

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

## “Efectos en el suelo del incendio forestal de Carcaixent del 2016”

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Autor:**

Alexander Serna Velásquez

**Tutores:**

Cristina Lull Noguera

Josep Vicent Llinares Palacios

**GANDIA, 2017**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mis profesores tutores por su empeño, dedicación y sobre todo por los consejos recibidos durante la realización de este trabajo.

A Elizabeth mi adorada esposa por su paciencia y apoyo en todo momento, a Aaron mi hijo.

Finalmente a mi compañero de carrera Borja Moratal por su grata compañía y disposición durante todo el curso.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1 Los incendios forestales en el mediterráneo .....	2
1.2 Consecuencias de los incendios forestales y las propiedades edáficas .....	3
1.3 Descripción del incendio forestal de Carcaixent de junio de 2016 .....	5
2. Justificación y objetivos.....	7
3. Materiales y métodos .....	8
3.1. Descripción de la zona de estudio .....	8
3.1.1 Localización .....	8
3.1.2 Climatología.....	8
3.1.3 Geología.....	12
3.1.4 Hidrogeología .....	13
3.1.5 Edafología.....	13
3.1.6 Vegetación.....	14
3.2. Metodología de trabajo .....	15
3.2.1 Localización de las zonas de muestreo .....	15
3.2.2 Material empleado para el muestreo en campo .....	18
3.2.3 Metodología empleada en el laboratorio.....	18
4. Resultados y discusión .....	24
4.1 Análisis de las propiedades del suelo .....	25
4.1.1. Textura .....	25
4.1.2. Color .....	25
4.1.3. Carbonatos .....	26
4.1.4. pH.....	26
4.1.5. Conductividad eléctrica (Prueba previa de salinidad) .....	27
4.1.6. Materia orgánica .....	28
4.1.7. Extracto de pasta saturada .....	29
4.1.8 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	29
4.1.9 Bases de cambio .....	30
4.2 Análisis de las propiedades de las cenizas .....	31
4.2.1. pH.....	31
4.2.2. Conductividad eléctrica .....	31
4.2.3. Color .....	32
4.2.4. Materia orgánica total .....	32
4.2.5. Repelencia al agua (hidrofobicidad) .....	33

4.2.6. Carbonatos .....	33
4.2.7. Extracto de pasta saturada .....	34
5. Conclusiones .....	35
6. Bibliografía .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros del suelo que pueden llegar a ser modificados por un incendio forestal. Fuente: elaboración propia.....	3
Figura 2. Alteraciones en el flujo de nutrientes desde el complejo de cambio por efecto del fuego. Fuente: elaboración propia.....	5
Figura 3. Variación de las temperaturas año (2015-2016). Fuente: elaboración propia. ....	11
Figura 4. Representación gráfica Diagrama de Gaussen. Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: Mapa geológico de España hoja 770 (29-30) Alzira. IGME .....	12
Figura 6. Mapa Hidrogeológico zona de estudio. Fuente: Terrasit, 2017. ....	13
Figura 7. Mapa localización zona de estudio. Fuente: www.google Earth Pro. ....	15
Figura 8. Punto de recogida de la muestra 1 (coordenadas: N 39° 5' 6,8", O 0° 21' 17,2").....	16
Figura 9. Punto de recogida de la muestra 2 (coordenadas: N 39° 5' 6,9", O 0° 21' 17,4").....	16
Figura 10. Punto de recogida de la muestra 3 (coordenadas: N 39° 5' 7,5", O 0° 21' 17,4").....	17
Figura 11. Punto de recogida de la muestra 4 (coordenadas: N 39° 5' 7,4", O 0° 21' 17,5").....	17
Figura 12. Punto de recogida de la muestra 5 (coordenadas (N 39° 5' 7", O 0° 21' 16,1").....	18
Figura 13. Análisis realizados en las cenizas y suelos. ....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie afectada por el incendio de Carcaixent de 2016. Fuente: CAMACCDR, 2017. ....	6
Tabla 2. Datos climatológicos de la zona obtenidos de la estación de Tavernes de la Vallidigna (V06). Fuente: SIAR, 2017. ....	9
Tabla 3. Clasificación bioclimática e índices climáticos de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. ....	10
Tabla 4. Clasificación biogeográfica de zonas en la Comunidad Valenciana. Fuente: Rivas-Martínez, 1987. ....	14
Tabla 5. Especies vegetales encontradas en el área de estudio. Fuente: elaboración propia. ....	14
Tabla 6. Efectos de la temperatura (°C) sobre los suelos orgánicos. Fuente: Powers et al., 1990. ....	25
Tabla 7. Textura de los suelos analizados. ....	25
Tabla 8. Color del suelo según Tabla Munsell. ....	26
Tabla 9. Porcentaje de contenido en carbonatos de las muestras de suelo analizadas. ....	26
Tabla 10. pH inicial muestras de suelo. ....	27
Tabla 11. Interpretación de la conductividad eléctrica (prueba previa). Fuente Shaw et al. (1999). ....	27
Tabla 12. Valores de Conductividad eléctrica (CE), prueba previa de salinidad. ....	28
Tabla 13. Porcentaje de carbono orgánico y materia orgánica de los suelos analizados. ....	28
Tabla 14. Parámetros analizados en el extracto de pasta saturada del suelo. ....	29
Tabla 15. Capacidad de intercambio catiónico de los suelos analizados. ....	30
Tabla 16. Bases de cambio en las muestras de suelo. ....	30
Tabla 17. pH de las muestras de ceniza analizadas. ....	31
Tabla 18. Conductividad eléctrica de las muestras de cenizas. ....	32
Tabla 19. Color de las cenizas Tablas Munsell. ....	32
Tabla 20. Carbono orgánico total (COT) ....	32
Tabla 21. Grado de persistencia en las muestras de cenizas. ....	33
Tabla 22. Carbonatos en las muestras de cenizas. ....	33
Tabla 23. Cationes del extracto de pasta saturada de las cenizas. ....	34

## Resumen

El suelo es un componente básico del ecosistema forestal. Los incendios constituyen una amenaza para los suelos. Tras un incendio puede sufrir cambios en sus propiedades físicas y químicas afectando a su fertilidad física, química y biológica. En este trabajo se estudiaron los efectos en el suelo del incendio forestal de Carcaixent de 2016. Se recogieron cinco muestras de suelo de las cuales cuatro fueron de suelo quemado y una de suelo sin quemar (muestra control), también se recogieron cuatro muestras de cenizas correspondientes a los suelos quemados. Se llevó a cabo la determinación en los suelos de los parámetros físicos y químicos considerados más importantes. En las muestras de suelo se analizó: textura, color, carbonatos, pH, conductividad eléctrica (prueba previa de salinidad), materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y bases de cambio. En las cenizas se analizaron: pH, conductividad eléctrica, color, materia orgánica total, repelencia al agua (hidrofobicidad), carbonatos. Se pudo observar un ligero incremento del carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica y contenido en arena y limo del suelo. Las muestras de ceniza presentaron ligera hidrofobicidad, un pH y una conductividad eléctrica elevada, con gran contenido en carbonato cálcico generando unas cenizas alcalinas, por lo que aportaran al suelo nutrientes por lixiviación.

Palabras clave: Incendio forestal, suelo, materia orgánica, nutrientes, ecosistemas mediterráneos.

## Abstract

Soil is a basic component of the forest ecosystem. Forest fires are a threat to the soil. After a fire, soil chemical and physical properties may experience changes affecting its physical, chemical and biological fertility. In this work, the soil effects of the Carcaixent forest fire of 2016 were studied. Five soil samples were collected, four of which were of burned soil and one was of unburned soil (control sample), also four ash samples corresponding to burned soils were collected. Soil determination of the physical and chemical parameters considered most important was carried out. The soil samples were analysed for texture, colour, carbonates, pH, electrical conductivity (pre-salinity test), organic matter, saturated soil-paste extract, cation-exchange capacity and exchangeable bases. In the ashes were analyzed: pH, electrical conductivity, colour, total organic matter, water repellency (hydrophobicity), carbonates, saturated paste extract. A slight increase of the organic carbon, pH, electrical conductivity and content in sand and silt of the soil could be observed. The ash samples presented slight hydrophobicity, a high pH and a high electrical conductivity, with a great content of calcium carbonate generating alkaline ash, so that nutrients would be added to the soil by leaching.

Key words: Forest fire, soil, organic matter, nutrients, Mediterranean ecosystems.

# 1. Introducción

Los ecosistemas terrestres siempre han tenido al fuego como factor ecológico natural, el fuego ha dado forma a los diferentes biomas del planeta. Desde las extensas praderas y sabanas donde el fuego se repite año tras año, hasta las taigas y selvas lluviosas tropicales donde pasan decenios, siglos sin que se generen incendios. Sin fuego los ecosistemas serían otros (Bond y Keeley, 2005). La humanidad supo acostumbrarse al fuego, haciendo uso del mismo como herramienta para aclarar cultivos, abrir pastos, cazar, para agilizar ciclos biogeoquímicos y fundamentalmente para incrementar la diversidad. Sin embargo, también se conoce la parte negativa del fuego sin control y los estragos que éste puede llegar a ocasionar. En este último sentido, la población ve el fuego como un factor negativo a eliminar.

El fuego se compone de tres elementos básicos: calor, combustible y oxígeno. Para que la ignición se produzca tienen que estar presentes los tres elementos, faltando uno no se generaría el fuego. Teniendo en cuenta que son elementos que abundan en la superficie terrestre, el riesgo de que se presente un incendio es constante. Según las características que presente cada bioma, permitirá que la probabilidad de incendios sea mayor o menor, así como que el fuego continúe o no. Cada ecosistema presentará distintas características, de las cuales dependerá el régimen de incendios, permitiendo que la adaptación posterior de las plantas sea diversa.

Según Bond y Keeley (2005) no puede ser visto el fuego como ese gran herbívoro devastador de vegetación. El fuego es un agente fundamental en los procesos de sedimentación, así lo demuestra el periodo geológico del Carbonífero, y la fase geológica de las rocas. El fuego se debe percibir como factor clave de los procesos planetarios, al igual que el clima, el cual ha condicionado el desarrollo de los biomas, la propagación y evolución de las plantas, además de la formación de los ciclos hidrológico y erosivo como de los suelos.

Los incendios forestales afectan tanto a los ciclos biogeoquímicos, a la pérdida de suelo por erosión, a la infiltración del agua, a la pérdida inicial de biodiversidad, etc.; en síntesis, los incendios forestales afectan tanto a la vegetación como a los suelos y constituyen una de las perturbaciones más frecuentes que sufren los ecosistemas forestales en el área mediterránea

El equilibrio que durante años se ha conseguido en los ciclos biogeoquímicos se rompe cuando se genera un incendio forestal, debido a los cambios químicos y físicos sufridos por el suelo, y comienza una fase de cambio de los ecosistemas. Los cambios serán de degradación para algunos, sin embargo, para otros serán de recuperación.

Los incendios forestales alteran la superficie del suelo tanto por la eliminación de biomasa aérea como por las cenizas que se incorporan al suelo, así como también por el efecto de la temperatura sobre la materia orgánica del suelo y los organismos vivos del suelo. Todo esto condiciona los diferentes procesos hidrogeológicos y erosivos, influyendo en el ciclo del agua, generando cambios en los ecosistemas, modificando el proceso de infiltración (Cerdá y Robichaud, 2009), alterando la generación de escorrentía, y transformando el comportamiento hidrofóbico/hidrofílico del suelo (Doerr



et al., 2000). Muchos de los cambios que provocan los procesos erosivos son la formación de terrazas, los deltas, llanos aluviales, las laderas, así como diversas formas terrestres. El transporte, traslado y sedimentación de los materiales es acelerado por el fuego, los ecosistemas terrestres se mantienen gracias a la actividad geomorfológica producida por esos materiales. Los geoformas o marcas que deja un incendio en el paisaje influirán en los subsiguientes procesos geomorfológicos. La transformación del paisaje y el fuego han estado siempre ligados (Moody y Martin, 2009).

## **1.1 Los incendios forestales en el mediterráneo**

Entre los factores más graves que amenazan el patrimonio forestal se encuentran los incendios forestales y muchas veces se convierten en amenaza tanto para las vidas humanas como para los bienes materiales. La media anual de incendios forestales en España se sitúa en 17.117 siniestros con una superficie afectada de 113.847,72 ha, estos datos reflejan la gravedad del problema, y se debe a que gran parte del territorio español presenta clima mediterráneo, además de seguir llevándose a cabo por parte de la población el uso tradicional de quema. El problema de los incendios forestales ocasiona un alto coste económico para las administraciones estatal, autonómica y local (MAPAMA, 2016)

La situación es compleja y está condicionada por el clima mediterráneo dominante, caracterizado por veranos prolongados, pues se extienden incluso después de octubre. Por otro lado, se encuentra la escases de lluvia y las altas temperaturas durante el día siendo en muchos casos superior a los 30 °C lo cual reduce la humedad de la materia vegetal muerta a menos del cinco por ciento. Con estas condiciones cualquier foco de calor (una cerilla, un rayo, una colilla, una chispa) pueden dar inicio a un incendio.

En verano el mediterráneo está bajo la influencia de los anticiclones subtropicales secos que se retiran en invierno hacia latitudes más bajas dejando paso a las borrascas atlánticas de latitudes templadas. Los ecosistemas mediterráneos cuentan con un clima de transición entre el régimen templado oceánico y tropical seco, se caracteriza por que coincide la época seca con la cálida. Estas características hacen que los ecosistemas mediterráneos sean idóneos para los incendios forestales favoreciendo su aparición y expansión (Arianoutsou et al., 1993).

El mediterráneo ha tenido el fuego presente como fenómeno natural incluso antes de que existiera el hombre, siendo los fenómenos naturales los causantes de los incendios entre ellos las erupciones volcánicas, así como los rayos eléctricos que se generaban durante las tormentas. En el plioceno fueron los incendios junto al clima los factores que contribuyeron a configurar la vegetación mediterránea. El mayor impacto por el uso del fuego se presentó durante el Neolítico. Al convertirse el hombre en ganadero y agricultor, necesitó de amplias zonas para pastos y cultivo, lo cual consiguió haciendo quemadas descontroladas (Bond y Keeley, 2005; Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

La utilización del fuego en territorio valenciano, según estudios palinológicos y arqueológicos realizados demuestran que empieza desde hace al menos 7.000 años. Antes de ser utilizado el fuego como herramienta, predominaba en el bosque

mediterráneo especies como *Quercus ilex* y *Quercus faginea*, y en las laderas el *Pinus sp.* Con la instalación de los agricultores en las zonas llanas y fértiles, donde se encontraban los *Quercus sp.* Se vió disminuida su presencia debido al aprovechamiento que tuvo por su alto valor como energía calorífica, beneficiando la expansión de *Pinus halepensis*, que aprovechó las zonas de cultivo abandonadas y que se fue potenciando por la repoblación forestal con esta especie (Carrión y Dupré, 1996; Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

## 1.2 Consecuencias de los incendios forestales y las propiedades edáficas

Tras un incendio forestal el suelo queda afectado de forma directa por el intenso calor recibido, pero también de forma indirecta por su posterior alteración. Los suelos sufren cambios temporales y espaciales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Los cambios serán más o menos perjudiciales dependiendo de múltiples factores, entre ellos la severidad e intensidad con que el fuego afecte al suelo (Figura 1). Los suelos responden de distinta manera ante estos factores, con lo cual la vulnerabilidad a la degradación será distinta en cada uno de los diferentes suelos.

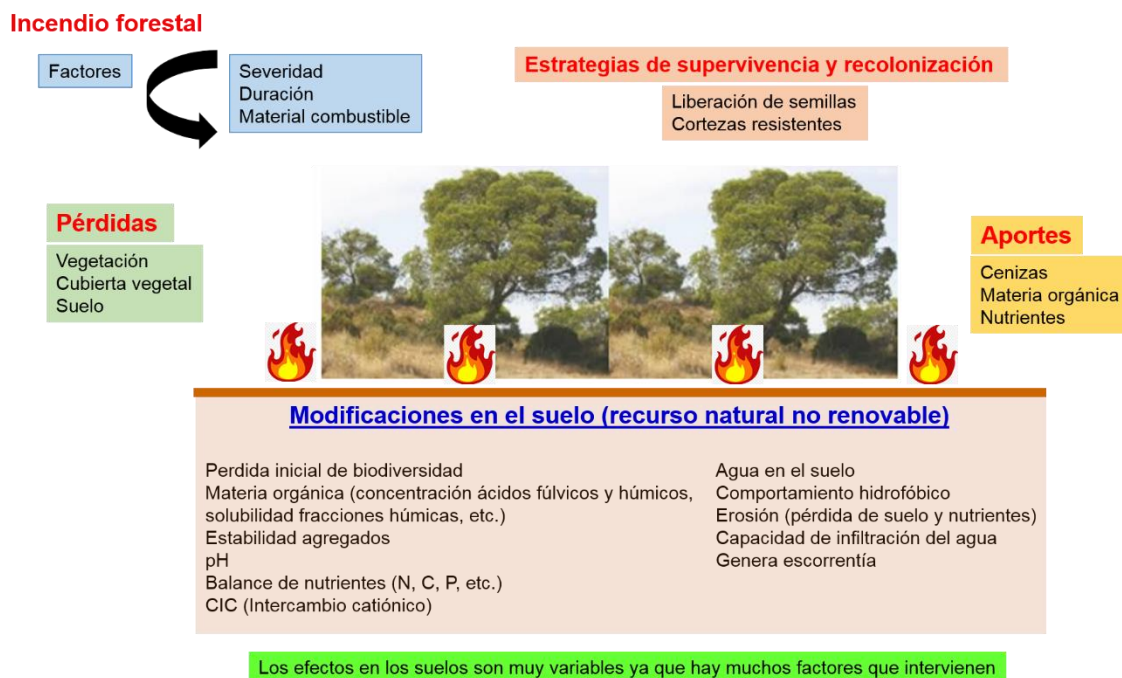


Figura 1. Parámetros del suelo que pueden llegar a ser modificados por un incendio forestal. Fuente: elaboración propia.

Cuando un suelo se ve afectado por fuego de alta intensidad, gran parte de la materia orgánica del suelo se consume, aparte de los cambios cuantitativos, cualitativamente la materia orgánica que queda sufre importantes transformaciones (Mataix-Solera et al., 2002).

De las propiedades edáficas de un suelo (capacidad de retención hídrica, infiltración, estabilidad de agregados, porosidad, reservorio de nutrientes, etc.) la fracción orgánica desempeña un papel fundamental en el suelo, de las transformaciones que sufra ésta fracción orgánica dependerá el cambio en muchas otras propiedades. Los fuegos intensos afectan directamente a la materia orgánica del suelo generando la desestabilización de los agregados y permitiendo que el suelo se erosione fácilmente. Este fenómeno suele presentarse en suelos que dependen exclusivamente de la materia orgánica del suelo para la agregación de partículas.

Las variaciones que presentan las propiedades químicas y físicas del suelo son producto del calentamiento que sufre este durante el incendio. Con el aporte de cationes básicos, carbonatos y los óxidos procedentes de las cenizas, la conductividad eléctrica y el pH aumentan. El tiempo de permanencia de las cenizas en el suelo determinará el tiempo de recuperación del pH inicial del suelo (Mataix-Solera y Guerrero, 2007). Por otro lado las cenizas generan un aumento notorio de nutrientes en el suelo (Mg, P, Na, Ca, K), siendo para los ecosistemas mediterráneos uno de los factores más importantes en el crecimiento de la vegetación (Kutiel y Naveh, 1987a). Muchos de estos nutrientes se volatilizan, o se van con el humo del fuego. La lluvia, la erosión, el viento hacen que estos nutrientes se laven y más cuando no existe vegetación, varios investigadores afirman que la fertilización del suelo puede durar de 4-5 meses (Kutiel y Naveh, 1990), hasta 14 meses (Kutiel y Naveh, 1987a) o incluso hasta 7 años (Úbeda et al., 2005).

Durante la combustión se pierde gran cantidad de nitrógeno, elemento que se presenta como característica una volatilidad fácil. Los ecosistemas mediterráneos por encontrarse en una zona semiárida presentan limitación de nitrógeno, con el paso de un incendio forestal suele aumentar el nitrógeno disponible en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) (Kutiel y Naveh, 1987b; Giovannini et al., 1990). Los meses siguientes después del incendio, algunas especies leguminosas fijadoras como *Ulex parviflorus* así como algunos microorganismos producen un aumento de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en el suelo (Arianoutsou et al., 1993; Neary et al., 1999; Raison et al., 2009).

Los resultados de carbono orgánico suelen ser variados y complejos, dependiendo de la intensidad del incendio. Cuando la intensidad es elevada puede reducir considerablemente la cantidad de materia orgánica en la superficie del suelo. Diversas pruebas realizadas en laboratorio indican que, si se calienta el suelo a 450 °C durante dos horas o a 500 °C media hora, se llega a eliminar hasta un 99% de materia orgánica (Knoepp et al., 2005). Lo contrario sucede cuando se presentan incendios de baja intensidad, en este caso gracias al carbono orgánico procedente de la vegetación parcialmente pirolizada suele presentarse incremento de la materia orgánica de la superficie del suelo. Además de modificar la cantidad de materia orgánica del suelo, el fuego también modifica su calidad, acelerando las tasas de mineralización del carbono orgánico y modificando las tasas de descomposición una vez pasado el incendio. Esto se debe a que, con el aumento de la temperatura, también se generan cambios en el humus haciéndose resistente a la degradación microbiana (Knoepp et al., 2005).

La temperatura que alcanza un suelo influye en la repelencia al agua o hidrofobia que puede disminuir o verse aumentada. Si el suelo presenta valores de temperatura entre 200 y 250 °C aumenta la hidrofobia, si la temperatura es superior a 300 °C la elimina (DeBano, 1981). La razón por la que el suelo puede ser más o menos hidrofóbico depende de las sustancias orgánicas volatilizadas en la combustión y que

posteriormente se condensan. Lo suelos más propensos a presentar hidrofobia son los suelos ácidos que tengan textura arenosa (Mataix-Solera y Doerr, 2004).

El efecto que genera el aumento de la hidrofobia en un suelo influye en la hidrología del suelo como consecuencia de la disminución de materia orgánica y de la porosidad al sellarse el suelo por las cenizas o partículas minerales, además de reducirse la estabilidad de los agregados por la pérdida de la cubierta vegetal (MacDonald et al., 2008). También de acuerdo con Hyde et al. (2007), el fuego consume parte de los sistemas radiculares y por tanto contribuye a la pérdida de cohesión del suelo.

En la Figura 2 se describe de forma esquemática el efecto que produce el fuego directamente sobre el complejo de cambio del suelo. Zornoza et al. (2007) observan que en los casos en los que hay un descenso del contenido de materia orgánica suele descender también la capacidad de intercambio catiónico. El complejo adsorbente no podrá retener todos los cationes liberados, al estar el suelo desnudo y presentarse las primeras lluvias, los cationes son fácilmente lixiviados hacia horizontes más profundos dando como resultado un suelo pobre en nutrientes.

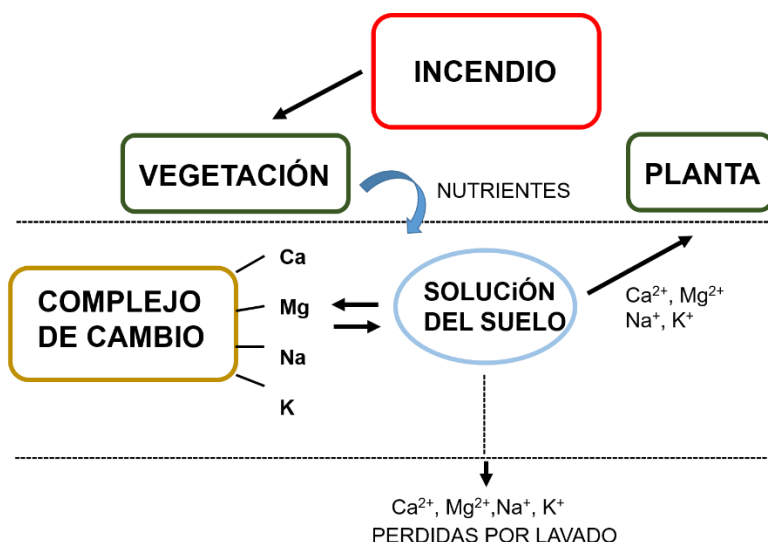


Figura 2. Alteraciones en el flujo de nutrientes desde el complejo de cambio por efecto del fuego. Fuente: elaboración propia.

### 1.3 Descripción del incendio forestal de Carcaixent de junio de 2016

El incendio se inició sobre las 17:00 horas del día 16 de junio y quemó aproximadamente 2.210 ha de terreno forestal. El incendio se propagó de forma muy rápida y virulenta debido a las condiciones meteorológicas (CAMACCCR, 2017), afectando a cuatro municipios: Carcaixent, Simat de la Vallidigna, Alzira y Xàtiva.

Como se observa en la Tabla 1, el municipio que mayor superficie afectada presentó fue Carcaixent con 1.951 ha de superficie quemada.

Tabla 1. Superficie afectada por el incendio de Carcaixent de 2016. Fuente: CAMACCCR, 2017.

<b>Término municipal</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>%</b>
<b>Carcaixent</b>	1.951,0	88,26
<b>Simat de la Valldigna</b>	238,0	10,77
<b>Alzira</b>	14,4	0,65
<b>Xàtiva</b>	7,1	0,32
<b>Total</b>	2.210,5	100

El incendio forestal de junio del año 2016, no ha sido el único gran incendio que se ha presentado en el municipio de Carcaixent, en el han ocurrido con anterioridad dos grandes incendios uno en el año 1981 y otro en 1991. Toda la superficie quemada en el año 2016 ya se había quemado con anterioridad, básicamente en los grandes incendios de 1981 y 1991. Así, el 78% de la superficie se había quemado 2 veces antes del actual incendio, y un 10% tres veces o más desde 1981. Únicamente 130 ha del incendio de 2016 no se habían visto afectadas por incendios previos (menos del 5 % de la superficie total). Es de destacar que el perímetro afectado por el incendio de 2016 coincide en un 93% con la superficie afectada por el incendio de 1981, y en un 94% con la del incendio de 1991. (Según el informe sobre el impacto del incendio forestal de Carcaixent 2016 realizado por la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).

La superficie quemada es en su mayoría forestal, con una baja presencia de enclavados agrícolas significativos. La interfaz urbano-forestal está localizada mayoritariamente en las laderas próximas a la urbanización La Vall d'Aigües Vives.

Con relación a la vegetación afectada, cabe destacar que la vegetación potencial de todo el territorio se corresponde con encinares termomediterráneos basófilos de *Quercus rotundifolia* (*Rubio longifoliae-Querceto rotundifoliae sigmetum*) (serie 27c de Rivas Martínez), sin embargo, en el momento del incendio las comunidades vegetales estaban lejos de su potencial, con ausencia prácticamente total de encina en todo el territorio. La inmensa mayoría del territorio estaba constituido por matorrales dominados por especies germinadoras (Cartografía PATFOR, Generalitat Valenciana).

## **2. Justificación y objetivos**

Después de un incendio forestal lo más importante es adoptar medidas de recuperación de la zona devastada, es fundamental conocer cómo han sido afectadas las propiedades fisicoquímicas de los suelos, ya que el posterior desarrollo de la vegetación estará ligado con la fertilidad.

Por lo tanto, conocer la evolución post-incendio y los factores que determinan los cambios en las cenizas es fundamental para la evolución del ecosistema suelo ya que los procesos erosivos e hidrológicos están íntimamente relacionados con el comportamiento de las cenizas.

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar el efecto del incendio forestal de Carcaixent de junio del 2016 sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para ello se tomaron muestras tanto de suelo incendiado, como no incendiado (control). Y así se podrá comparar los efectos producidos por el fuego en estas zonas.

## **3. Materiales y métodos**

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

#### **3.1.1 Localización**

La zona de estudio se sitúa en el municipio de Carcaixent provincia de Valencia (España). Se trata de una zona boscosa cercana a la zona residencial urbanización convento de aguas vivas, y del Hospital Nisa Aguas Vivas.

El municipio de Carcaixent limita con las localidades de Alberic, Alzira, Benifairó de la Vallidigna, Benimuslem, Xàtiva, Pobla Llarga, Rafelguaraf, Simat de la Vallidigna y Vilanova de Castelló, todas pertenecientes a la provincia de Valencia.

Tiene una altitud de 21 m s.n.m., su superficie es de 59,3 km<sup>2</sup>, donde se encuentran diversos núcleos de población como son: la pedanía de Cogullada, y la pedanía de La Barraca de Agües Vives. El núcleo de Carcaixent se divide en cuatro barrios: Santa Bárbara, Les Barraques, La Montanyeta y Els Quatre Camins. También se encuentran otros núcleos de población que no están tan consolidados como son las distintas urbanizaciones entre las que se encuentran: San Blai, Tir de Colom y Puig Gros.

El término municipal se sitúa entre la margen derecha del río Júcar, el valle de Aguas Vivas y las Montañas del Convento.

Desde el punto de vista biogeográfico, el término municipal está situado en el límite septentrional de los territorios del subsector Alcoyano-Diánico (sector setabense, provincia Catalano-Valenciano-Provenzal) (De la Torre et al., 1996).

#### **3.1.2 Climatología**

Para la obtención de los datos meteorológicos se utilizó por cercanía a la zona de estudio la estación meteorológica de Tavernes de la Vallidigna (V06), ubicada en el municipio de Tavernes de la Vallidigna según las coordenadas UTM X: 738862, UTM Y 4330980 y con una altitud de 15 m s.n.m. Se utilizaron datos climáticos de un periodo de 18 años, comprendido entre el año 1999 y 2016, ambos inclusive obteniéndose los datos del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR).

Climáticamente, se caracteriza por la combinación de suaves temperaturas, y un termotipo Termomediterráneo, con nivel elevado y constante de humedad ambiental, presenta zonas montañosas como el Realenc y la Serratella las cuales aíslan al municipio de la influencia del mar, el río Júcar atraviesa el término municipal de norte a oeste. La Tabla 2 recoge los datos climatológicos de la zona de estudio.

Tabla 2. Datos climatológicos de la zona obtenidos de la estación de Tavernes de la Valldigna (V06). Fuente: SIAR, 2017.

MES	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad media (%)	Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Evapotranspiración potencial (Penman-Monteith)
<b>Enero</b>	9,14	23,74	-2,07	72,82	8,21	51,31	30,60
<b>Febrero</b>	10,12	24,21	-1,08	70,14	10,47	31,54	38,22
<b>Marzo</b>	12,51	27,89	-0,75	68,12	14,77	56,01	69,59
<b>Abril</b>	15,28	30,92	3,34	67,76	18,77	53,35	98,26
<b>Mayo</b>	18,79	35,28	7,01	67,72	22,27	56,18	127,42
<b>Junio</b>	23,12	38,17	10,97	66,45	25,13	14,92	157,67
<b>Julio</b>	25,64	40,65	14,48	68,53	24,56	4,69	166,06
<b>Agosto</b>	25,29	39,99	15,28	70,61	21,55	19,54	145,58
<b>Septiembre</b>	22,01	36,90	10,75	73,77	16,85	72,60	97,90
<b>Octubre</b>	18,04	32,32	7,00	76,68	11,98	80,23	62,29
<b>Noviembre</b>	12,26	26,65	1,08	75,30	8,52	82,44	34,05
<b>Diciembre</b>	9,40	23,32	-1,28	76,69	6,92	76,85	25,02
<b>Media</b>	16,83	31,67	5,39	71,22	15,83	<b>Total</b> 599,66	87,72



### 3.1.2.1 Índices climáticos y bioclimatología

A partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica de Tavernes de la Valldigna para el periodo (1999 al 2016) se han calculado los índices climáticos para su respectiva clasificación.

Índices climáticos	Valores	Clasificación
Índice pluviométrico de Lang	34,25	Zona árida
Índice de aridez Martonne	22,26	Cultivos de secano y olivar
Índice de Dantin- Revenga	2,91	Semiáridos
Índice de mediterraneidad	Im <sub>1</sub> :18; Im <sub>2</sub> :6,7; Im <sub>3</sub> :3	Mediterráneo
Índice de termicidad	380,5	Termomediterráneo superior
Clasificación Bioclimática UNESCO- FAO		Templado cálido – Invierno moderado

Tabla 3. Clasificación bioclimática e índices climáticos de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.2 Precipitación

En general durante el año se presenta poca precipitación, durante el periodo de estudio (1999 al 2016) la precipitación media anual fue de 599,66 mm. El mes más seco según la media anual se presentó en julio con 4,69 mm. Y el mes que mayor precipitación presentó fue noviembre con una media de 82,44 mm. En verano las precipitaciones son mínimas, se nota un incremento de precipitación con la llegada de la época otoñal, donde las lluvias aumentan considerablemente.

### 3.1.2.3 Temperatura

Durante el periodo de tiempo estudiado la temperatura media de todos los meses fue de 16,8 °C, siendo julio el mes más caluroso con 25,64 °C, y el más frío enero con 9,14 °C. Las temperaturas máximas superan los 20 °C, mientras que la mínima alcanza -0,75 °C.

Como se observa en la Figura 3, las temperaturas medias máximas más elevadas se presentan en los meses estivales, haciendo que la probabilidad de incendio sea más alta. Cabe recordar que más del 80% de los incendios en la Comunidad Valenciana son intencionados.

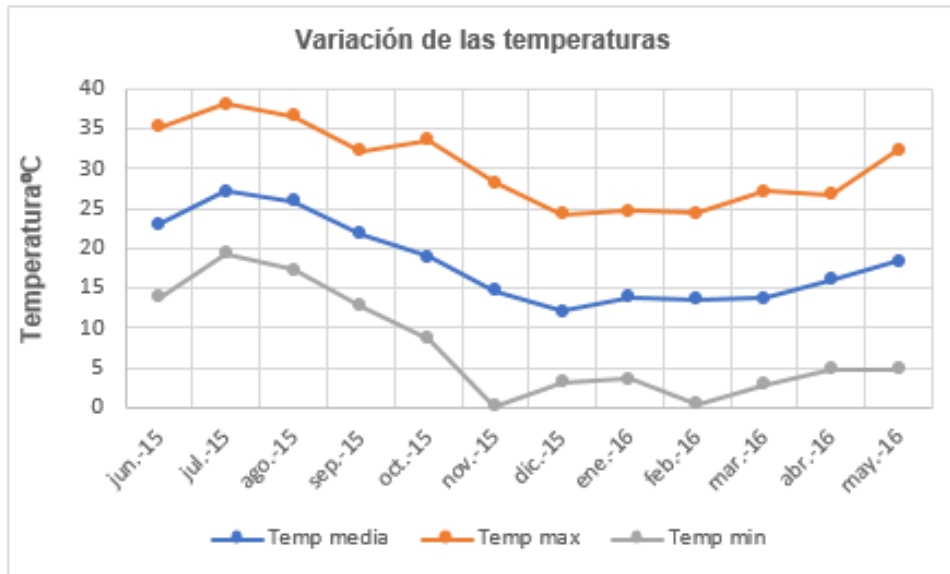


Figura 3. Variación de las temperaturas año (2015-2016). Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.4 Diagrama ombrotérmico de Gausson

Gausson define un mes ecológicamente seco como aquel cuya precipitación total mensual, expresada en milímetros es igual o inferior, a dos veces el valor de la temperatura promedio mensual, expresado en grados centígrados, esto es  $P \leq 2T$ .

Como se observa en el diagrama de la Figura 4, destaca un periodo seco de tres meses comprendido entre junio y agosto, con lo cual se trata de un clima monoxérico, por presentar solo un periodo seco.

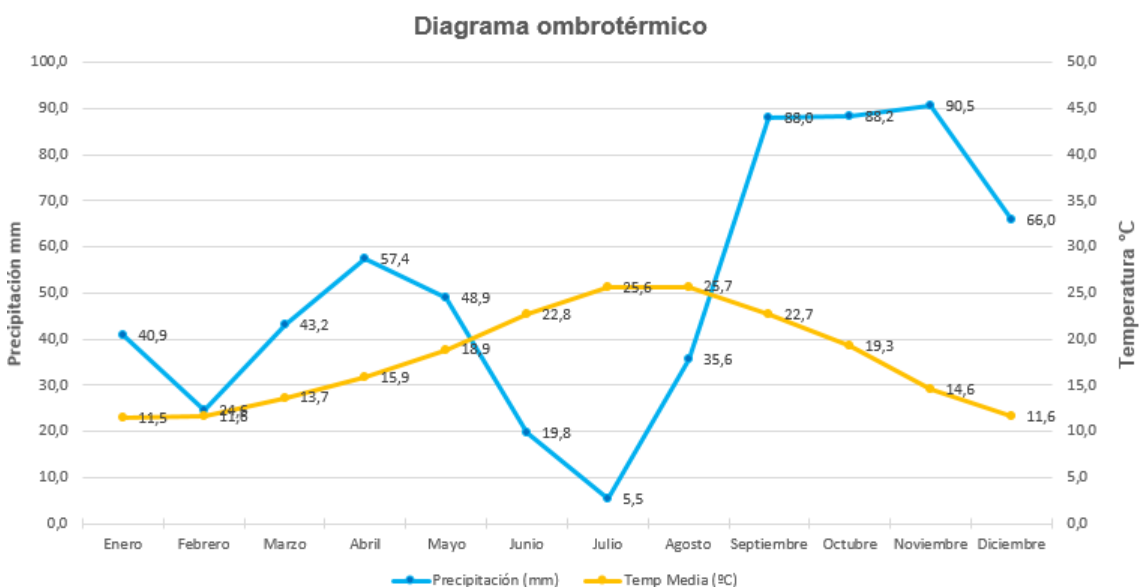


Figura 4. Representación gráfica Diagrama de Gausson. Fuente: elaboración propia.

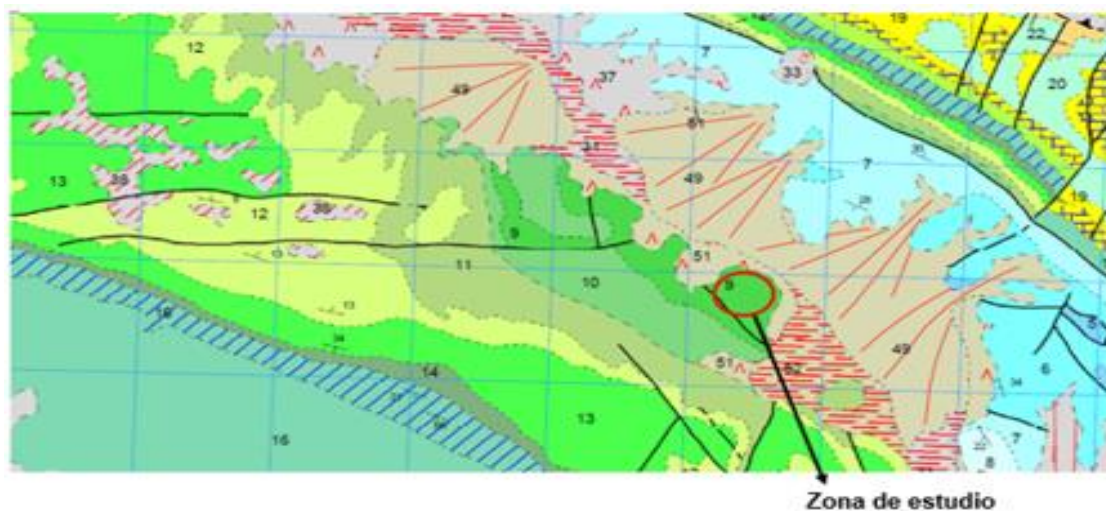
### 3.1.2.5 Radiación y humedad

La mayor radiación incidente se presenta en los meses de junio con 25,13 MJ/m<sup>2</sup> y julio con 24,56 MJ/m<sup>2</sup>, mientras que los meses con menor incidencia de radiación son enero 8,21 MJ/m<sup>2</sup>, octubre 8,52 MJ/m<sup>2</sup> y noviembre 6,92 MJ/m<sup>2</sup>.

Los índices de humedad son elevados presentando una humedad media de 71,22%, la media de las máximas no disminuye del 90% y la media de las mínimas es de 19,76%.

### 3.1.3 Geología

La estratigrafía de la zona estudiada pertenece al Jurásico (Calizas lagunares, margas y areniscas, y Facies Weald). Sobre el Jurásico vienen 90 m de calizas (intramicritas y biomicritas) gris claro a beige en bancos de 0,4-1 m, con algunas pasadas de margas. Son frecuentes las secciones de Gasterópodos. En la parte central de la hoja (zona de Valdigna o Aguas Vivas) la Facies Weald aparece reducida de espesor (65 m) con relación a la zona de Xeraco. También hay un cambio de facies en el sentido de que las pasadas de margas grises son más frecuentes, predominando sobre las calizas. Hay niveles de caliza transformados en dolomía cristalina marrón-rojiza. En la Figura 5 (mapa geológico de Alzira) se puede observar con un círculo rojo la zona de estudio.



**LEYENDA**

CRETACEO	SUPERIOR	MAESTRICENSIS	17	Dolomías y calizas no diferenciadas
		CAMPANENSIS	16	Dolomías y calizas
		SANTONENSIS	15	Dolomía con pasadas arenosas
		CONIACENSIS	14	Calizas con margas
		TURONENSIS	13	Dolomía cristalina masiva
	INFERIOR	CENOMANENSIS	12	Alternancia de dolomía y dolomía arcillosa
		ALBIENSIS	11	Dolomía cristalina, arenosa en la base
		APTENSIS	10	Calizas con orbitolinas y dolomías
		BARREMENSIS	9	Calizas lagunares, margas y areniscas
		NEOCOMENSIS	9	Facies Weald

Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: Mapa geológico de España hoja 770 (29-30) Alzira. IGME

### 3.1.4 Hidrogeología

Según se observa el mapa hidrogeológico de la zona (Figura 6), Carcaixent presenta formaciones carbonatadas de permeabilidad alta o muy alta, formaciones carbonatadas o volcánicas de permeabilidad media, formaciones detríticas o cuaternarias de permeabilidad media y formaciones volcánicas de alta permeabilidad.

La red fluvial del municipio de Carcaixent la forman los ríos: Júcar, Magro, Sellent, Verde y el rio Albaida, con sus afluentes: el Cànyoles y Clariano.

Además de los anteriores ríos, la red fluvial cuenta con distintas ramblas y barrancos, los cuales recogen los diferentes cauces de aguas pluviométricas y las dirigen hacia distintos afluentes, terminando en el Júcar.

Las unidades hidrogeológicas que afectan el término municipal son: Caroig Norte, Caroig sur, Sierra de las Agujas, Plana de Valencia Sur.

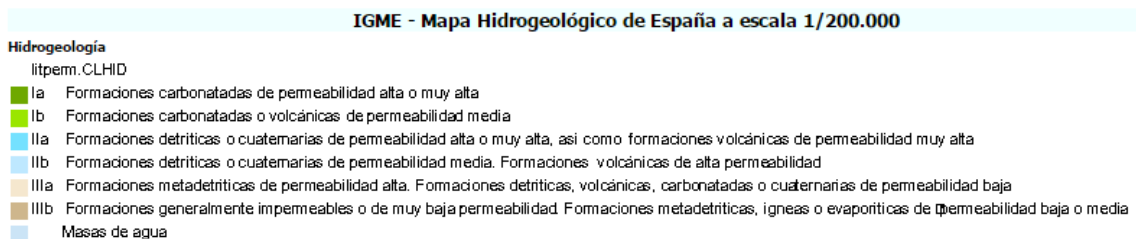
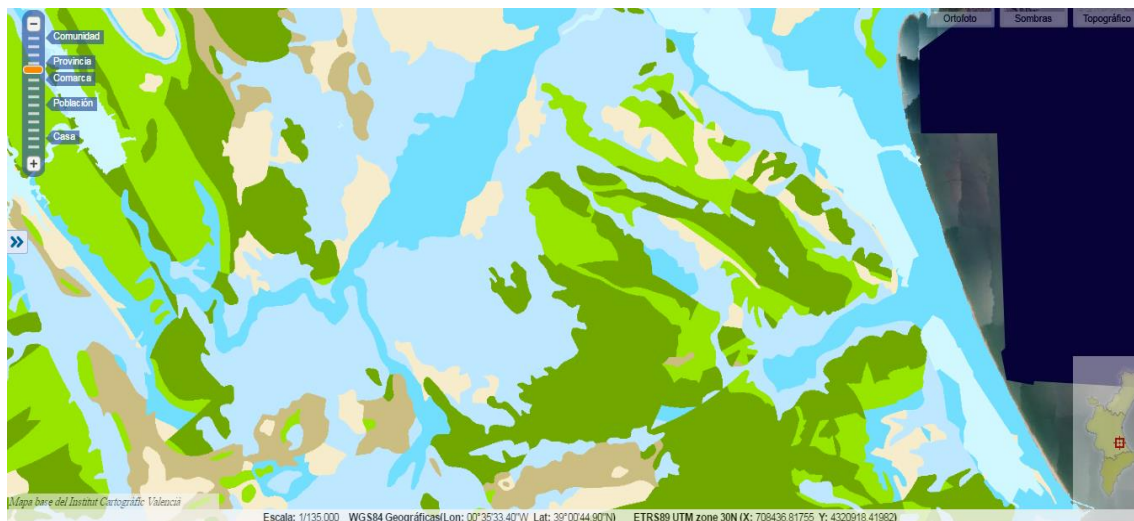


Figura 6. Mapa Hidrogeológico zona de estudio. Fuente: Terrasit, 2017.

### 3.1.5 Edafología

De las subunidades en que la FAO-UNESCO subdivide a los Luvisoles, en la Comunidad Valenciana se han localizado: Luvisoles háplicos, Luvisoles crómicos, Luvisoles cálcicos, Luvisoles álbicos. La zona de estudio se encuentra dentro de la subunidad Luvisoles cromicos líticos. Son Luvisoles crómicos que se desarrollan sobre

roca dura continua dentro de una profundidad de 50 cm a partir de la superficie. También se localizan en las áreas fuertemente karstificadas en las que el suelo sólo ocupa las cavidades y fisuras de las rocas calizas duras. Esta situación de truncamiento generalizado se debe, principalmente, a la acción humana, con repetidos incendios o cambios en la vegetación y fuertes procesos erosivos subsiguientes, que truncan el perfil y lo reducen a bolsadas de suelo discontinuas en las grietas y cavidades (Forteza et al., 1995).

### 3.1.6 Vegetación

La vegetación de la zona, viene condicionada por la incidencia de los incendios forestales. Predominan las formaciones de matorral termomediterráneo con coscoja (*Quercus coccifera* L.) y lentiscos (*Pistacia lentiscus* L.) además de matorrales con gran presencia de romeros (*rosmarinus officinalis* L., tomillos (*Thymus s.p*) y otro tipo de especies como son: pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) especie arbórea de mayor predominio en la zona, también se pueden encontrar encinares (*Quercus rotundifolia* Lam.), y más dispersas algunas especies de fresno (*Fraxinus ornus* L.).

En la Tabla 4 se observa la clasificación biogeográfica y la caracterización bioclimatológica de la zona de estudio.

Tabla 4. Clasificación biogeográfica de zonas en la Comunidad Valenciana. Fuente: Rivas-Martínez, 1987.

Zonas biogeográficas de la Comunidad Valenciana					
Reino	Región	Subregión	Provincia	Subprovincia	Sector
Holoártico	Mediterránea	Mediterránea occidental	Valenciano -Catalano- Provenzal	Catalano- Valenciana	Setabense

La Tabla 5 contiene las distintas especies de vegetación encontradas en la zona de estudio.

Tabla 5. Especies vegetales encontradas en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Arboles	Arbustos	Matorral
<i>Pinus halepensis</i> Miller.	<i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>Oxycedrus</i> L.	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
<i>Olea europea</i> L.	<i>Pistacea lentiscus</i> L.	<i>Smilax aspera</i> L. subsp. <i>aspera</i>
<i>Ceratonia siliqua</i> L.	<i>Quercus coccifera</i> L. <i>Chamaerops humulis</i> L.	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. <i>Rubia peregrina</i> L. subsp. <i>peregrina</i>
	<i>Ulex parviflorus</i> Pourr. <i>Phillyre angustifolia</i> L. <i>Viburnum tinus</i> L. <i>Daphne gnidium</i> L. <i>Rhamnus alaternus</i> L.	<i>Sonchus oleraceus</i> L. <i>Thymus piperella</i> L. <i>Erica multiflora</i> L. <i>Coronilla juncea</i> L. <i>Euphorbia characias</i> L. subsp. <i>characias</i>
	<i>Rhamnus lycioides</i> L. subsp. <i>lycioides</i>	<i>Lonicera implexa</i> Ait.

## 3.2. Metodología de trabajo

Para la realización de este estudio se localizaron cuatro zonas (parcelas), en las cuales se diferencian distintas coloraciones de las cenizas, además se localizó una zona que no había sido quemada (parcela control) con la cual se hicieron las comparaciones.

El muestreo se realizó el día 15 de julio de 2016. La superficie de la zona de estudio fue de 1000 m<sup>2</sup> aproximadamente. El incendio se produjo el 16 de junio como se comentó anteriormente.

### 3.2.1 Localización de las zonas de muestreo

En la Figura 7, se observa la zona de estudio con mejor detalle, así como los distintos puntos de muestreo. También, se presenta en las figuras de la 7 a la 11, los diferentes lugares de muestreo con mayor detalle.



Figura 7. Mapa localización zona de estudio. Fuente: www.google Earth Pro.

#### Muestra 1

En esta zona se puede observar gran cantidad de cenizas, destacando que no se había producido precipitaciones anteriores. La superficie quemada en su gran mayoría es forestal. Altura 177 m s.n.m., pendiente 30-40% (Figura 8).



Figura 8. Punto de recogida de la muestra 1 (coordenadas: N 39° 5' 6,8", O 0° 21' 17,2").

Muestra 2: en la presente zona se puede observar especies vegetales rebrotando, como el *Chamaerops humilis* L. (siendo esta especie una de las más resistentes al fuego en nuestra zona mediterránea), tan solo habiendo pasado un mes desde el incendio y de no haberse producido precipitaciones. Altura 180 m s.n.m, pendiente 30-40 % (Figura 9).



Figura 9. Punto de recogida de la muestra 2 (coordenadas: N 39° 5' 6,9", O 0° 21' 17,4").

Muestra 3: en esta zona se pudo observar especies quemadas de matorral como *Rosmarinus officinalis* L., *Erica multiflora* L., *Thymus vulgaris* L. (Figura 10).



Figura 10. Punto de recogida de la muestra 3 (coordenadas: **N** 39° 5' 7,5", **O** 0° 21' 17,4").

Muestra 4: las cenizas blanquecinas nos indican que la intensidad del fuego en esta zona fue elevada, el suelo está mezclado con las cenizas (Figura 11).



Figura 11. Punto de recogida de la muestra 4 (coordenadas: **N** 39° 5' 7,4", **O** 0° 21' 17,5").

Muestra 5 (control): En esta fotografía se aprecia la cantidad de matorral resinoso existente en la zona típico del mediterráneo, por lo que facilitó la propagación del incendio (Figura 12).





Figura 12. Punto de recogida de la muestra 5 (coordenadas (N 39° 5' 7", O 0° 21' 16,1")).

### 3.2.2 Material empleado para el muestreo en campo

Los materiales empleados fueron: un GPS portátil (con él que se determinó las coordenadas, así como la altitud en cada punto de muestreo), cámara fotográfica, pizarra, bolsas de plástico, rotulador permanente, azada, espátula, pala, cilindros metálicos para la obtención de muestras inalteradas, martillo de goma, cinta métrica y bandeja de plástico.

### 3.2.3 Metodología empleada en el laboratorio

Las muestras se recogieron y se trasladaron al laboratorio de suelos de la Escola Politècnica Superior de Gandía (UPV), donde se realizó el análisis de los diferentes parámetros del suelo y cenizas. En este apartado se describen brevemente los métodos analíticos empleados para la realización de los análisis, tanto del suelo como de las cenizas. La Figura 13 esquematiza los distintos parámetros analizados en los suelos, en el extracto de saturación del suelo mineral y en las cenizas. A continuación, se detalla la metodología empleada en los diferentes análisis. Los análisis realizados tanto a las muestras de suelo como a las cenizas se hicieron basándose en los métodos recogidos en "Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales" (Cerdà y Jordán, 2010).

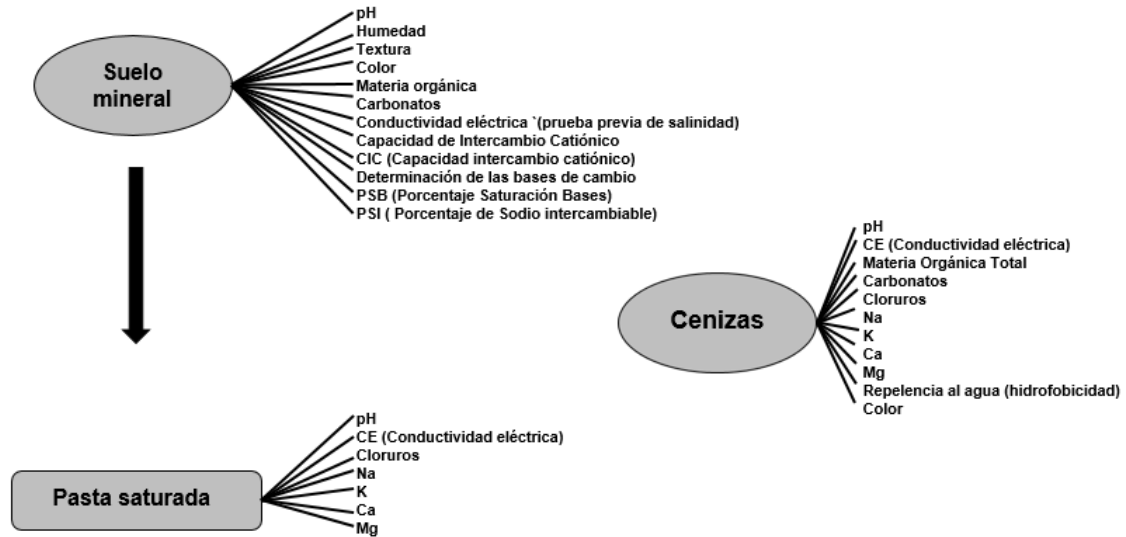


Figura 13. Análisis realizados en las cenizas y suelos.

Tras recoger las muestras, se extienden éstas en bandejas de plástico, durante dos días, hasta que las muestras hayan perdido la humedad uniformemente. Con un rodillo se trituran las muestras para romper los agregados y se pasan por un tamiz de 2 mm de luz. Los análisis se realizan en la tierra fina (diámetro < 2 mm).

### 3.2.3.1 Determinación de la humedad del suelo y las cenizas

En un recipiente de aluminio se pesan 25 g de suelo seco al aire. Se colca la muestra en estufa, la cual debe estar a una temperatura de 105 °C, y el tiempo de desecación será como mínimo de 24 horas.

### 3.2.3.2. Textura

Se pesan 40 g de suelo y se coloca en una capsula de porcelana, se añade 100 mL de solución hexametáfosfato sódico y se deja empapar durante 10 min. Se pone la mezcla en una batidora durante 5 min por último se pasa el contenido a una probeta de 1 L enrasando con agua destilada hasta la señal de 1000 mL.

Este procedimiento se aplica para todas las muestras de suelo. A continuación, se realiza la medición de la densidad con el densímetro ASTM n. 152 H, de la American Society Testing Material, con escala en g/L. las mediciones se realizarán cada 30 segundos, 60 segundos, después a los 3, 10, 30, 90 minutos, se realizará una última medición pasadas 8 horas. Por último, se hace uso del diagrama triangular para determinación de textura Clasificación U.S.D.A.

### **3.2.3.3. Color**

El color de un suelo se determina por comparación en una tabla de colores siendo la tabla de Munsell la más utilizada. Un color queda definido por tres variables: matiz, brillo y saturación. El matiz determinado por la longitud de onda dominante de la luz visible reflejada, el brillo es una medida de la intensidad del color por unidad de superficie, la saturación pureza relativa del color espectral dominante.

Para las cenizas, en un crisol de porcelana se tritura 1 g de ceniza, una vez se encuentra pulverizada se extiende sobre las tablas de Munsell y se determina el color.

### **3.2.3.4. Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo está compuesta por microorganismos, restos no descompuestos de plantas y animales y por materiales resultantes de la descomposición de estos restos, por la acción de microorganismos y del medio en general, dándose el nombre de humus a la fracción más estable resultante de dicha acción.

Para la determinación de la materia orgánica se utilizó el método de Walkley-Black donde el carbono orgánico del suelo se determina por un proceso de oxidación en medio ácido.

Se pesa 1 g de tierra fina y se lleva a un Matraz de Erlenmeyer de 250 mL, se añade 5 ml de dicromato potásico 1 N, se agita y se añade 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se mezcla los componentes agitando el matraz dejar enfriar. Añadir 50 ml de agua destilada, 4 o 5 gotas de indicador complejo ferroso, se valora con sulfato ferroso 0,5 N hasta que el color cambie de rojo a verde oscuro.

En el caso de las cenizas el procedimiento aplicado fue el mismo que se realizó con el suelo

### **3.2.3.5. Carbonatos**

El carbón inorgánico se presenta en los suelos en forma de carbonatos y especialmente como carbonatos poco solubles de elementos alcalinotérreos, siendo el  $\text{CaCO}_3$  (calcita), el más abundante de todos. En importancia le sigue la dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  que aparece en suelos formados sobre dolomías. Mucho menos frecuente en suelos son el isómero de la calcita, llamado aragonito y el  $\text{MgCO}_3$  (magnesita), ambos minerales son más solubles que la calcita y de más rara presencia en rocas sedimentarias.

Se pesaron 0,5 g de suelo fino que fueron puestos en un matraz de Erlenmeyer; en este se introduce un tubo de vidrio con 5 mL de HCl 1:1. Se inclina el Matraz agitando para que reaccione el ácido clorhídrico con la muestra de suelo, se mide el nivel de la columna

manométrica pasados unos 30 segundos. Así conseguiremos saber el  $\text{CaCO}_3$  que tiene el suelo. Para esta medición se utilizó el Calcímetro de Bernard.

### **3.2.3.6. pH**

La medición del pH de una disolución se realiza normalmente por un método electroquímico basado en una medida de la f.e.m. que se establece en la semicelda constituida por un electrodo de referencia que proporciona un potencial constante, y otra semicelda, cuyo potencial depende del pH que se desea medir.

Se pesan 10 g de suelo, añadir 25 mL de agua destilada. Se agita con agitador magnético durante 10 minutos. Se remueve la suspensión inmediatamente antes de introducir los electrodos, pero no durante la medida. El pH-metro tendrá que estar calibrado antes de cada medida.

Para las cenizas, se pesan 6 g de muestra en una balanza de precisión en recipientes de vidrio. Se añaden 36 ml de agua destilada y se lleva a agitación durante 2 horas. Pasado este tiempo se realiza la medición.

### **3.2.3.7. Conductividad eléctrica prueba previa de salinidad**

La prueba previa de salinidad tiene por objeto detectar si una de las causas de posibles problemas en los cultivos es el exceso de sales solubles en el suelo, para diagnosticar si existe o no riesgo de daños por salinidad. Se recurre a la medida de la conductividad eléctrica (CE) de un extracto de suelo. Si los valores son superiores a 0,2 dS/m se procede a la realización del extracto de pasta saturada.

### **3.2.3.8. Capacidad de Intercambio Catiónico**

Este parámetro tiene como finalidad determinar la cantidad total de cationes metálicos cambiables que están adsorbidos en las partículas coloidales tanto orgánicas como inorgánicas del suelo.

A un pH determinado (pH: 8,2) desplazamos los cationes metálicos adsorbidos sustituyéndolos por  $\text{Na}^+$  mediante lavados sucesivos del suelo con solución tampón (pH= 8,2) de  $\text{NaCl}$  0,1N y  $\text{NaCH}_3\text{CO}_2$  0,4N en etanol al 60 %.

El  $\text{Na}^+$  adsorbido y los iones en solución son desplazados posteriormente por sucesivos lavados del suelo con una solución de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  0,5N. El líquido resultante de estos lavados contendrá la cantidad de  $\text{Na}^+$  que desplazó los cationes metálicos cambiables y el  $\text{Na}^+$  del líquido que el suelo tenía ocluido al finalizar el último lavado con la solución tamponada. Ambas fracciones pueden deducirse determinando la concentración de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en la solución tamponada y en el líquido resultante de los lavados con  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  0,5N.

### 3.2.3.9. Determinación de las bases de cambio

La determinación de las bases de cambio se realiza utilizando acetato amónico 1 N a pH 7 para su desplazamiento. El método se basa en el desplazamiento de las bases de cambio con una solución de acetato amónico a pH 7, y a continuación se realiza la valoración de los cationes desplazados por métodos físicos o químicos.

Se pesan 4 g de suelo. Se coloca la muestra en un tubo de centrifuga y se añade 33 mL de acetato amónico 1 N a pH 7. Agitar el tubo tapado durante 5 minutos en el agitador mecánico.

Se recoge el líquido sobrenadante en un matraz aforado de 100 ml, repetir la operación tres veces.

Se filtra el contenido del matraz sobre un recipiente para la posterior determinación de cationes por absorción atómica.

Debido a que normalmente la concentración de cationes en la solución es mayor que la existente en los patrones empleados, es necesario preparar soluciones 1:10 y 1: 100 a partir de la solución extraída.

### 3.2.3.10. Porcentaje de saturación de bases

La saturación por bases (V) se refiere al porcentaje de cationes básicos respecto al valor de la CIC total (Capacidad de Intercambio Catiónico), esto es:

$$V \% = \frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+})}{\text{CIC total}} \times 100$$

Indica la cantidad de sedes para cationes intercambiables que hay en el suelo, ya que el resto hasta el valor de la CIC total estará ocupada principalmente por hidrogeniones (H<sup>+</sup>). Por ello la saturación por bases es menor en suelos ácidos y cercana a 100 o del 100 % en suelos básicos.

Cuanto mayor sea el grado de saturación más probabilidades tiene el suelo para retener cationes.

### 3.2.3.11. Relación de Adsorción de Sodio

El RAS (Relación Adsorción de Sodio) se saca de los cationes solubles del extracto de pasta saturada, y está relacionado con el porcentaje de sodio intercambiable, de manera que puede utilizarse como parámetro para medir el riesgo o nivel de sodificación en la solución del suelo. El cálculo del RAS se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$R. A. S = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

En la que los iones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L).

### 3.2.3.12. Porcentaje de sodio intercambiable

Es el índice de sodicidad más utilizado para investigar la estabilidad del suelo, además se usa para clasificar los suelos, este parámetro está relacionado con el RAS. El PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) es la relación entre el sodio intercambiable y la CIC total.

### 3.2.3.13. Repelencia al agua (hidrofobicidad)

El método utilizado fue el test de tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) (Cerdà y Doerr, 2008; Bodí et al., 2009). Consiste en depositar sobre la superficie del material tres gotas de agua destilada (~0.05 mL) en cada muestra y anotar el tiempo que se requiere para su completa penetración. Este método se empleó para el estudio de la repelencia al agua de las cenizas.

### 3.2.3.14. Extracto de saturación

En el análisis del extracto de saturación se determinaron los parámetros de pH, C.E, Cloruros, la Relación de adsorción de sodio y los cationes Na, Ca, Mg, K.

Se pesan 250 g de suelo en un vaso de precipitado, se va añadiendo agua hasta que la muestra alcance la saturación. Se Deja reposar la muestra durante 24 horas, tapando la boca del vaso con papel para que no se haga dura la pasta. Transferir la pasta del suelo saturado por el embudo Büchner, colocando un papel de filtro en el embudo y aplicar el vacío, pasar el líquido extraído a un frasco de 50 mL.

Por último, se determinan los iones en el Espectrofotómetro de Llama y de Absorción Atómica.

## 4. Resultados y discusión

Con este trabajo se pretende estudiar las propiedades físicas y químicas del suelo, después del incendio del 16 de junio de 2016 que afectó al término municipal de Carcaixent, provincia de Valencia España. La superficie total afectada fue de 2210 ha de las cuales 1950 ha el (88,2%) corresponde al municipio de Carcaixent. Información extraída de (Agroambient.gva.es, 2017). Las muestras y prospección del campo fueron realizadas el día 15 de julio de 2016, como ya hemos comentado anteriormente.

El fuego genera varios impactos más o menos severos, que van a depender de factores como la intensidad del incendio, la duración, cantidad de material combustible y el estado del mismo (seco o húmedo), el tipo de combustión y su grado de oxidación, características de la vegetación, condiciones meteorológicas durante el incendio, tamaño y orientación de las laderas, topografía, textura del suelo y humedad, contenido de materia orgánica en el suelo, intervalo de tiempo desde la última vez que fue incendiado y superficie quemada (Neary et al., 1999).

En el suelo propiedades como la estructura, porosidad, capacidad de infiltración, régimen térmico y capacidad de acumulación de agua, son factores muy importantes en la sustentabilidad de los ecosistemas y pueden ser profundamente afectados por los incendios forestales. Cuando la vegetación y el mantillo orgánico subyacente son afectados por el fuego, el impacto de las gotas de lluvia sobre este suelo desnudo conlleva a una producción de tasas de escorrentía más elevadas.

Tras un incendio forestal el suelo queda cubierto por cenizas. A pesar de su reducida masa en el conjunto del ecosistema, las cenizas tienen gran importancia en el control de procesos edáficos post-incendio. Por ello, la evolución de la zona afectada por el fuego dependerá del tiempo y la forma en que esta capa de cenizas se incorpore al suelo o sean erosionadas. Por lo tanto, conocer la evolución post-incendio y los factores que determinan los cambios en las cenizas es fundamental para la evolución del ecosistema suelo ya que los procesos erosivos e hidrológicos están íntimamente relacionados con el comportamiento de las cenizas.

La presencia de cenizas puede alterar profundamente la textura del suelo, la circulación de aire y la capacidad de retención de agua (Demeyer et al., 2001). Los estudios apuntan a un aumento de la capacidad de retención de agua, una reducción de la hidrofobicidad en el suelo si las cenizas que se incorporan son blancas, una mayor estabilidad de los agregados, adhesividad y consecuente reducción del riesgo de erosión del suelo (Block y Van Rees, 2004; Hartman et al., 2009).

En la Tabla 6 se pueden observar los efectos que produce la temperatura en el suelo a medida que esta va aumentando.

Tabla 6. Efectos de la temperatura (°C) sobre los suelos orgánicos. Fuente: Powers et al., 1990.

Proceso	Temperaturas (°C)
Combustión y destilación del mantillo	180-200
Destilación de la materia orgánica	200-315
Volatilización del azufre	200-400
Combustión completa de la materia orgánica	450

En el siguiente apartado se detallan los parámetros estudiados, así como los resultados obtenidos para las diferentes muestras.

## 4.1 Análisis de las propiedades del suelo

### 4.1.1. Textura

La textura que presenta un suelo nos indica el porcentaje en arcilla, arena y limo del mismo, además va ligada a la capacidad de retención hídrica, así como a la retención de nutrientes, todas las muestras de suelo analizadas presentan una base franca. De acuerdo a los resultados de la Tabla 7 se observa que la muestra 3 en comparación con la muestra control fue la que presentó un mayor descenso en porcentaje de arcilla, seguida de la muestra 4 que además presentó un aumento notorio en porcentaje de arena, esta disminución del porcentaje de arcilla y aumento del porcentaje de arena hace que el suelo retenga menos humedad y por consiguiente disminuya su fertilidad. De forma general este incremento de los porcentajes de las fracciones mayores puede ser debido a la severidad del fuego, que produce una cementación de las fracciones menores hacia las mayores.

Tabla 7. Textura de los suelos analizados.

Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
1	40	22	38	Franco arcilloso
2	38	24	38	Franco arcilloso
3	39	39	22	Franco
4	50	26	24	Franco arcilloso arenoso
Control	38	24	38	Franco arcilloso

### 4.1.2. Color

El color nos indica a primera vista las propiedades que presenta el suelo, debido a los contenidos de materia orgánica y a óxidos de hierro que puedan existir (Torrent, 1998).

Las muestras analizadas presentaron un bajo contenido en materia orgánica, se observa en la Tabla 8 que el suelo control presentó un color marrón pálido, sin embargo, las



demás muestras 1, 2, 3, 4 dan tonalidades más oscuras este cambio se presenta por la aportación de cenizas parcialmente combustionadas al suelo incendiado produciendo un incremento de las tonalidades del color.

Tabla 8. Color del suelo según Tabla Munsell.

Muestra	Matiz brillo / saturación (suelo seco)	Nombre	Matiz brillo / saturación (suelo húmedo)	Nombre
1	7,5 YR 2/3	Marrón oscuro	10 YR 2/2	Marrón muy oscuro
2	7,5 YR 4/3	Marrón	7,5 YR 2,5/3	Marrón muy oscuro
3	10 YR 4/4	Marrón oscuro amarillento	7,5 YR 2,5/2	Marrón muy oscuro
4	7,5 YR 3/3	Marrón oscuro	10 YR 2/2	Marrón muy oscuro
Control	10 YR 6/3	Marrón pálido	10 YR 5/4	Marrón amarillento

#### 4.1.3. Carbonatos

Un suelo es calizo a partir de un 10 % de contenido en carbonatos, existiendo exceso de caliza cuando el valor supera el 20 % (Yanez, 1989).

De acuerdo a los porcentajes de carbonato cálcico obtenidos en las diferentes muestras de suelo, podemos ver en la Tabla 9, que la presencia de carbonatos es muy baja < 10 % en todas las muestras, lo cual indica que los suelos analizados son poco calcáreos.

Tabla 9. Porcentaje de contenido en carbonatos de las muestras de suelo analizadas.

Muestra	% CaCO <sub>3</sub> en 100 g suelo seco
1	0,62
2	1,34
3	0,60
4	0,73
Control	2,10

#### 4.1.4. pH

Después que ha pasado el incendio, se presenta una liberación alta de cationes favorecidos por el pH. Con el tiempo, se observa una reducción del pH y los elementos se pueden disolver más fácilmente. Debido a este proceso se experimenta un aumento de la fertilidad seguido por un incremento de la acidez (Cerdà, 1993). Aunque hay autores como Marcos et al. (1998) que observan un aumento en el pH de una unidad.

Los valores de pH obtenidos en las cuatro muestras no cambian mucho respecto a la muestra control, y todas las muestras presentan un ligero descenso. La razón podría encontrarse en que las muestras se realizaron al mes siguiente del incendio, con lo cual los elementos contenidos en las cenizas apenas se habían disuelto, para poder tener una medida de comparación más acertada, se tendría que haber tomado muestras de suelo pasado un año después del incendio. Lo que sí se puede observar en la Tabla 10 es que las cuatro muestras analizadas presentan un ligero descenso del pH en comparación con la muestra control. Según Giovannini, (1990) y Marcos et al., (2007), este descenso puede ser debido a la incompleta incorporación de las cenizas en el suelo.

Tabla 10. pH inicial muestras de suelo.

Muestra	1	2	3	4	Control
pH	8,06	8,00	8,12	8,35	8,43

#### 4.1.5. Conductividad eléctrica (Prueba previa de salinidad)

La concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo se mide mediante la CE. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo.

Los iones que se presentan en mayor proporción en la solución del suelo suelen ser los cationes calcio, magnesio y sodio y los aniones sulfato y cloruro. El origen primario de los iones en la solución del suelo es el de la meteorización de los minerales, pero la presencia en grandes cantidades se debe a la acumulación producida por aportes de otras zonas, o como en este caso por la aportación de las cenizas.

Tabla 11. Interpretación de la conductividad eléctrica (prueba previa). Fuente Shaw et al. (1999).

Evaluación	Conductividad eléctrica (1:5) dS m <sup>-1</sup> a 25 °C				Cultivos posibles
	10-20 % a	20-40 % a	40-60 % a	60-80 % a	
<b>Muy bajo</b>	<0,07	<0,09	<0,12	<0,15	Sensibles (hortícolas)
<b>Bajo</b>	0,07-0,15	0,09-0,19	0,12-0,24	0,15-0,30	Moderadamente sensibles
<b>Medio</b>	0,15-0,34	0,19-0,45	0,24-0,56	0,30-0,70	Moderadamente tolerantes
<b>Alto</b>	0,34-0,63	0,45-0,76	0,56-0,96	0,70-1,18	Tolerantes
<b>Muy alto</b>	0,63-0,93	0,76-1,21	0,96-1,53	1,18-1,87	Muy tolerantes
<b>Extremo</b>	>0,93	>1,21	>1,53	>1,87	Generalmente demasiado salino

En la Tabla 12 se observa que los valores de conductividad eléctrica de la prueba previa son superiores a 0,20 dS/m en la muestra 1, 2, y 4 lo que indica que se tiene que realizar el extracto de pasta de saturación. Este incremento puede ser debido a la incorporación parcial de las cenizas en el suelo.

Tabla 12. Valores de Conductividad eléctrica (CE), prueba previa de salinidad.

Muestra	1	2	3	4	Control
CE (dS/m)	0,26	0,21	0,13	0,69	0,09

#### 4.1.6. Materia orgánica

La materia orgánica es fundamental para la estabilidad de los suelos, y para el mantenimiento de las propiedades físicas y químicas. Los incendios forestales degradan, alteran y modifican la materia orgánica, reduciendo la productividad, ocasionando en muchos casos la degradación de los ecosistemas.

Algunos autores afirman que, si la intensidad del incendio es alta, el contenido de materia orgánica en el suelo decrece indicando que los horizontes más superficiales son los que mayor afectación han tenido por causa del fuego (Idiazabal, 1997). Sin embargo, el contenido de materia orgánica en incendios de baja intensidad se incrementa debido al aporte de materia vegetal sempirolizada (Guerrero, 1997).

En todas las muestras analizadas de suelo el incremento de materia orgánica fue notorio. Según se observa en la Tabla 13, la muestra que mayor porcentaje en carbono orgánico y materia orgánica presentó fue la muestra 4 respecto a la muestra control, lo que indica que en nuestra área de toma de muestra el incendio debería ser de intensidad de baja a moderada según lo expuesto por los autores anteriormente citados.

Tabla 13. Porcentaje de carbono orgánico y materia orgánica de los suelos analizados.

Muestra	% CO	% MO
1	3,02	6,04
2	2,22	4,45
3	1,95	3,90
4	3,15	6,29
Control	0,65	1,30

#### 4.1.7. Extracto de pasta saturada

Los resultados obtenidos del extracto de saturación indican se puede ver en la Tabla 14, en la cual la conductividad eléctrica es relativamente baja en todas las muestras, salvo en la muestra 4 con un valor de 3,93 dS/m los demás valores obtenidos se encuentran son < 2 dS/m lo que indica que no se producirán efectos por salinidad. Valores iguales o superiores a 4 dS/m son indicadores de salinidad. También se observa que los valores más altos de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> sean de dicha muestra.

Tabla 14. Parámetros analizados en el extracto de pasta saturada del suelo.

Muestra	Na <sup>+</sup> (meq/L)	K <sup>+</sup> (meq/L)	Ca <sup>2+</sup> (meq/L)	Mg <sup>2+</sup> (meq/L)	Cl <sup>-</sup> (meq/L)	pH	CE (dS/m)
1	108	0,66	8,03	3,49	1,02	6,87	1,57
2	1,29	0,45	5,93	3,45	2,09	7,03	1,34
3	0,59	0,65	3,40	2,61	0,48	7,08	0,71
4	3,04	2,26	15,64	3,57	4,88	6,67	<b>3,93</b>
Control	0,57	0,50	0,87	0,59	0,48	7.20	0,35

#### 4.1.8 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de cambio catiónico de un suelo se define como la capacidad máxima de un suelo de retener cierto número de miliequivalentes de cationes metálicos. Potencialmente el concepto de cambio catiónico en un suelo es un indicador de su fertilidad, aunque un valor alto de cationes no asegura la presencia de alta concentración de nutrientes, pues algunos sitios de cambio están ocupados por H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> o bien otros nutrientes no esenciales.

El fundamento del método consiste en el desplazamiento de los cationes del complejo de cambio, mediante una solución de una sal con pH regulado, eliminación del exceso de sal por lavado con un disolvente exento de electrolitos y desplazamiento del catión saturante con otra sal, también con pH regulado, y valoración de la concentración del catión desplazado, para la determinación de la CIC se siguió el método de Rhoades, (1982).

Como se observa en la Tabla 15, los valores de la CIC en las cuatro muestras fueron inferiores a la muestra control. Varios autores (Oswald et al., 1999, Badía y Martí, 2003) indican que la CIC desciende después de los incendios debido a la pérdida de materia orgánica, que suministra posiciones de cambio.

Tabla 15. Capacidad de intercambio catiónico de los suelos analizados.

Muestra	CIC (cmol <sub>c</sub> /kg)
1	53,53
2	35,17
3	28,46
4	33,07
Control	54,71

#### 4.1.9 Bases de cambio

En los suelos que sufren un incendio se observa una alteración del balance de nutrientes, entre otros motivos por el aporte de cenizas.

En estudios realizados por Marcos et al. (1998) se pone de manifiesto que inmediatamente después del fuego se produce un incremento de cationes asimilables debido a las cenizas depositadas sobre el suelo, que presentan un alto contenido en nutrientes.

La disponibilidad de nutrientes aumenta con el fuego como consecuencia de las cenizas que se generan al quemarse la materia vegetal. En la Tabla 16 podemos observar que los cationes básicos que predominan en el complejo de cambio son el calcio y el magnesio presentándose un mayor contenido de calcio en todas las muestras. Si se compara con la muestra control se aprecia un notorio descenso del calcio sin embargo, el magnesio y el sodio aumentan. Esto indica que los suelos quemados presentan un mayor contenido de cationes básicos, lo cual hace que también se genere un aumento de pH.

Tabla 16. Bases de cambio en las muestras de suelo.

Muestra	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	% V saturación en bases
1	0,64	1,10	15,79	4,47	41,10
2	0,61	0,81	13,79	4,43	55,85
3	0,30	0,49	7,90	2,67	39,90
4	0,98	1,42	13,50	4,61	62,00
Control	0,42	0,84	30,06	1,12	59,28

## 4.2 Análisis de las propiedades de las cenizas

Después de un incendio forestal las cenizas cubren el suelo y adquieren gran importancia en el control de los procesos edáficos, dependiendo del tiempo y la forma en que esta capa de cenizas se incorpore al suelo, así será la evolución de la zona afectada. Las cenizas proceden tanto del consumo por el fuego de la vegetación como del mantillo orgánico subyacente.

La recuperación de los ecosistemas está ligada a la cantidad de nutrientes disponibles en las cenizas, además cumplen el papel de acolchado. Sin la presencia de estas en la superficie quemada serían fuente de escorrentías abundantes y sedimentos. Por esta razón es de gran importancia realizar el estudio físico y químico de las cenizas durante el post-incendio.

### 4.2.1. pH

Dentro del estudio de las propiedades químicas de las cenizas sobresale el elevado valor que presenta el pH, llegando incluso a encontrarse valores de 12-13, dependiendo de la severidad, temperatura y de las características que presente el tipo de combustible quemado. El aumento de valor en el pH se debe en parte a la gran cantidad de carbonatos, óxidos e hidróxidos (Dahl et al., 2008).

Teniendo en cuenta los valores de pH obtenidos de forma general son alcalinos. En la Tabla 17 se observan medidas superiores de pH 8.5, la muestra 4 presenta el valor más elevado pH 9.85 estos valores indican que la temperatura y severidad del fuego fue moderada a elevada, cabe decir que el color de las cenizas era blanquecino, lo cual corrobora la severidad del fuego durante el incendio.

Tabla 17. pH de las muestras de ceniza analizadas.

Muestra	1	2	3	4
pH	9,52	9,72	8,53	9,85

### 4.2.2. Conductividad eléctrica

El efecto mineralizador de las temperaturas produce cenizas que liberan soluciones con conductividad eléctrica elevada (Dahl et al., 2008). La temperatura de combustión al igual que en el pH determina la cantidad de iones liberados.

Los valores de conductividad eléctrica (Tabla 18) nos dan una idea del notorio incremento de la conductividad especialmente en la muestra 4, como consecuencia de la mineralización producida por el incendio que hacen que las cenizas incrementen dicho parámetro del suelo (Ulery et al., 1995).

Tabla 18. Conductividad eléctrica de las muestras de cenizas.

Muestra	1	2	3	4
CE (dS/m)	1,24	1,78	1,62	2,13

#### 4.2.3. Color

El color de las cenizas es un buen indicador de la severidad del fuego. Las cenizas negras en los incendios forestales indican que la severidad ha sido baja, por el contrario, unas cenizas grises o blancas son indicadores de una severidad más elevada.

Tabla 19. Color de las cenizas Tablas Munsell

Muestra	Matiz brillo /saturación (suelo seco)	Nombre	Matiz brillo/saturación (suelo húmedo)	Nombre
1	5Y5/1	Gris	2,5Y2,5/1	Negro
2	5Y7/1	Gris claro	2,5Y5/1	Gris
3	5Y2,5/1	Negro	2,5Y3/1	Gris oscuro
4	2,5Y7/1	Gris claro	5Y4/1	Gris oscuro

Todas las muestras de ceniza recogidas presentaban un color grisáceo, blanquecino lo cual nos indica que la severidad del fuego fue moderada a alta en parte de la zona de estudio.

#### 4.2.4. Materia orgánica total

Para la obtención de la materia orgánica total (MOT) de las muestras de cenizas se realizó una combustión completa en la mufla sometiendo las muestras a una temperatura de 1050 °C aumentando paulatinamente la temperatura durante 8 horas.

En la Tabla 20 se observa un alto contenido de materia orgánica en las cenizas, debido a que estas poseen un elevado porcentaje de material vegetal semiquemado, proveniente de una combustión incompleta de la materia vegetal.

Tabla 20. Carbono orgánico total (COT)

Muestra	1	2	3	4
% Total Pérdidas por combustión	64,75	62,57	43,12	64,51

#### 4.2.5. Repelencia al agua (hidrofobicidad)

Una de las propiedades físicas que mayor afectación sufre un suelo después del incendio forestal es la formación de una capa hidrofóbica, es esta los compuestos procedentes de los componentes orgánicos de la vegetación y hojarasca se desplazan a través del suelo cubriendo las partículas con lo cual se forma una capa impermeable al agua (DeBano, 1981). La capacidad de infiltración queda limitada y con ello aumenta la escorrentía superficial dando lugar a que el suelo sea más vulnerable a pérdidas por erosión.

De las muestras de ceniza analizadas (Tabla 21) las muestras 1, 2, 4 presentan muy ligera hidrofobicidad, esto indica que el suelo se vio parcialmente afectado y lo más probable es que sufra pérdidas por erosión, además de quedar limitada la capacidad de infiltración de agua, a todo esto se suma la pendiente que presenta el terreno en la zona de estudio que se encuentra entorno al 30-40 %. La muestra 3 presenta una mayor hidrofobicidad por lo que los efectos anteriormente comentados sean intensos.

Tabla 21. Grado de persistencia en las muestras de cenizas.

Muestra	1	2	3	4
Hidrofobia	Hidrofilica	Hidrofilica	Ligera	Hidrofilica
Tiempo (s)	1	1	5	1

#### 4.2.6. Carbonatos

Además del color, para evaluar la severidad del fuego resulta importante y eficaz el análisis de los carbonatos en las cenizas (Ulery et al., 1993). El incremento de carbonatos en las cenizas es un indicador de elevada severidad. La formación de este mineral es resultado de la degradación del oxalato de calcio.

Podemos observar en la Tabla 22 que salvo la muestra 3 las demás muestras presentan un contenido en carbonato similar, cercano al 30 %.

Tabla 22. Carbonatos en las muestras de cenizas.

Muestra	1	2	3	4
% CaCO <sub>3</sub> en cenizas	32,65	31,84	10,61	36,73



#### 4.2.7. Extracto de pasta saturada

Las cenizas se recogieron 30 días después del incendio. Hay que tener en cuenta que la erosión de la capa de cenizas en suelos quemados es un proceso extremadamente rápido. Ferreira et al. (2009) reportan un estudio en el que demuestran que gran parte de las cenizas son erosionadas en los primeros cuatro meses posteriores al incendio, lo que representa una pérdida importante de nutrientes para los ecosistemas montañosos. Hay estudios que demuestran que las cenizas pueden ayudar a la recuperación de las zonas afectadas si se conservan en el suelo.

Como se observa en la Tabla 23, los cationes (solubles) del extracto de pasta saturada presentan valores elevados en relación a los valores normales que se encuentran en el suelo. Estos datos están de acuerdo con una conductividad eléctrica y pH elevados como se ha comentado anteriormente en los apartados 4.2.1 y 4.2.2. Posteriormente cuando se produzcan precipitaciones se lixiviarán estos cationes solubles presentes en las cenizas y se incorporaran al suelo, incrementando la fertilidad del mismo, entendiendo fertilidad como aumento de nutrientes para la vegetación y posterior recuperación de la zona incendiada.

Tabla 23. Cationes del extracto de pasta saturada de las cenizas.

Muestra	1	2	3	4
Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	1,82	2,18	2,42	0,52
Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	2,11	2,60	1,91	1,35
K <sup>+</sup> (meq/l)	5,50	5,88	6,34	14,66
Na <sup>+</sup> (meq/l)	0,64	0,87	0,77	1,87

## 5. Conclusiones

Algunas de las modificaciones fisicoquímicas que presenta un suelo después de un incendio forestal van a depender de múltiples factores, entre otros las condiciones orográficas, climáticas, tipo de vegetación, de la intensidad y severidad que presente el fuego, etc.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se pudo comprobar los diferentes cambios que presenta el suelo tras el paso del incendio forestal.

- **Materia orgánica:** se pudo determinar un ligero incremento de la materia orgánica y carbono orgánico en todas las muestras, lo cual indica que el incendio fue de moderada intensidad.
- **pH y conductividad eléctrica** presentaron un pequeño aumento, esto posiblemente se deba a la incorporación parcial de las cenizas en el suelo. Cabe decir, que con el paso del tiempo estos valores se incrementaran inicialmente debido a las precipitaciones que se produzcan. Pero a largo plazo debido a las lluvias sucesivas y el crecimiento de la vegetación, estos valores volverán a su estado inicial.
- **La textura del suelo** después del incendio también se vio modificada, en este caso las cuatro muestras de suelo quemado aumentaron el porcentaje de arena y limos en comparación con el suelo control, este aumento del porcentaje de arena hace que el suelo retenga menos humedad y por consiguiente disminuya su fertilidad. De forma general, este incremento de los porcentajes de las fracciones mayores puede ser debido a la severidad del fuego, que produce una cementación de las fracciones menores hacia las mayores.

Con relación a los resultados obtenidos del estudio de las cenizas, podemos decir que:

- Los valores de pH y conductividad eléctrica presentan valores elevados, especialmente la muestra 4 donde la severidad del fuego fue elevada.
- Los carbonatos nos confirman que la severidad del punto 4 ha sido elevada.
- La hidrofobia de las cenizas afectará a la infiltración del agua, por lo que en las primeras lluvias se producirá un incremento de la escorrentía y la erosión será elevada.
- Respecto a los nutrientes inorgánicos analizados, estos son elevados, por lo que cuando se incorporen al suelo, estos producirán un incremento de la fertilidad.

Por último, decir que para poder llevar a cabo un estudio exhaustivo de la zona, se debería tomar muestras a los 6 y 12 meses después del incendio forestal, para observar la evolución y recuperación del ecosistema. De este modo sería posible tomar medidas acertadas encaminadas hacia la recuperación del suelo y de la vegetación. En muchas ocasiones el suelo quemado se recupera por sí mismo sin la necesidad de la intervención humana.

## 6. Bibliografía

- Arianoutsou, M., Beard, J. S., Ferrés, L., Folch, R., Trabaud, L. V. (1993). La vida a les formacions escleròfiles. Mediterrànies (Folch, R. coord.). Barcelona, Edit. MAB, UNESCO, 64-109.
- Badía, D., Martí, C. (2003). Cenizas volantes de centrales y de intensidad de calor efectos sobre las propiedades físicas chemicaland de dos suelos contrastantes. Árida tierra de Investigación y Gestión, 17(1), 23-41.
- Bodí, M.B., Mataix-Solera, J., Doerr, S.H. y Cerdà, A. 2009. Effects of ash type and degree of combustion on soil water repellency. 2nd International meeting of fire effects on soil properties, Programme and abstract book. Marmaris.
- Block, R.M.A., Van Rees, K.C.J. (2004). Characterization of Aspen ash, sand and logyard waste mixtures from an Aspen based oriented strand board mill for use as an intermediate landfill cover. Water, Air, and Soil Pollution, 158(1): 223-266
- Bond, W. J., Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. Trends in ecology & evolution, 20(7), 387-394.
- Carrión, J. S., Dupré, M. (1996). Late Quaternary vegetational history at Navarrés, Eastern Spain. A two core approach. New Phytologist, 134(1), 177-191.
- Cerdà, A. 1993. Incendios forestales y estabilidad de agregados: Cuadernos de Geografía, 53, 1-16.
- Cerdà, A. y Doerr, S.H. 2008. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. Catena, 74, 256-263.
- Cerdà, A., Robichaud, P. (2009). Efectos del fuego en la infiltración del suelo. Efectos del fuego en los suelos y las estrategias de restauración. Science Publishers, New Hampshire , 81-103.
- Cerdà, A., Jordán, A. (2010). Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Valencia: Cátedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València. FUEGORED.
- Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (2009). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Valencia: Cátedra Divulgación de la Ciencia. Universitat de València.
- Dahl, O., Pöykiö, R., Nurmesniemi, H. (2008). Concentrations of heavy metals in fly ash from a coal-fired power plant with respect to the new Finnish limit values. Journal of Material Cycles and Waste Management, 10(1), 87-92.

DeBano, L. F. (1981). Water repellent soils: a state-of-the-art. USDA Forest Service General Technical Report PS W-46. Calif, Berkeley. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 21 p.

De la Torre, A., Ariza, F. A., Crespo, M. B. (1996). Aproximación a la biogeografía del sector Setabense (provincia Catalano-Valenciano-Provenzal). Lazaroa, 16, 141.

Demeyer, A., Nkana, J. V., Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource technology, 77(3), 287-295.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A. y Walsh, R.P.D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological consequences. Earth Science Reviews, 51, 33-65.

Forteza, J., Rubio, J.L. y Gimeno, E. (1995). Catálogo de suelos de la Comunidad Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentación. Generalitat Valenciana.

Ferreira, A. J., Prats, S. A., Ferreira, C. S. S., Malvar, M. C., Coelho, C. O., Carreiras, M., Esteves, T. (2009). Los incendios forestales en Portugal. Aportes para la comprensión del impacto en la degradación de suelos y aguas. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Valencia, 77-103.

Giovannini, G., Lucchesi, L., Giachetti, M. (1990). Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality. In 'Fire in Ecosystem Dynamics: Mediterranean and Northern Perspectives'. (Eds JG Goldammer, MJ Jenkins) pp. 95–102.

Guerrero, C., Gómez, I., Mataix, J., Díaz-Crespo, C., Moral, R. (1997). Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de la conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros. Edafología, (3-1), 109-115.

Hyde, K., Woods, S.W., Donahue, J. (2007). Predicting gully rejuvenation after wildfire using remotely sensed burn severity data. Geomorphology, 86, 496–511.

Hartmann, P., Fleige, H., Horn, R. (2009). Physical properties of forest soils along a fly-ash deposition gradient in Northeast Germany. Geoderma, 150(1), 188-195.

Idiazabal, S. (1997). Influencia de los incendios forestales sobre la calidad de los suelos del área mediterránea. Aspectos químicos, biológicos y bioquímicos. Trabajo de Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Politécnica de Valencia

Knoepp, J.D., DeBano, L.F. Neary, D.G. (2005): «Soil Chemistry», en Wildland fire in ecosystem. Effects of fire on soil and water (Neary D. G., Ryan K. C. y DeBano L. F., coord.). Ogden, UT. General Technical Report RMRS\_GTR-42-vol. 4, United States Department of Agriculture, Forest Service and Rocky Mountain Research Station, 53-71.

Kutiel, P., Naveh, Z. (1987a). The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant and Soil*, 104(2), 269-274.

Kutiel, P., Naveh, Z. (1987b). Soil properties beneath *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* trees on burned and unburned mixed forest on Mt. Carmel, Israel. *Forest Ecology and Management*, 20(1-2), 11-24.

Kutiel, P., Naveh, Z. (1990): «The effect of wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo pine forest on Mount Carmel, Israel», en *Fire in ecosystem dynamics: Mediterranean and northern perspectives* (Goldammer, J. G. y Jenkins, M. J. coord.). The Hague, Edit. SPB Academic Publishing, 85-94.

Macdonald, L. H., Larsen, I. J., Brown, E., Rough, D., Welsh, M. J., Pietraszek, J. H., Schaffrath, K. (2008). What causes runoff and sediment yields to increase after Wildfires?. In Final Cost 634 International Conference «On-and Off-site Impacts of Runoff and Erosion» Aveiro (Portugal), 30th June-4th July.

Marcos, E., Luis, E., Tarrega, R. (1998). Chemical soil changes in shrubland after experimental fire. *Fire Management and Landscape Ecology*, 3-11.

Mataix-Solera, J., Doerr, S. H. (2004). Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*, 118(1), 77-88.

Mataix-Solera, J., Guerrero, C. (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. En: Mataix-Solera, J. (ed.), *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica*. Caja Mediterráneo CEMACAM Font Roja-Alcoi, Alicante, pp, 5-40.

Mataix-Solera, J., Gómez, I, Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C., Moral, R. (2002). Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*, 11, 107-114.

Moody, J. A., Martin, D. A. (2009). Forest fire effects on geomorphic processes. *Fire effects on soils and restoration strategies*, 41-79.

Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F. y Ffolliott, P. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.

Oswald, B.P.; Davenport, D. y Neuenschwander, L.F. (1999). Effects of slash pile burning on the physical and chemical soil properties of Vassar soils. *J. Sustainable For.*, 8: 75-86.

Powers, R.F. Alban, D.H., Miller, R.E., Tiarks, A.E., Wells, C.G., Avers, P.E., Cline, R.G., Fitzgerald R.O. y Loftus, N.S. 1990. Sustaining site productivity in North American forests: problems and prospects. En: Gessel, S.A., Lacate, D.S., Weetman, G.F., Powers, R.F. (Eds.), *Sustained Productivity of Forest Soils*, Proceedings of the 7th North

Am. For. Soils Conf., Vancouver, B.C., July 1988, Univ. of British Columbia, Vancouver. 49-79.

Rhoades, J. D. (1982). Cation exchange capacity. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), 149-157.

Shaw, R. J. (1999). Soil salinity-electrical conductivity and chloride. In 'Soil analysis: an interpretation manual'.(Eds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter) pp. 129–145.

Torrent, J. (1998). Evaluación de suelos en regiones mediterráneas: Importancia de las propiedades mineralógicas. Ponencia presentada en el curso superior de "Evaluación y Conservación de Suelos". Centro de Investigación y Desarrollo Agrario, Granada. Junta de Andalucía.

Úbeda, X., Lorca, M., Outeiro, L. R., Bernia, S., Castellnou, M. (2005). Effects of prescribed fire on soil quality in Mediterranean grassland (Prades Mountains, north-east Spain). *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), 379-384.

Ulery, A.L., Graham, R.C., Amrhein, C. 1993. Wood ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science*, 156, 358-364.

Ulery, A. L., Graham, R. C., Chadwick, O. A., & Wood, H. B. (1995). Decade-scale changes of soil carbon, nitrogen and exchangeable cations under chaparral and pine. *Geoderma*, 65(1-2), 121-134.

Yanez, J. (1989). Análisis de suelos y su interpretación. *Horticultura*, 49, 75-89.

Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Morugán, A. y Mataix-Beneyto, J. (2007). The use of soil quality indices to evaluate and monitor burned soils. *International meeting on fire effects on soil properties*. Barcelona. Abstracts book.

## Web

Agroambient.gva.es. (2017). Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y desarrollo rural. <http://www.agroambient.gva.es/web/prevenciondeincendios/estadística-de-incendios> [Consulta: 4 de abril de 2017].

CAMACCCR. (2017). Consellería de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y desarrollo rural. <http://www.agroambient.gva.es/web/prevenciondeincendios/estadística-de-incendios> [Consulta: 17 de marzo de 2017].

Ceam.es. (2017). Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo [http://www.ceam.es/GVAceam/archivos/INFORME\\_CARCAIXENT\\_2016.pdf](http://www.ceam.es/GVAceam/archivos/INFORME_CARCAIXENT_2016.pdf) [Consulta 17 de marzo de 2017]

Habitatge. (2015). <http://www.habitatge.gva.es/web/parajesnaturalesmunicipales/caracteristicas-generales-79846> [Consulta: 22 de marzo de 2017].

MAPAMA. (2016). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollorural/estadisticas/Estadística\\_General\\_de\\_incendios\\_Forestales\\_METODOLOGÍA\\_tcm7-349131.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollorural/estadisticas/Estadística_General_de_incendios_Forestales_METODOLOGÍA_tcm7-349131.pdf) [Consulta 18 de abril de 2017].

SIAR. (2016). Mapama.gob.es <http://eportal.mapama.gob.es/websiar/Seleccionparametrosmap.aspx?dst=1> [Consulta 1 de marzo de 2017].

Terrasit. (2017). Mapa Comunidad Valenciana <http://terrasit.gva.es> [Consulta 7 de marzo de 2017]