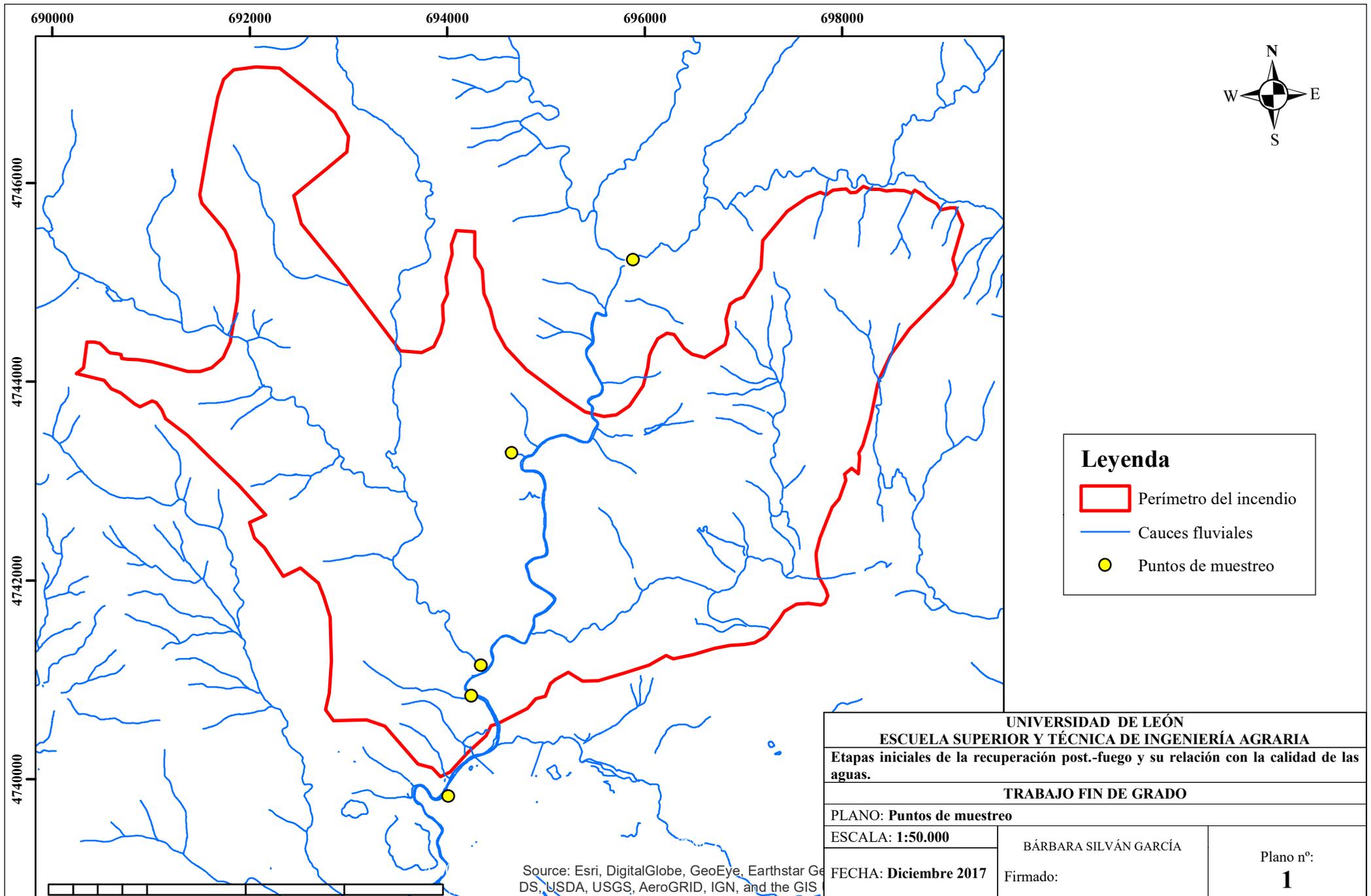
- Para las muestras pipetear 5 ml de la muestra (agitar antes de pipetear).
- El blanco se hace con 5 ml de agua destilada.
- Añadir 1 ml de reactivo mixto recién preparado en todos los tubos
- Dejar incubar de 2 min. a 2 horas.

Si se ve que la muestra da un color azul más intenso que el patrón de 1,5 ppm se puede hacer una dilución (2,5 ml de muestra + 2,5 ml de agua dest.).

Trascurrido el tiempo necesario se preparan las cubetas para la lectura en el espectro. La lectura se hace a 885 nm y se utilizan cubetas de cuarzo. Si el espectro es de doble haz se prepararán 2 cubetas de blanco para hacer el 0. En primer lugar se meten los puntos de la recta patrón y a continuación las muestras.

## **ANEXO IV**

### **Planos y mapa**



**Leyenda**

- Perímetro del incendio
- Cauces fluviales
- Puntos de muestreo

<b>UNIVERSIDAD DE LEÓN</b>		
<b>ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA AGRARIA</b>		
<b>Etapas iniciales de la recuperación post.-fuego y su relación con la calidad de las aguas.</b>		
<b>TRABAJO FIN DE GRADO</b>		
<b>PLANO: Puntos de muestreo</b>		
<b>ESCALA: 1:50.000</b>	BÁRBARA SILVÁN GARCÍA	Plano n°: <b>1</b>
<b>FECHA: Diciembre 2017</b>		

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNR AeroGlobe, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

