

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Evolución del incendio forestal de Carcaixent: dos años despues”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Jean-Noël Cervera Beasse

Tutor/a:

Josep Vicent Llinares Palacios

GANDIA, 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi tutor Josep Vicent Linares Palacios por su empeño, dedicación y ayuda proporcionada durante la realización de este trabajo.

En segundo lugar, a mis maravillosos padres Annick Beasse y Emilio Cervera Fornas por su paciencia, apoyo y ayuda económica sin la cual no hubiese sido posible graduarme como ambientólogo.

Finalmente, agradecer a Alexandre Serna por proporcionarme los datos de su estudio, los cuales han sido vitales para llevar a cabo esta investigación.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Los incendios en los ecosistemas naturales y antropizados.....	2
1.2 Los incendios forestales en la cuenca Mediterránea.....	8
1.3 Modificación de las propiedades edafológicas en la cuenca mediterránea debido a los incendios forestales.....	10
1.4 Descripción de los incendios forestales en Carcaixent a lo largo del tiempo...	13
1.5 Descripción del incendio forestal de Carcaixent de Junio de 2016.....	16
2. Justificación y objetivos.....	18
3. Materiales y métodos.....	18
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	18
3.1.1 Climatología.....	18
3.1.2 Precipitación.....	20
3.1.3 Temperatura.....	20
3.1.4 Diagrama ombrotérmico de Gaussen.....	20
3.1.5 Geología.....	21
3.1.6 Edafología.....	21
3.1.7 Vegetación.....	22
3.2 Localización de las muestras.....	22
3.3 Material empleado para el muestreo en campo.....	25
3.4 Metodología empleada en el laboratorio.....	25
3.4.1 Preparación de la muestra: secado, trituración y tamización.....	26
3.4.2 Determinación de elementos gruesos.....	27
3.4.3 Determinación del factor de humedad del suelo.....	28
3.4.3.1 Determinación de la Humedad gravimétrica.....	28
3.4.3.2 Determinación de la Humedad volumétrica.....	29
3.4.4 Determinación del pH.....	29
3.4.5 Determinación de la conductividad eléctrica (CE), prueba previa de salinidad.....	30
3.4.6 Determinación del color.....	31
3.4.7 Determinación de los carbonatos.....	31
3.4.8 Determinación de la textura.....	32
3.4.9 Determinación de la materia orgánica.....	32
3.4.10 Preparación de la muestra saturada.....	33
3.4.10.1 Extracto de saturación.....	34
3.4.10.2 Determinación del pH de la pasta saturada.....	35
3.4.10.3 Determinación de la CE de la pasta saturada.....	35

3.4.11 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	35
3.4.12 Determinación de las bases de cambio.....	37
3.4.13 Porcentaje de saturación de bases.....	37
4. Resultados y discusiones.....	37
4.1 Textura.....	38
4.2 Color.....	39
4.3 Carbonatos.....	40
4.4 pH.....	41
4.5 Conductividad eléctrica (CE).....	42
4.6 Materia Orgánica.....	43
4.7 Extracto de la pata saturada.....	44
4.8 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	45
4.9 Bases de cambio	46
5. Conclusiones.....	48
6. Bibliografía.....	49

RESUMEN

El suelo representa un componente imprescindible en un ecosistema forestal. Los incendios forestales son la causa que genera el mayor impacto negativo sobre el suelo como consecuencia de la eliminación de la flora y debido a la alteración de los procesos biogeoquímicos provocando unos cambios sobre las propiedades edafológicas.

En este trabajo se pretende estudiar los efectos provocados sobre el suelo dos años después del incendio de Carcaixent para así poder determinar la evolución de las propiedades edafológicas a lo largo del tiempo mediante una comparativa, utilizando los datos obtenidos en año 2016 por Alexandre Serna para determinar si existe o no una recuperación del suelo en general.

Para poder llevar a cabo dicha comparativa, se debieron de recoger 5 muestras en los idénticos puntos de muestreo del año 2016, 4 muestras de suelo quemado y 1 muestra de suelo control. Posteriormente se aplicaron los análisis experimentales sobre los mismos parámetros físicos, químicos y biológicos que fueron determinados en el año 2016. Se pudo observar una mayor disminución de la fracción fina en la textura del suelo debido a una continua erosión, un aumento de los carbonatos y de la materia orgánica debido al aporte de las cenizas como consecuencia del incendio de la flora. También existe un cambio en la conductividad eléctrica debido a que la zona de estudio presenta una zona de lavado y otra de deposición nutrientes, por último, se observó que tanto las bases de cambio como la capacidad de intercambio catiónico han disminuido debido al lavado de nutrientes generado por las continuas precipitaciones.

Palabras clave: suelo, incendios forestales, incendio de Carcaixent, propiedades edafológicas y zona de estudio.

Abstract

The soil represents an essential component in a forest ecosystem. Forest fires are the cause that generates the greatest negative impact on the soil as a result of the elimination of the Flora and due to the alteration of the biogeochemical processes causing some changes to the soil properties. This work aims to study the effects on the soil two years after the fire of Carcaixent to determine the evolution of the properties soil over time, using the data obtained in year 2016 by Alexandre Serna to determine whether or not there is a recovery of the soil in general.

In order to carry out this comparison, 5 samples were collected in the same sampling points of the year 2016, 4 samples of burned soil and 1 sample of soil control. Subsequently, experimental analyses were applied on the same physical, chemical and biological parameters that were determined in the year 2016. It was possible to observe a greater decrease of the fine fraction in the texture of the soil due to a continuous erosion, an increase of the carbonates and of the organic matter due to the contribution of the Ashes as a consequence of the fire of the flora. There is also a change in electrical conductivity because the study area has a washing area and another nutrient deposition, finally, it was observed that both the bases of change and the capacity of cation exchange have decreased due to the washing of nutrients generated by the continuous precipitation.

Key words: Soil, forest fires, Carcaixent fire, soil properties and study Area

1 Introducción:

Los incendios forestales son un factor natural de los ecosistemas terrestres. La humanidad, tanto durante su etapa como cazador-recolector como en la de agricultor-ganadero, adoptó el fuego como herramienta de gestión del medio. Las sociedades terciarias y urbanizadas actuales han convertido al fuego en enemigo, y están fracasando en su control y manejo. Los incendios en España son recurrentes, tanto en periodos de bonanza (0,5% de la superficie forestal se quemó anualmente entre 1995 y 2008), como en los de las mayores catástrofes: 1978,1985,1989 y 1994. El origen del aumento del problema de los incendios hay que buscarlo en el éxodo rural masivo de los años 50 y 60. En este apartado se realiza una síntesis de los efectos de los incendios sobre las propiedades edáficas y se revisan los datos existentes sobre la pérdida de suelo. Se concluye esta breve introducción especificando que es necesaria adoptar otra visión del fuego para una mejor política forestal.

En Europa, son los países situados en el sur los que más sufren incendios y los que representan la mayor parte de la superficie quemada anual en Europa. En 1997 de todas las hectáreas quemadas, más del 90% se produjeron en Grecia, Italia, España y Portugal, con la península ibérica superando el 50%.

El territorio español es propicio a la recurrencia de los incendios, tanto por causas climáticas como por razones socioeconómicas. Las primeras son conocidas: clima seco y cálido en verano, y las segundas responden a que los incendios forestales se hayan convertido en algo llamativo y recurrente.

A finales de la década de los 70, y en las décadas de los 80 y 90, se produjeron los incendios más catastróficos en cuanto a número de hectáreas quemadas.

Un buen ejemplo lo tenemos en Valencia; en 1994 la superficie quemada en Europa fue de unas 800.000 ha, correspondiendo a más de 400.000 de estas a España. De las hectáreas quemadas en España, 138.000 lo fueron en la Comunidad Valenciana donde se produjeron 751 incendios y sin embargo uno ellos quemó más de 25.000 ha. Esto quiere decir que solo un 0.13% de los incendios fueron responsables del 18% de la superficie quemada ese año en Valencia.

Desde 1994 la superficie afectada por los incendios en España ha disminuido considerablemente, pero sucede lo contrario con el número de incendios producidos. De la totalidad de los incendios producidos estos últimos 15 años (2003-2018) el 63% fueron de un tamaño de 1 ha.

Anualmente se producen una media de 19.566 incendios forestales, pero la tendencia en estos últimos años es un decrecimiento. Los grandes incendios, es decir, los que tienen una amplitud superior a 500 ha son pocos (aproximadamente

25 por año) son los que provocan un mayor riesgo ambiental, alarma social y pérdidas económicas, y los únicos que causan pérdidas de vidas humanas.

Los incendios forestales son la causa más importante que tiene un impacto negativo sobre el suelo debido a la eliminación de la vegetación y a la alteración de los procesos biogeoquímicos que presenta un suelo: procesos hidrogeológicos y erosivos (cambios en la formación de las terrazas, deltas, llanos aluviales, laderas, etc.), generando cambios en los ecosistemas, modificando el proceso de infiltración, alterando la generación de escorrentía, transformando el comportamiento hidrofóbico/hidrofílico y la transformación del paisaje.

Podemos sacar conclusiones básicas con los datos disponibles: la detección temprana de los focos de incendio y su rápido control ha mejorado mucho dado que, a pesar del incremento de número de incendios forestales, la superficie quemada ha disminuido desde 1995.

La investigación de las causas de cada incendio ha ayudado a planificar mejor la prevención mediante la persuasión, la conciliación de intereses o la sanción. Pero, sin embargo, la problemática más perjudicial no ha sido resuelta: zonas rurales abandonadas y escasa acción en la etapa de la prevención.

Tanto la prevención como la extinción suponen inversiones elevadas para espacios en los que su aportación monetaria es prácticamente nula a las administraciones del estado y por ello, es necesario un cambio drástico en la percepción de las zonas forestales y en las políticas que en ellas se aplican.

1.1 Los incendios en los ecosistemas naturales y antropizados:

El fuego es un factor natural en los ecosistemas terrestres. Desde las sabanas y praderas donde su frecuencia es anual; hasta las taigas y pluvisilvas donde se pasan siglos sin incendios, los fuegos han dado forma a los biomas del Planeta. Así, sin fuego, los ecosistemas terrestres serían otros (Bond y Keeley, 2005). Para Pausas y Keeley (2009) una Tierra sin fuego sería como una esfera sin redondez. La humanidad supo adaptarse y utilizarlo como una herramienta para acelerar ciclos biogeoquímicos, aclarar campos de cultivo, abrir pastos, cazar y aumentar la diversidad.

Pero también es conocido como un impacto negativo cuando no existe un control sobre el fuego. Tres son los componentes básicos del fuego: oxígeno, combustible y calor que es el factor que produce la ignición. Al ser tres componentes presentes en la superficie terrestre, la posibilidad de que el fuego se origine es alta. Solo las peculiaridades que presentan cada bioma, provocan que sea más o menos probable y que el fuego tenga continuidad o no. También hay que destacar que las características que presenten cada ecosistema dependerán del tipo de régimen de un incendio forestal y que, por lo tanto, las adaptaciones de la flora sean unas u otras.

El fuego no solo debe de ser visto como un gran herbívoro como apuntaron Bond y Keeley (2005). Es un agente fundamental en los procesos de sedimentación como demuestra el caso del Carbonífero, y por lo tanto en el ciclo geológico de las rocas. Así, el fuego debe de ser entendido sobretodo como uno de los procesos planetarios clave, junto al clima, que ha condicionado la evolución y la dispersión de las plantas y el desarrollo de los biomas, la formación de suelos y los ciclos hidrológicos y erosivos.

El fuego elimina temporalmente la parte aérea de la vegetación y altera la parte superficial de los suelos. Con ello condiciona los procesos erosivos e hidrológicos, y por lo tanto influye en el ciclo del agua y en las formas terrestres, y estos cambios a su vez terminan por condicionar la evolución de los ecosistemas. En concreto, el fuego altera el proceso de infiltración (Cerdeira y Robichaud, 2009) y modifica el comportamiento hidrofílico/hidrofóbico de los suelos (Doerr, 2000), como muestra a continuación la Figura 1, generando la alteración de la escorrentía. Las formas de las laderas, ñas terrazas y llanos aluviales, los deltas, y otras formas terrestres son dependientes de los cambios en los procesos erosivos. EL fuego acelera la remoción, transporte y sedimentación de los materiales generando la actividad geomorfológica.

Los incendios forestales son un factor más a tener en cuenta para conocer la evolución de las formas y procesos que se desarrollan en la corteza terrestre. Cada incendio, deja sus marcas o geoformas en el paisaje que a su vez influyen en los procesos geomorfológicos existentes. Así, la evolución del paisaje de los ecosistemas y el fuego han estado siempre unidos (Moody y Martin, 2009). Un claro ejemplo son las tasas de erosión que se aceleran en varios ordenes de magnitudes tras desarrollarse un incendio, como se muestra en la figura número 2.

La influencia del fuego en los ecosistemas terrestres se produce a corto plazo por la eliminación y modificación de la cubierta vegetal pero también a su vez a largo plazo dado que son los suelos quienes transfieren el impacto del fuego a los ecosistemas. El fuego condiciona la formación de los suelos al modificar el ciclo de los nutrientes (Raison 2009), sus propiedades físicas y químicas (Úbeda y Outeiro,2009) y los procesos microbiológicos (Mataix-Solera,2009). Dichas alteraciones se traducen en cambios en la química atmosférica al alterar el intercambio gaseoso, alteraciones en



Figura 1: Los incendios forestales provocan cambios hidrológicos. Ejemplo tomado de Teruel en los incendios del 2009 se aprecia el aumento de la repelencia al agua del suelo.

la calidad y cantidad de las aguas que fluyen a través de los suelos y con ello los procesos y formas terrestres.



Figura 2: Los incendios forestales provocan cambios erosivos y con lleva la formación de depósitos tras las primeras lluvias.

El fuego se utilizó como fuente de nutrientes mediante el incendio de matorrales en los campos de cultivo (hormiguero) y siguió siendo la herramienta calificada como la más rápida, eficiente y barata que abrió claros para el cultivo y el pasto. El desarrollo de la agricultura fue acompañado de un aumento de la sedimentación de carbones (Power, 2008) lo que permitió verificar ese intenso uso del fuego a través de estudios sedimentológicos.

El fuego ha sido la herramienta que permitió transformar el paisaje forestal en agrícola. Es por lo tanto evidente que las sociedades neolíticas cambiaron el régimen

de los incendios convirtiéndolos en más recurrentes, pero a su vez más controlados y de menor extensión que los incendios no provocados, es decir, los incendios causados de forma natural (sin intervención del humano).

Un buen ejemplo del control del fuego en los procesos y formas terrestres lo tenemos en los estudios realizados por Gracia Ruiz en el año 1996, quien demostró que la quema de matorral (figura número 3) para fertilizar los campos incrementa las tasas de erosión en un orden de magnitud. Esta práctica fue extendida en el Pirineo y condicionó el crecimiento del delta del Ebro. Sin incendios, la dinámica geomorfológica se ralentiza y la transferencia de sedimentos es más baja. También influye en la localización de los depósitos. En definitiva, los incendios son un factor clave para entender los procesos geomorfológicos y las formas terrestres.



Figura 3: Incendio del matorral situado sobre la cubierta vegetal para fertilizar el suelo de matorral.

En los incendios forestales es vital estudiar los suelos dado que las aceleraciones de los ciclos naturales se inician en el suelo: emisiones de CO₂, aceleración de la erosión, cambios en la composición química del agua, etc. Y además el suelo es decisivo para entender la evolución postincendio y la recuperación de los ecosistemas.

La presencia del fuego en los ecosistemas terrestres ha dado lugar a adaptaciones conocidas como son el rebrote (como se puede observar en la figura 4 y 5), las estrategias de liberación de semillas y germinación y las cortezas resistentes al fuego. Por lo tanto, dependiendo del bioma que se trate las adaptaciones son distintas.



Figura 4: rebrote de pino tras un incendio forestal producido en el Puig Campana (Alicante, noviembre 2008).



Figura 5: rebrote de un *Quercus coccifera* junto a algunas plántulas herbáceas (en el incendio de Navalón, Valencia el 8 de abril de 2008).

Otras de las claves para entender la situación en cuanto a los incendios y la política forestal radica en el establecimiento de una estrategia de suspensión total del fuego tras el abandono del campo. Esto, ha ayudado a que los incendios puedan ser devastadores y crear zonas de gran riesgo cuando hay alguna población asentada en zonas forestales. Fuegos no controlados como los que se han producido en la península ibérica reiteradas veces han provocado importantes pérdidas económicas y varias vidas humanas que se han visto deducidas por el abandono del campo.



Figura 6: *El abandono del territorio de montaña en la península ibérica (Teruel).*

Debido a los bajos precios agrícolas y al cambio generacional, numerosos campos están quedando abandonados e incluso en zonas de regadío (como se muestra en la figura número 6). En ellos la revegetación es muy rápida, especialmente las especies herbáceas, son las primeras en aparecer tras el abandono de un campo de cultivo dado que se tratan de suelos supuestamente fértiles que han recibido abonados durante años.

Por otro lado, la sociedad terciaria y urbanizada en la que vivimos ha propiciado en los últimos 20 años el desarrollo de núcleos habitados (urbanizaciones) en zonas forestales donde el fuego puede ser un gran peligro para las viviendas y sus habitantes. Del mismo modo, la actividad humana en dichas urbanizaciones pone en un riesgo mayor al monte en el tema de los incendios y la contaminación y alteración del medio. Según todos los modelos y proyecciones realizadas para el siglo XXI debemos estar preparados para convivir con los incendios más que nunca debido a las condiciones socio-económicas y por el Cambio Climático.

A todo esto, se le suman otros factores como son: la política forestal, las condiciones climáticas y la evolución socioeconómica que completan este complejo rompecabezas como tales son los incendios forestales.

Para finalizar este apartado, hay que mencionar que, aunque ciertas regiones de España tengan al rayo como una causa con un elevado porcentaje de inicio de incendio (Aragón: 67%; Castilla la Mancha: 33%; Comunidad Valenciana: 33%; Navarra: 17%; datos medios entre 1989-1995),

la mayoría de los incendios producidos en el país son debidas por causas de origen antrópico: por negligencias o intencionados con diversas motivaciones (venganzas, conflictos, pirómanos, etc.)

La causa principal de un incendio puede ser muy diferente de unas regiones a otras y por tanto las políticas de prevención deben también a su vez serlo. Incluso dentro de una misma provincia las causas de los incendios varían. Este hecho obliga a tener que diseñar la etapa de prevención basándose en la problemática local, por lo que la investigación de las causas de los incendios se hace por tanto una labor de máximo interés para que las políticas de prevención sean lo más adecuadas y ajustadas a cada región, localidad o parque natural.

1.2 Los incendios forestales en la cuenca mediterránea:

El fuego ha sido uno de los principales factores que ha influido en la evolución y modelización del paisaje mediterráneo en todas las partes del mundo que comparten este tipo de clima desde hace miles de años (Boydak et al., 2006).

En el Mediterráneo, todas las civilizaciones que por él han pasado han manejado el fuego y con ello han modificado profundamente las características del monte presente en la cuenca mediterránea mediante cambios de uso del suelo (MCNeill, 1992).

El fuego fue la principal herramienta para eliminar el bosque y generar praderas o campos de cultivo. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial se produjo un el abandono de las montañas debido a un éxodo rural masivo.

La evolución socioeconómica de España en las últimas cinco décadas ha sido incluso más extrema, con un rápido despoblamiento en las zonas del interior de la península y la masificación de la población en las costas y ciudades.

Esta nueva situación ha dado lugar a que el fuego que antes se consideraba una herramienta se haya transformado en un problema medio ambiental de primer orden. Por lo que debemos de admitir que el fuego en si no es el problema, sino la modificación de su patrón natural o régimen de incendios y la nueva localización de los asentamientos humanos sumándose el uso del espacio rural.

En la cuenca mediterránea, los incendios se han llegado a convertir en la perturbación más frecuente de sus ecosistemas (Naveh, 1994). Este hecho se ha agravado en las últimas décadas, ya que se ha producido un aumento del número, la severidad, la superficie quemada y la recurrencia de los incendios forestales, así como de la duración de la época de riesgo de incendio (Miranda, 1994).

La situación es compleja y está condicionada evidentemente por el clima mediterráneo dominante, caracterizado por presentar veranos prolongados (más allá de octubre), por otro lado se encuentra la escasez 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 5% reduciendo de así el tiempo necesario para que se produzca la inflamabilidad de la materia muerta presente sobre la superficie del suelo.

Con estas condiciones, cualquier foco de calor (rayo, cerilla, colilla de cigarro, chispa, etc.) 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 condiciona la época seca con la cálida.

Estas características hacen que los ecosistemas mediterráneos sean idóneos para los incendios forestales favoreciendo su aparición y expansión (Arianoussou et al, 1993).

Según estudios palinológicos y arqueológicos demuestran que la utilización del fuego en el territorio valenciano empieza desde hace aproximadamente 7.000 años. Antes de ser utilizado el fuego como herramienta, predominaba en el bosque mediterráneo especies como *Quercus ilex* (Figura 8) y *Quercus faginea* (Figura 9), y en las laderas el *Pinus halepensis*.

Con la instalación de los agricultores en las zonas llanas y fértiles, donde predominaban los *Quercus* sp., su población se vio disminuida debido al aprovechamiento que tuvo por su alto valor como energía calorífica, beneficiando de esta manera la expansión del *Pinus halepensis* (Figura 10) que aprovecho las zonas de cultivo abandonadas y que se fue potenciando por su repoblación forestal (Carrión y Dupré, 1996; Mataix-Solera y Guerrero, 2007).



Figura 8: *Quercus ilex*.



Figura 9: *Quercus faginea*.



Figura 10: Presencia del Pinus halepensis en zonas de cultivo abandonadas.

1.3 Modificación de las propiedades edafológicas en la cuenca mediterránea debido a los incendios forestales:

Muchas de las investigaciones realizadas sobre los incendios forestales, nos han llevado a realizar multitud de análisis sobre las propiedades edafológicas afectadas por los incendios y quemas experimentales controladas, y por tanto nos ha llevado a comparar los resultados entre antes y después del fuego entre zonas quemadas y zonas de control, es decir, comparando sobre un mismo suelo sobre el que no se ha producido un incendio forestal, denominado zonas de control. En algunos casos se han llevado a cabo monitorizaciones de zonas afectadas por el fuego con el fin de evaluar la evolución de determinados parámetros edafológicos en el tiempo.

En este apartado hacemos un resumen de los resultados y conclusiones más relevantes con respecto a la valoración de las modificaciones que se producen en los suelos como consecuencia del fuego.

El fuego puede provocar cambios que denominamos directos o inmediatos en determinadas propiedades del suelo como consecuencia del calentamiento producido en los primeros centímetros superficiales del mismo, y cambios que denominamos indirectos debido a la nueva situación en la que se encuentra el suelo (la eliminación de toda o parte de la cubierta vegetal, la incorporación de cenizas, la reducción de la materia orgánica, la reducción de la infiltración del agua en el suelo, el incremento de la escorrentía superficial y el incremento de la erosión del suelo)

Por lo tanto, los suelos sufren cambios temporales y espaciales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; estos cambios serán más o menos perjudiciales dependiendo de múltiples factores, entre ellos la severidad e intensidad con la que el fuego afecte al suelo. Los suelos responden de distinta manera entre estos factores, con lo cual la vulnerabilidad a la degradación debido a un incendio forestal será distinta en cada uno de los diferentes suelos.

Cuando un suelo se ve afectado por un fuego de alta intensidad, la mayoría de la materia orgánica del suelo se consume y la restante sufre importantes transformaciones (Mataix-Solera et al, 2002).

De todas las propiedades edáficas de un suelo, la fracción orgánica desempeña un papel fundamental en el suelo presente. De las transformaciones que sufre la fracción orgánica

dependerá el cambio en muchas otras propiedades del suelo. Los fuegos de alta intensidad afectan directamente a la materia orgánica generando la desestabilización de los agregados y permitiendo que el suelo sufra la erosión más fácilmente por las lluvias y el viento. Este fenómeno se suele presentar en suelos que dependen exclusivamente de la materia orgánica del suelo para la agregación de las partículas.

Los resultados sobre el carbono orgánico suelen ser variados y complejos dependiendo a la intensidad del incendio. Cuando la intensidad es elevada puede reducir considerablemente la cantidad de materia orgánica en la parte superficial del suelo.

Diversas pruebas realizadas en el laboratorio, indican que, si se calienta un suelo a 450°C durante 2 horas o a 500°C durante media hora, se llega a eliminar hasta un 99 de materia orgánica (Knoepp et al, 2005). Lo contrario sucede cuando tienen lugar incendios de baja intensidad, en este caso, gracias al carbono orgánico procedente de la vegetación parcialmente pirolizada suele presentarse un incremento de la materia orgánica en los primeros centímetros del suelo.

Además de modificar la cantidad de materia orgánica presente en un 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 es debido a que con el incremento de la temperatura también genera cambios en el humus haciéndose resistente a la degradación microbiana (Knoepp et al, 2005)

Durante la combustión se pierde gran cantidad de nitrógeno orgánico. Dicho elemento presenta como característica tener una volatilidad considerablemente fácil. Los ecosistemas mediterráneos, por situarse en una zona semiárida presentan una limitación de nitrógeno. Con el paso de un incendio forestal suele aumentar el nitrógeno disponible en forma de amonio (NH_4^+) (Kutiel y Naveh, 1987) (Giovannini et al, 1990). En los meses posteriores al incendio suelen aparecer especies leguminosas fijadoras de nitrógeno (N_2) como es la especie *Ulex parviflorus* así como algunos microorganismos que realizan la fijación atmosférica como son los del genero *Rhizobium* siendo los más comunes y efectivos. Las bacterias reciben alimento de las plantas y está a cambio recibe compuestos nitrogenados.

Las variaciones sobre las propiedades químicas y físicas del suelo son producto del calentamiento que sufre el suelo durante un incendio. Se produce el aporte de cationes básicos, de carbonatos y de óxidos procedentes de las cenizas provocan que el pH y la conductividad eléctrica aumenten.

El tiempo de permanencia de las cenizas en el suelo determinara el tiempo necesario para la recuperación del pH del suelo (Mataix-Solera y Guerrero, 2007). Por otro lado, las cenizas generan un incremento notable en los nutrientes del 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, 1987).

Muchos de estos nutrientes se volatilizan o se ven con el humo del fuego. El viento y la lluvia provocan la erosión del suelo y como consecuencia hacen que estos nutrientes se laven y más aún cuando no existe vegetación. Varios investigadores afirman que la fertilización del suelo generada por un incendio puede durar entre 4 y 14 meses (Kutiel y Naveh, 1987) o incluso 7 años (Úbeda et al, 2005).

La siguiente figura (Figura 11), describe de forma esquemática el efecto que produce el fuego directamente sobre el complejo cambio que sufre el suelo. Se observa que en los casos en los que hay un descenso del contenido de materia orgánica, suele estar acompañado por la disminución de la capacidad de intercambio catiónico.

El complejo adsorbente no podrá retener todos los cationes liberados y al estar el suelo desnudo, y después de que ocurran las primeras lluvias, los cationes son fácilmente lixiviados hacia horizontes más profundos produciendo un suelo pobre en nutrientes en sus primeros horizontes.

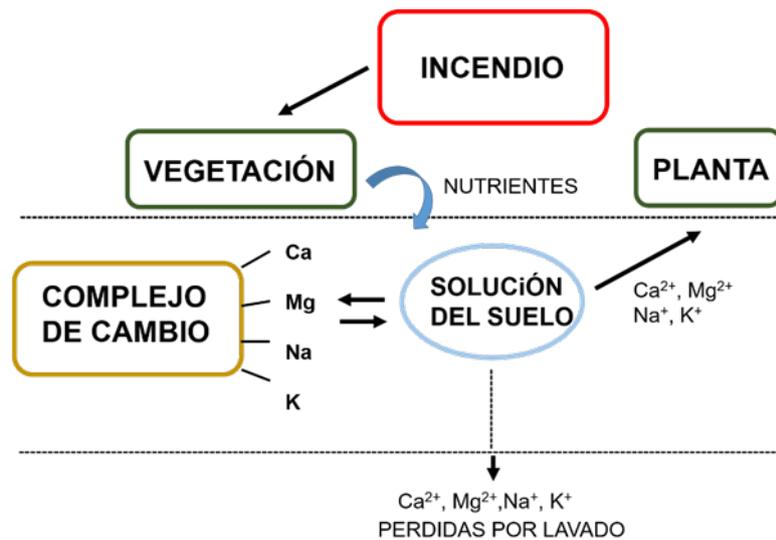


Figura 11: Alteraciones producidas sobre el flujo de nutrientes en el suelo por el efecto de un incendio. (Fuente: Alexander Serna Velásquez).

La temperatura que alcanza un suelo influye directamente en la repelencia o hidrofobia al agua que puede disminuir o aumentar. Si el suelo es sometido a valores de temperatura entre 200/250°C la hidrofobia aumenta, mientras que se la temperatura es superior a 300°C la hidrofobia desaparece (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 son condensadas. Los suelos que son los más propensos a presentar repelencia al agua son los ácidos con textura arenosa (Mataix-Solera y Doerr, 2004).

El efecto que genera el aumento de la hidrofobia en un suelo influye como consecuencia en la hidrología del suelo debido a la disminución de materia orgánica y de la porosidad al sellarse el suelo por efecto de las cenizas o partículas minerales que desencadenan la desestabilidad de los agregados que forman un suelo (MacDonald et al, 2008). También de acuerdo con Hyde, podemos afirmar que el fuego consume parte de los sistemas radiculares y por tanto también tiene efecto sobre la pérdida de la cohesión del suelo (Hyde et al, 2007).

La disminución de la infiltración del agua en el suelo, es decir, que debido al incremento de la hidrofobia aumenta la escorrentía superficial y más aún cuando la eliminación de la cobertura vegetal ha sido total. Este efecto tiene un impacto muy negativo sobre el

suelo dado que facilita la erosión del suelo pudiendo desencadenar en la desertificación de una zona que ha sido quemada por un incendio forestal.

Por último, mencionar que, en el caso de los ecosistemas mediterráneos, aun con incendios de alta intensidad la vegetación de suele recuperar con facilidad (Whelan, 1995). Además de las hierbas que cubren el suelo el año posterior al incendio, la mayoría de las plantas rebrotan (*Erica multiflora*, *Ampelodesmos mauritanica*, *Quercus coccifera* y *Chamaerops humilis*) o germinan (*Pinus halepensis*, *Rosmarinus officinalis*, *Cistus salviifolius* y *Cistus albidus*) con gran facilidad.

La dinámica de los ecosistemas mediterráneos ha tenido al fuego como uno de los factores que ha contribuido a su formación y estabilidad (Naveh et al, 1974); una prueba de su adaptación son las estrategias de supervivencia y recolonización de la vegetación.

1.4 Descripción de los incendios forestales producidos en Carcaixent a lo largo del tiempo:

Prácticamente toda la superficie ya se había quemado con anterioridad al incendio de junio de 2016, básicamente en los grandes incendios de 1981 y 1991, (así como muestra el gráfico de la figura número 12). Así, el 78% de la superficie se había quemado 2 veces antes del actual incendio, y aproximadamente un 10% tres veces 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.

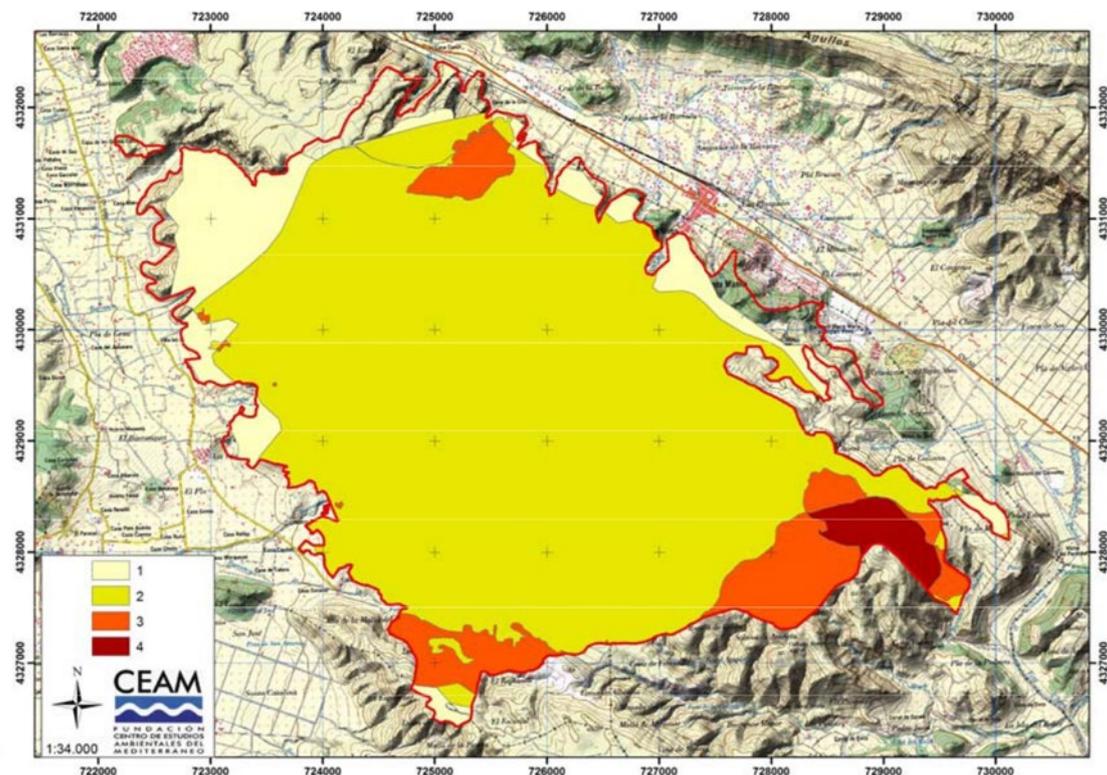


Figura 12: Recurrencia previa de incendios en el periodo 1982-2015. (Fuente: Fundación CEAM-Programa Forestal).

Descripción de las unidades ambientales consideradas:

La homogeneidad de la geología y litología de la zona, así como sus características, hace que únicamente se identifiquen dos grandes unidades dentro del perímetro del incendio: pinares, principalmente de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y matorrales dominados por especies de estrategia rebrotadora. La principal discrepancia encontrada se corresponde con la unidad descrita como matorral germinador ya que una parte de esta zona es actualmente un pinar joven poco denso.

Pinares de *Pinus halepensis*:

Esta unidad se distribuye por la parte norte y a lo largo del límite este del incendio. Se distinguen dos subunidades atendiendo al grado de desarrollo de los pinos y a la comunidad de sotobosque acompañante: pinares jóvenes procedentes de semillado y pinares adultos

A). Pinares jóvenes procedentes de semillado tras el último incendio en 1991.

Debido a su origen, se trata de una unidad espacialmente heterogénea, con mayor densidad y desarrollo de los pinos en las partes más bajas de las laderas (en general suaves) y en las proximidades de las pistas, mientras que en las partes altas de ladera y exposición solana los individuos de pino se encontraban más distantes y aprovechando bolsas de suelo en los terrenos de abundantes afloramientos.

B). Pinares adultos no quemados con anterioridad o afectados por un único incendio en 1991.

Se trata de comunidades de pino carrasco, maduro en su mayor parte, localizados en la parte más al este del perímetro del incendio (en laderas inclinadas y barrancos), y desarrollados sobre dolomías. Presentan un sotobosque bien desarrollado, con una cobertura superior al 60% en el que abundan, por este orden, los lentiscos (*Pistacia lentiscus*), coscojas, enebros (*Juniperus oxycedrus*), palmito (*Chamaerops humilis*), brezo (*Erica multiflora*) y romero (*Rosmarinus officinalis*).

Matorrales:

Esta unidad abarca la mayoría de la superficie del incendio, ocupando, principalmente la parte central, sur y oeste del mismo. Se trata de zonas que han sufrido al menos dos incendios en los últimos 35 años, sin tener en cuenta el actual (incendio de 2016).

La mayor parte del territorio es de titularidad privada excepto la zona del término municipal de Simat de la Valldigna al sureste del perímetro del fuego (figura 13). Prácticamente toda la unidad se corresponde con un altiplano calizo-dolomítico con pendientes suaves. Esta unidad se caracteriza por una ausencia total de estrato arbóreo o por una presencia del mismo inferior al 10% de cabida cubierta.

Estos matorrales presentaban una elevada cobertura del suelo antes del incendio (superior al 60%) y abundantes afloramientos de roca, con mayor abundancia de especies rebrotadoras que germinadores. Debido a la litología y a la abundancia de afloramientos, los bancales son muy puntuales dentro de esta unidad.



Figura 13: Estado de las zonas descritas como matorral afectada por el fuego entre los términos municipales de Carcaixent, Simat y Xativa. Detalle de perfil de suelo rojo mediterráneo encajado entre los afloramientos de dolomías. (Fuente: Fundación CEAM-Programa Forestal).

1.5 Descripción del incendio forestal de Carcaixent de junio de 2016:

El incendio se inició a las 17:00 horas del día 16 de junio y finalizó el 30 de julio sumando un total de 2210 ha de terreno forestal quemadas. El incendio se propagó de forma muy rápida y virulenta debido a las condiciones meteorológicas (CAMACCDR, 2017), afectando a los siguientes términos municipales (4): Carcaixent, Simat de la Valldigna, Alzira y Xàtiva (tabla 1).

Los datos de los perímetros de los incendios y la superficie afectada han sido facilitados por la Dirección General de Prevención de Incendios Forestales de la Conserjería Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural:

Tabla 1: Superficie afectada por el incendio de Carcaixent de 2016.
(Datos proporcionados por CAMACCDR, 2017, Fuente: elaboración propia).

Termino municipal	Hectáreas	%
Carcaixent	1951	88,2
Simat de la Valldigna	238	10,7
Alzira	14,4	0,6
Xàtiva	7,1	0,3
Total	2210	100

Como se puede observar en la Tabla 1, el municipio que mayor superficie (ha) afectada presento por el incendio, fue Carcaixent con 1951 ha quemadas.

La superficie quemada es mayoritariamente forestal, con una baja presencia de enclavados agrícolas significativos, si bien estas zonas agrícolas muy presentes en los límites del incendio, especialmente en la parte occidental y oriental. La interfaz urbano-forestal está localizada mayoritariamente en las laderas próximas a la urbanización la Vall d'Aigües Vives y, en menor medida, en los Amigos (en la parte este y oeste del perímetro del incendio respectivamente como muestra la figura 14).

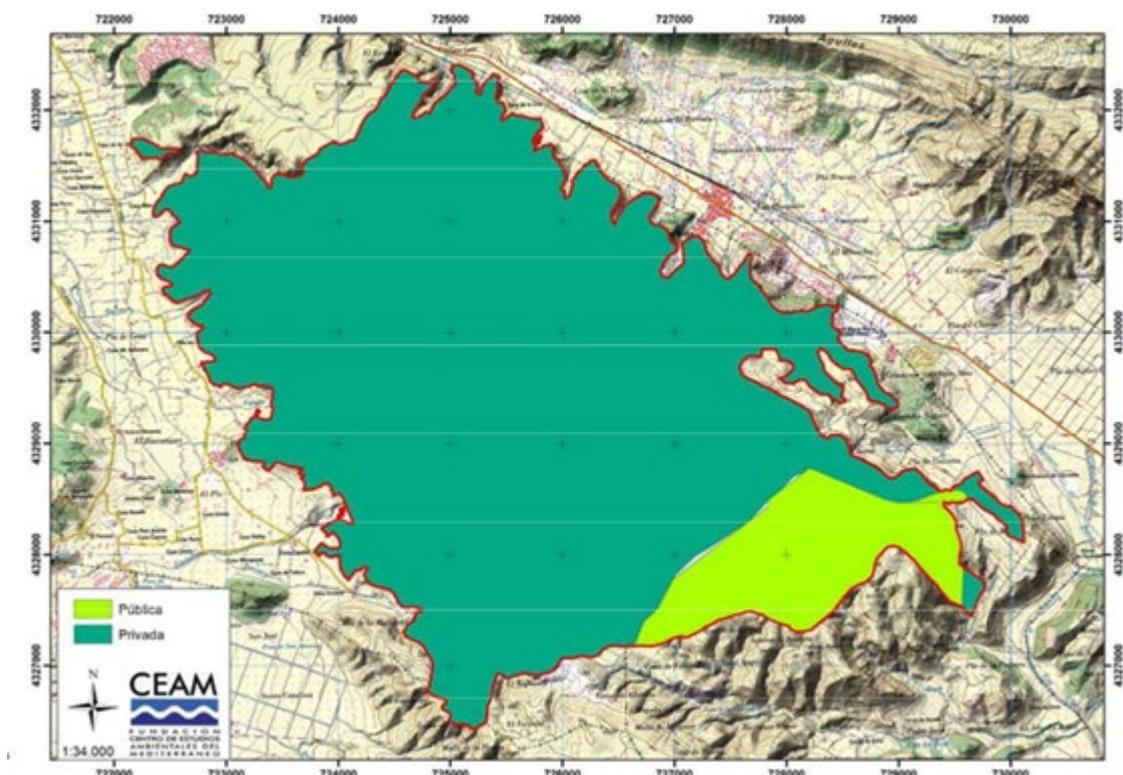


Figura 14: Distribución de la propiedad del suelo en la zona afectada por el incendio. (Fuente: CEAM)

En general, la severidad del incendio ha sido de alta a muy alta, sobre todo en el estrato arbustivo. Nos fue poco frecuente encontrar individuos del matorral que mantuvieran hojas secas en las ramas y, en muchas zonas, solo quedaban restos de las ramas más gruesas, señal de una elevada severidad del fuego. La capa de hojarasca también fue con intensidad en muchas partes del incendio, aunque se encontraron rodales donde aún se podían reconocer las hojas de algunas especies. Estas circunstancias dieron como resultado la presencia de una capa de cenizas blancas/grises bastante continua con una mayor repercusión bajo los pies de los individuos del matorral. Los pinos se vieron afectados con mayor heterogeneidad. Así, todos los individuos de la clase monte bravo observados se quemaron con alta intensidad, comportándose como una especie más de matorral. Los de clase latizal y fustal mostraron una severidad entre alta ($\geq 50\%$ de las acículas secas en copa) y muy alta (totalidad de acículas consumidas).

La zona central y sur del incendio es donde observamos una mayor intensidad del mismo, debido al tamaño de las ramas terminales de los arbustos quemados y a la distribución de la capa de cenizas blancas. De manera contraria, los barrancos a ambos extremos del perímetro del fuego presentaron un amenos intensidad, probablemente debido a la mayor presencia de la unidad

de pinar (latizal y, en menor medida, fustal), con especies menos inflamables como el madroño, mejor accesibilidad de los medios de extinción y debido al propio comportamiento del fuego.

Por último, mencionar que, con relación a la vegetación afectada, destacar que la vegetación potencial de todo el territorio se corresponde con encinares termomediterráneos basófilos de *Quercus rotundifolia* (Rubio longifoliae-Querceto rotundifoliae sigmetum), sin embargo, en el monte del incendio las comunidades vegetales estaban lejos de su potencial, con ausencia prácticamente total de encima en todo el territorio. La inmensa mayoría del territorio estaba constituido por matorrales dominados por especies germinadoras (Cartografía PATFOR, Comunidad 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 las propiedades fisicoquímicas de los suelos, ya que el posterior desarrollo de la vegetación estará ligado con la fertilidad del suelo.

El principal objetivo de este informe es estudiar el efecto que tiene el incendio forestal de Carcaixent de junio de 2016 sobre las propiedades edafológicas que presenta este determinado suelo. Para conseguir nuestro objetivo, realizaremos una comparativa de los resultados obtenidos en el TFG de Alex Serna del año 2016 con los nuestros tomados 2 años después; se establecieron 5 puntos de muestreo, 4 muestras de suelo incendiado y 1 de suelo no afectado por el incendio denominado muestra control. Para así de esta manera poder comparar los efectos producidos sobre el suelo por el fuego en esta zona correspondiente a un clima mediterráneo.

3 Materiales y métodos.

3.1 Descripción de la zona de estudio:

La zona de estudio está situada en el municipio de Carcaixent en la provincia de Valencia (España). Se trata de una zona boscosa cercana a la zona residencial de urbanización de Aigües Vives y del Hospital Nisa Aigües Vives.

Tiene una altitud de 21 metros sobre el nivel del mar y su superficie es de 59,3 kilómetros cuadrados donde se encuentran diversos núcleos de poblaciones como son: la pedanía de Cogullada y la pedanía de la Barraca de Aigües Vives. El núcleo de Carcaixent se divide en cuatro varios: Santa Bárbara, Les Barraques, La Montanyeta y Els Quatre Camins. También existen otros núcleos poblacionales que no están 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 el margen derecho del río Júcar, el valle de Aigües Vives 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.

3.1.1 Climatología:

Para la obtención de los datos meteorológicos se utilizó por cercanía a la zona de estudio la estación meteorológica de Tavernes de la Valldigna (V06), ubicada en el municipio de Tavernes según las coordenadas UTM X:738862, UTM Y: 4330980 y con una altitud de 15 metros s.n.m.

Se utilizaron datos climáticos de un periodo de 18 años, comprendiendo entre el año 2000 y 2018, ambos inclusive obteniéndose los datos del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) (Tabla2).

Tabla 2: Datos climatológicos de la zona de estudio obtenidos de la estación de Tavernes de la Valdigna (V06). (Fuente: SIAR, 2018)

MES	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad media (%)	Radiación (MJ/m ²)	Precipitación media (mm)	Evapotranspiración potencial (Penman-Monteith)
Enero	9,14	23,74	-2,07	72,82	8,21	51,31	30,60
Febrero	10,12	24,21	-1,08	70,14	10,47	31,54	38,22
Marzo	12,51	27,89	-0,75	68,12	14,77	36,01	69,59
Abril	15,28	30,92	3,34	67,76	18,77	33,35	98,26
Mayo	18,79	35,28	7,01	67,72	22,27	46,18	127,42
Junio	23,12	38,17	10,97	66,45	25,13	14,92	157,67
Julio	25,64	40,65	14,48	68,53	24,56	4,69	166,06
Agosto	25,29	39,99	15,28	70,61	21,55	19,54	145,58
Septiembre	22,01	36,90	10,75	73,77	16,85	52,60	97,90
Octubre	18,04	32,32	7,00	76,68	11,98	60,23	62,29
Noviembre	12,26	26,65	1,08	75,30	8,52	72,44	34,05
Diciembre	9,40	23,32	-1,28	76,69	6,92	76,85	25,02
Media	16,83	31,67	5,39	71,22	15,83	Total 499,66	87,72

3.1.2 Precipitación:

En general, durante el año se presenta poca precipitación. Durante el periodo de estudio (1990-2018) la precipitación media anual fue de 499,66 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 el mes de diciembre con una media de 76,85 mm. En verano, las precipitaciones son mínimas y se nota un incremento de las lluvias con la llegada de la época otoñal, donde aumentan considerablemente.

3.1.3 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.

3.1.4 Diagrama ombrotérmico de Gausson:

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

Como se observa en el diagrama de la siguiente figura (figura número 15), en ella se 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.

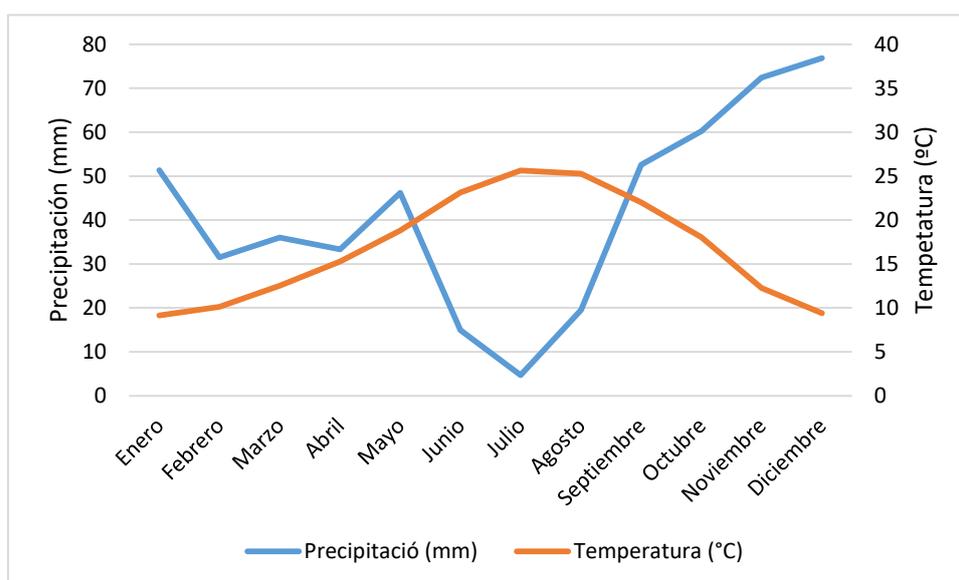


Figura 15: Representación gráfica del Diagrama Ombrotérmico de Gausson.

3.1.5 Geología:

La estratigrafía de la zona estudiada al Jurásico (calizas lagunares, margas y arcénicas, y Facies Weald). Sobre el Jurásico vienen 90 metros de calizas (intramicritas y biomicritas) gris claro beige en bancos de 0,4/1 metros con algunas pasadas de margas. Son frecuentes las secciones de Gasterópodos. En la parte central de la hoja (zona de Valldigna o Aguas Vivas) la Facies Weald aparece reducida de espesor aproximadamente 65 metros, 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 siguiente figura (figura número 16) (mapa geológico de Alzira) podemos observar un círculo rojo que representa la zona de estudio.

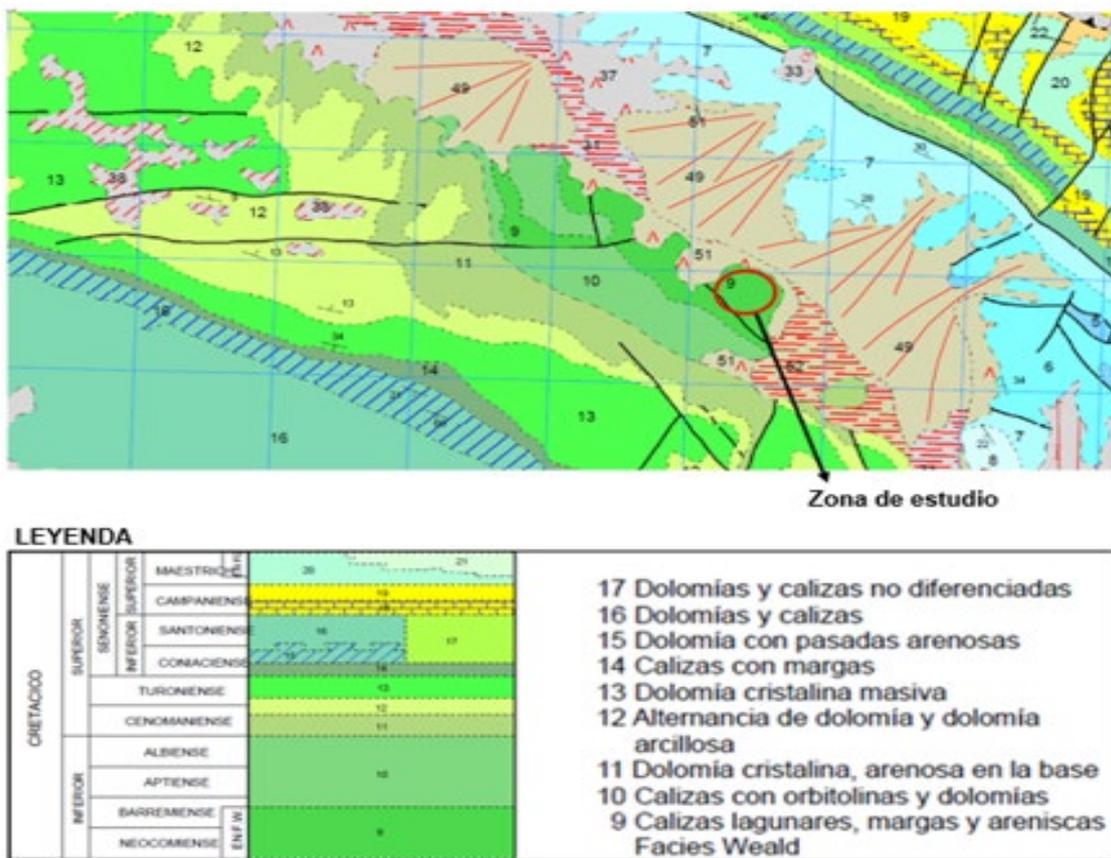


Figura 16: Mapa geológico de la zona de estudio. (Fuente: Mapa geológico de España hoja 770 (29-30), Alzira, IGME).

3.1.6 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 y Luvisoles álbicos. La zona de estudio se encuentra dentro de la subunidad Luvisoles crómicos líticos. Se trata de Luvisoles crómicos que se desarrollan sobre roca dura continua dentro de una

profundidad de 50 centímetros a partir de la superficie. También se localizan en las áreas fuertemente carsitificadas en las que el suelo solo ocupa las cavidades y fisuras de las rocas calizas duras. Esta situación de truncamiento generalizado es debido principalmente a la acción del hombre debido a repetidos incendios intencionados o por cambios en la vegetación y fuertes procesos erosivos subsiguientes, que como consecuencia truncan el perfil y lo reducen a bolsadas de suelo discontinuas en las grietas y cavidades (Forteza et al, 1995).

3.1.7 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*) y lentiscos (*Pistacia lentiscus*), además, de matorrales frecuentados como son los matorrales de romero (*Rosmarinus officinalis*) y de tomillo (*Thymus vulgaris*).

Las especies arbóreas que predominan son el pino carrasco (*Pinus halepensis*) y encinares (*Quercus rotundifolia*) y especies dispersas de fresno (*Fraxinus ornus*).

3.2 Localización de muestras:

Para la realización del presente estudio se localizaron cinco zonas, en las cuales se recogieron muestras (una inalterada y otra alterada) en cada punto de muestreo. En las cuatro primeras corresponden a la zona quemada y la quinta es la muestra control. Cada parcela se diferencia por presentar distintas coloraciones (debido a la intensidad del fuego que se produjo en cada zona y la presencia de la materia orgánica) y por presentar cenizas o carbón vegetal.

El muestreo se realizó el día 14 de marzo de 2018 sobre una superficie denominada zona de estudio que tiene un perímetro 1000 m² aproximadamente, en el cual se realizó ya un muestreo en el año 2016 (este muestreo corresponde a un trabajo Final de Grado de Alexandre Serna, del cual utilizaremos los datos que obtuvieron para comparan con los nuestros).

En la Figura 17, se observa la zona de estudio detallada, así como los diferentes puntos de muestreo. También, se presenta a continuación de las figuras 18 a la 22 la descripción de los puntos de muestreo.



Figura 17: Mapa localización de la zona de estudio. (Fuente: www.gogle Earth Pro)

Localización y descripción de la muestra 1 (figura 18):

La muestra recogida en esta situada a 190 metros y con una pendiente del 21 %, presentando un suelo oscuro debido a la incorporación de cenizas (Figura 18 B). Como se puede observar en la Figura 18 A y B, la diferencia entre el muestreo del 2016 y el realizado por nosotros el cambio es notable debido a la casi ausencia de cenizas y a la recuperación de la vegetación.



Fuente: Alex Serna

Figura 18: Punto de recogida de la muestra 1 de Aigües Vives (A) en el 2016 (B) del 14/03/2018

(Coordenadas: N 39 ° 5' 6"; O 0° 21' 19")

Localización y descripción de la muestra 2 (figura 19):

El punto de muestreo en el que recogimos esta muestra presenta una altitud de 190 metros y un 21% de pendiente. Se observa una clara diferencia entre la figura 19 A y B dado que la Figura 19A presenta una gran cantidad de cenizas y carbón vegetal mientras que la Figura 19B no tiene cenizas y una muy pequeña presencia de carbón vegetal que no se puede apreciar.

Además, la Figura 19B, presenta ciertas especies herbáceas y arbóreas que muestran signos de recuperación del mantillo forestal.



Fuente: Alex Serna

Figura 19: Punto de recogida de la muestra 2 de Aigües Vives del 14/03/2018

(Coordenadas: N 39° 5' 6''; O 0° 21' 19'')

Localización y descripción de la muestra 3 (figura 20):

Este punto de muestreo se recogió a 230 metros de altitud y con una pendiente del 20-30 %. Como podemos observar en la Figura 20A, en este punto el fuego fue de alta intensidad dado que como podemos observar en la Figura 20B, aún existe la presencia de cenizas y restos de carbón vegetal.

En este punto existe una recuperación dado que como podemos observar en la Figura 20B, el *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Erica mult multiflora*, y *Quercus rotundifolia subesp. bellota*



Fuente: Alex Serna

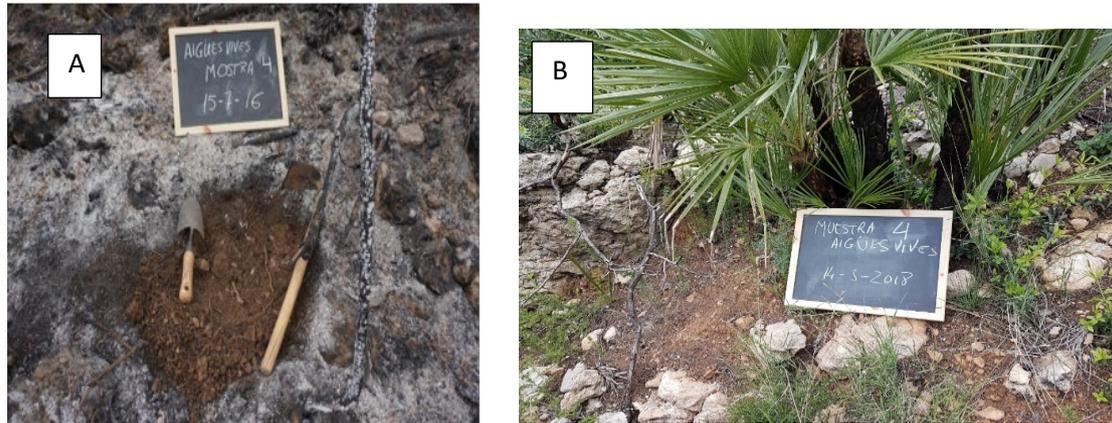
Figura 20: Punto de recogida de la muestra 3 del 14/03/2018.

(Coordenadas: N 39° 5' 5''; O 0° 21' 19'')

Localización y descripción de la muestra 4 (figura 21):

La muestra 4 fue recogida a una altitud de 220 metros y una pendiente del 10-20%.

En este punto de muestreo el fuego del incendio fue también de alta intensidad debido a la gran cantidad de cenizas depositas sobre el suelo tal y como observamos en la figura 21A. Pasados 2 años se muestra en este punto una elevada recuperación debido a la presencia de la especie rebrotadora *Chamaerops humilis* (Figura 20B).



Fuente: Alex Serna

Figura 21: Punto de recogida de la muestra 4 de Aigües Vives del 14/03/2018.

(coordenadas: N 39° 5'6''; O 0° 21'19'')

Descripción y localización de la muestra 5 Control (figura 22):

En la siguiente fotografía se puede apreciar ligeramente la cantidad de matorral resinoso que existe en la zona típica del mediterráneo. Dicha vegetación y las pocas precipitaciones que se produjeron en los meses anteriores acompañadas de una elevada temperatura fueron los factores causantes de una fácil propagación del incendio forestal provocado en esta zona.



Figura 22: Punto de recogida de la muestra 5 de control de Aigües Vives del 14/03/2018.

(Se puede observar en esta fotografía, el color original del suelo estudiado)

(Coordenadas N 39° 5' 7"; O 0° 21' 17")

3.3. Material empleado para el muestreo en campo:

Los materiales utilizados en el muestreo son los siguientes: GPS portátil (gracias al cual se determinaron las coordenadas, la altitud y pendiente de cada punto de muestreo), cámara fotográfica, pizarra y tizas, bolsas de plástico impermeable, rotulador permanente, azada y pala (para la obtención de las muestras alteradas), cilindros metálicos denominados core y martilla de goma (para la obtención de muestras inalteradas), cinta métrica y bandeja de plástico.

3.4. Metodología empleada en el laboratorio:

Las muestras se recogieron y se trasladaron al laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Gandía (EPSG), donde se realizó el análisis de los diferentes parámetros del suelo. En este apartado se van a describir los métodos analíticos empleados para la realización de los distintos análisis.

A continuación, se detalla la metodología empleada en los diferentes análisis para la obtención de las propiedades que caracterizan el suelo muestreado.

3.4.1 Preparación de la muestra: secado, trituración y tamización de la muestra:

Las muestras fueron enviadas al laboratorio en bolsas de plástico impermeables que contienen una etiqueta de identificación que se caracterizan por poseer la siguiente información: identificación de la parcela muestreada, número de muestra y fecha de muestreo.

Las muestras alteradas fueron desecadas al aire libre con una temperatura inferior a las 40°C para posteriormente ser trituradas con la ayuda de un rodillo y pasadas por un tamiz de 2 mm (anchura de paso de luz) (Figura número 23). La fracción que pasa a través del tamiz de 2 mm de luz es denominada tierra fina y es con la cual se realizan los análisis analíticos para obtener las propiedades edafológicas en el laboratorio. La fracción que queda sobre el tamiz está formada por elementos gruesos y fue desechada.



Figura 23: tritución y tamización de las muestras. (Fuente: elaboración propia).

La tierra fina guarda agua absorbida en las superficies de los sólidos del suelo que no pasa a la atmosfera a temperatura ambiente. La temperatura a la que se elimina completamente el agua absorbida varía entre 100 y 400 °C para los distintos materiales y minerales del suelo.

No existe por lo tanto una temperatura determinada a la que pueda calentarse el suelo y quede seco, es por dicha razón que se le denomina suelo seco a aquel que se obtiene en unas condiciones normalizadas: suelo secado a peso constante en estufa a 105°C.

Dado que un secado de la muestra total de suelo puede provocar la alteración en algunas de las propiedades a analizar, se determina el factor humedad de la tierra fina desecando una submuestra en estufa. En cualquier determinación analítica el peso de suelo debe de estar corregido por el factor de humedad.

Para las muestras inalteradas, la preparación viene dada por la metodología del ensayo o análisis a realizar para las muestras alteradas. Se debe de determinar el volumen de la sonda ocupada por la muestra inalterada. En el caso de la determinación de la humedad es necesario pesar la muestra de suelo antes de que se haya podido perder agua mediante la evaporación.

3.4.2 Determinación de elementos gruesos:

Salvo para los análisis experimentales que requieran muestras sin pérdida de humedad, las muestras alteradas se desecan al aire libre o a temperatura inferior a 40°C, si trituran con la ayuda de un rodillo para romper los agregados y se pasan a través de un tamiz de 2 milímetros de paso de luz.

A la fracción que pasa a través del tamiz de 2 milímetros de luz, se le denomina tierra fina y es la que se analiza en el laboratorio. La fracción que queda sobre el tamiz está formada por los elementos gruesos.

La tierra fina guarda agua absorbida en las superficies de los sólidos del suelo que no pasa a la atmosfera a temperatura ambiente. La temperatura a la que se elimina completamente el agua absorbida por el suelo varía entre 100 y más de 400°C para los distintos materiales orgánicos y minerales del suelo.

No existe por lo tanto una temperatura determinada a la que pueda calentarse el suelo y quedarse seco, es por ello el concepto de suelo o tierra seca se aplica a aquel que se obtiene en unas condiciones normalizadas: suelo secado a peso constante en estufa a 105°C

3.4.3 Determinación del factor de Humedad del suelo:

Los poros del suelo están ocupados por las fases líquida y gaseosa en proporción variable según el suelo gane o pierda humedad. La humedad del suelo se determina por la diferencia de peso entre la muestra de suelo húmeda y la muestra de suelo seca en estufa a 105°C durante 24 horas.

Todas las determinaciones analíticas en laboratorio se expresan respecto a suelo seco. Como un secado de la muestra total de suelo puede provocar alteración en algunas de las propiedades a analizar, se determina el factor humedad de la tierra fina desecando una submuestra en estufa. En cualquier determinación analítica el peso de suelo tiene que estar corregido por el factor de humedad.

3.4.3.1 Humedad gravimétrica:

$$\theta_g = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de suelo seco}} = \frac{M_w}{M_s}$$

Normalmente cuando el suelo está saturado la humedad gravimétrica oscila entre 0,3 y 0,6 aunque en suelos orgánicos o volcánicos puede alcanzar el valor de 1.

3.4.3.2 Humedad volumétrica:

El suelo es un sistema compuesto por tres fases: sólida, líquida, y gaseosa. La masa total del suelo (M_t) es la suma de la masa de sólidos (M_s) y la masa de agua (M_w) ya que la masa de aire (M_a) se puede considerar despreciable respecto a las otras dos.

El volumen total del suelo (V_t) es la suma del volumen de sólidos (V_s), el volumen de agua (V_w) y el volumen de aire (V_a).

$$\theta_v = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen total del suelo}} = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{(V_s + V_w + V_a)} = \frac{V_w}{(V_s + V_w)}$$

La humedad volumétrica equivale también, a la altura de agua por espesor de suelo. La humedad volumétrica solo se puede calcular en muestras inalteradas, y como máximo es igual a la porosidad del suelo (cuando todos los poros están llenos de agua).

3.4.4. Determinación del pH:

La medición del PH de una disolución se ha realizado por un método electroquímico basado en una medida de fuerza electromotriz (f.e.m.) que se establece en una 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 gramos de suelo de cada muestra obtenida en la zona de estudio mediante una balanza de precisión y se les añade 25 mililitros de agua destilada en recipientes de plástico para posteriormente sean agitados durante 10 minutos en un agitador magnético que trabaja a 600 rpm. Una vez finalizada la agitación se debe de remover la suspensión inmediatamente antes de introducir los electrodos, pero no durante la obtención de la medida de cada muestra.

Previamente a la medición se debe de calibrar el PH-metro mediante 2 soluciones preparadas, primero se calibra con una solución tampón de PH 7 y posteriormente con otra solución tampón de PH 4 (Figura 24). Por último mencionar que el PH-metro utilizado en este caso en el laboratorio tiene una sensibilidad del 67%.



Figura 24: Determinación del PH de las muestras. (Fuente: elaboración propia)

3.4.5 Determinación de la conductividad eléctrica (CE) (prueba previa de salinidad):

La concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo se mide mediante la conductividad eléctrica (CE). La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácilmente se mueva la corriente a través de este.

Los iones que se presentan en mayor proporción en la solución de un suelo suelen ser los cationes de calcio (Ca^+), magnesio (Mg^+), sodio (Na^+) y los aniones de sulfato (SO_4^{-2}) y cloruro (Cl^-). El origen primario de los iones en las soluciones de los suelos es debido a la meteorización de los minerales, pero la presencia de estos en grandes cantidades se debe a la acumulación producida por el aporte de otras zonas o como en este caso, debido a la aportación realizada por parte de las cenizas que produjo el incendio forestal.

Se pesan 10 gramos de suelo de cada muestra mediante una balanza de precisión y se les añade 50 mililitros de agua destilada en recipientes de plástico para que posteriormente sean agitados durante 30 minutos en un agitador magnético que trabaja a 600 rpm. De la misma manera que para la medición del PH, se debe de remover la suspensión inmediatamente antes de introducir los electrodos, pero no durante la obtención de la medida de cada muestra.

Previamente a la medición, se debe de realizar la calibración del conductímetro mediante una solución tampón de $1347 \mu\text{s}/\text{cm}$.

3.4.6 Determinación del color:

El color de un suelo se determina por comparación mediante una tabla de colores, siendo la tabla de Musell la más utilizada. El color de un suelo queda definido por tres variables: matiz, brillo y saturación. El matiz queda 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 y la saturación es la pureza relativa del color espectral dominante.

3.4.7 Determinación de los carbonatos:

Se pesaron 1 gramo de tierra fina por muestra y se colocó en un matraz de Erlenmeyer en el cual se introdujo 5 mililitros de ácido clorhídrico (HCl) 1:1.

Por otro lado, se pesaron 0,2 gramos de CaCO_3 y se colocó también en un matraz Erlenmeyer en el que se introdujo 5 mililitros de HCl, para ser utilizado como blanco (figura 25).

Determinación de los carbonatos tratados con un ácido clorhídrico provocan el desprendimiento de CO_2 según la siguiente reacción:



Se inclina el matraz mediante una agitación para que reaccione el ácido clorhídrico con el suelo y se mide el nivel de la columna manométrica pasados unos 30 segundos para así poder obtener y conocer el CaCO_3 que contiene la muestra. Para estas mediciones se utilizó el Calcímetro del método de Bernard



Figura 25: Determinación de la concentración de carbonatos mediante el método de Bernard. (Fuente: elaboración propia).

3.4.8 Determinación de la textura:

Se pesaron 40 gramos de suelo y se colocaron en una flanera a la que se le añade 100 mililitros de una solución hexametáfosfato sódico (Calgón) y se dejó emparar durante 10 minutos. A continuación, se puso la mezcla en una batidora a máxima potencia durante 5 minutos y, por último, se pasó dicho contenido a una probeta de 1 litro enrasando con agua destilada (Figura numero 26).

Este procedimiento basado en la determinación de la textura, se aplica a todas las muestras de suelo. Se realizó la medición con un densímetro ASTM n. 152H, de la American Society Testing Material, con escala en gramos/litro. Las mediciones se realizaron durante unos intervalos de 30 segundos, 60 segundos, y posteriormente a los 3, 10, 30, 90 minutos y la última medición se realizó tras haber pasado 8 horas.

Una vez obtenidas las mediciones se hace uso del diagrama triangular para la determinación de la textura, clasificación U.S.D.A.



Figura 26: Determinación de la textura de las muestras. (Fuente: elaboración propia).

3.4.9 Determinación de la materia orgánica:

Una característica común que determina toda la materia orgánica es la presencia de Carbono en su composición que es denominado carbono orgánico. Para la determinación de la materia orgánica, se utilizó el método de Walkley-Black donde el carbono orgánico se determina por un proceso de oxidación en medio ácido.

Se pesó 0,5 gramos de tierra fina y se llevó a un matraz de Erlenmeyer de 250 ml, posteriormente se añadió 5 mililitros de dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$), se agitó y a continuación se añadió 5 mililitros de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) (Figura 27). Se mezclaron los componentes utilizados mediante una agitación manual durante 30 segundos y se dejó enfriar la mezcla resultante 10 minutos. Una vez la solución se enfrió, se añadieron 50 mililitros de agua destilada

y 4 o 5 gotas de un indicador complejo ferroso. Por último, se valoró mediante la utilización de sulfato ferroso (FeSO_4) 0,5 N hasta que se produjo un cambio de color de verde oscuro a un color rojizo de la solución resultante.



Figura 27: Determinación de la cantidad de materia orgánica que presentan las muestras. (Fuente: elaboración propia).

3.4.10 Preparación de la muestra saturada:

Se pesaron 250 gramos de tierra fina en un vaso de precipitado y se fue añadiendo agua destilada de 50 en 50 ml y posteriormente cuando ya se aproximaba a la pasta deseada de 10 en 10 mililitros hasta que se las muestras alcanzaron la saturación.

A continuación, se tapó la boca del vaso con papel parafilm para que la pasta no se haga dura y se dejó reposar durante 24 horas (Figura 28).



Figura 28: Preparación de la pasta saturada de cada muestra. (Fuente: elaboración propia).

3.4.10.1 Extracto de saturación:

Se transfirió la pasta saturada del suelo por un embudo Büchner, colocando un papel de filtro en el embudo y aplicando el vacío, pasando el líquido extraído a un frasco de 50 mililitros.

El extracto de saturación fue sometido a una segunda filtración mediante la utilización de un embudo y filtro de velocidad de filtración media tras pasadas de 24 horas debido a la observación de una ligera capa formada por la sedimentación de partículas en los frascos de las soluciones obtenidas de la pasta saturada de cada muestra y se pusieron para finalizar en una nevera.

En el análisis del extracto de saturación se determinaron los parámetros de PH, C.E., Cloruros, la relación de absorción de sodio y los cationes Na, Ca, Mg, K. Por último, se determinaron los iones en el Espectrofotómetro de llama y de absorción atómica.

Primera filtración: filtración mediante un embudo Büchner. (Figura 29). Segunda filtración: Filtración con un embudo tradicional y un filtro de filtración media. (figura 30)



Figura 29: Primera filtración de la pasta saturada mediante un embudo Büchner. (Fuente: elaboración propia).



Figura 30: Segunda filtración de la pasta saturada mediante un papel filtro y un embudo convencional. (Fuente: elaboración propia).

3.4.10.2 Determinación del pH de la pasta saturada:

El concepto de PH es posible también aplicarlo a sistemas heterogéneos como las suspensiones coloidales y los suelos. El concepto de pH se aplica al H_3O^+ de la solución intermicelar.

Al no ser la solución de un suelo un sistema cerrado, el valor de su PH se puede ver modificado, por ejemplo, variando la concentración iónica de la solución, por cambio en la relación suelo/agua o por pérdida o ganancia de electrolitos.

3.4.10.3 Determinación de la Conductividad Eléctrica de la pasta saturada:

La prueba previa a la salinidad, es decir, la medición de la conductividad eléctrica (CE) determina la proporción de iones que contiene un suelo.

El contenido total de los iones, expresado como concentración por unidad de solución, se denomina: contenido en sales solubles de la solución del suelo.

3.4.11 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC):

Este parámetro tiene como finalidad determinar la cantidad total de cationes metálicos cambiables que se encuentran absorbidos por las partículas coloidales, tanto las partículas orgánicas como las inorgánicas del suelo.

A un pH determinado (pH 8,2) desplazamos la cantidad total de cationes metálicos absorbidos sustituyéndolos por Na^+ mediante lavados sucesivos del suelo con solución tampón de NaCl 0,1N y NaCH_3CO_2 0,4N en etanol al 60%.

El Na^+ absorbido y los iones en solución son desplazados posteriormente por sucesivos lavados con la solución de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 0,5N. El líquido resultante de estos lavados contendrá la cantidad de Na^+ que desplazó los cationes metálicos cambiables y el 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 Cl^- y Na^+ en la solución tamponada y en el líquido resultante de los lavados con $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 0,5N.

Por último mencionar que los sucesivos lavados del suelo se realizan aplicando 33 ml de cada solución tampón a cada muestra de suelo de 4 gramos para posteriormente realizar una agitación (Figura 31) de cada muestra durante 5 minutos y, para finalizar mediante una centrifugación de 5 minutos (Figura 32) para así de esta manera tener una separación entre la solución líquida resultante y el depósito que se forma en el fondo de cada tubo de plástico. Cada solución líquida obtenida mediante una serie de 3 lavados de cada muestra es recogida aplicando una filtración mediante un papel de filtro y un embudo convencional (Figura 33).



Figura 31: Agitación de las muestras.



Figura 32: Centrifugación de las muestras.



Figura 33: Filtración convencional de la solución obtenida.

3.4.12 Determinación de las bases de cambio:

Se pesaron 4 gramos de suelo de cada muestra en un tubo de centrifugación y se les añadió 33 mililitros de acetato amónico 1N a pH 7. A continuación, como en el análisis realizado para la determinación del CIC, se agitaron las muestras durante 5 minutos en un agitador mecánico para posteriormente aplicar una centrifugación de las muestras durante el mismo periodo de tiempo que el proceso de agitación.

Una vez finalizado el proceso de centrifugación, se filtra la solución del contenido en un matraz mediante la utilización de un papel de filtración y un embudo convencional para posteriormente realizar la determinación de los cationes por absorción atómica.

En último lugar, mencionar que como normalmente la concentración de los cationes en la solución es mayor que la existente en los patrones empleados, es necesario preparar las siguientes soluciones: 1:10 y 1:100 a partir de la solución extraída.

3.4.13 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):

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

Esta fórmula, 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⁺). 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 mayor será la posibilidad de tener un suelo que retenga cationes.

4. Resultados y Discusiones:

Con este trabajo se pretende estudiar las propiedades físicas y químicas de un suelo quemado del incendio del 16 de junio de 2016 que afectó mayoritariamente al municipio de Carcaixent con 1950 ha de las 2210 que fueron quemadas lo que representa un porcentaje del 88,2% (Información extraída de Agroambient.gva.es, 2017). Para conocer la evolución temporal se comparará con un muestreo realizado en el 2016 por Alexander Serna (TFG en GCCAA de Alexander Serna, 2016) y el realizado por nosotros en los mismos puntos que se realizó.

Un incendio genera siempre impactos, el grado de alteración que generan estos impactos depende de: la intensidad del fuego, su duración, la cantidad de material combustible y su estado (% de material seco y húmedo), el tipo de combustión y su grado de oxidación, las características del sotobosque y del bosque si existe en la zona afectada, las condiciones meteorológicas, el tamaño y la orientación de las laderas, la topografía, la textura del suelo, el contenido en materia orgánica y el intervalo de tiempo que existe desde la última vez que dicha zona fue incendiada (Neary et al, 199).

De todas las propiedades del suelo, la estructura es una de las propiedades que más se ve afectada por un incendio y es una de las propiedades más importantes dado que involucra a parámetros, tal y como son: la porosidad, capacidad de infiltración y la capacidad de retención de agua.

Debido a la acción del fuego elimina el sotobosque y el mantillo orgánico provocando una mayor erosión del suelo cuando se producen lluvias debido al fuerte impacto de las gotas y de la escorrentía superficial.

Tras un incendio el suelo queda cubierto de cenizas. Las cenizas son de gran importancia para el control y la evolución de los procesos edafológicos en una situación de post-incendio. Los estudios apuntan a un incremento de la capacidad de retención del agua, una reducción de la repelencia al agua y una mayor estabilidad de los agregados (Block y Van Rees, 2004; Hartman et al., 2009).

También, hemos realizado un análisis ANOVA al 95%, para comparar los parámetros analizados de los años 2016 y 2018 exceptuando la muestra control, mediante el programa estadístico SPSS 2016. Los resultados de este ANOVA los comentaremos posteriormente en cada uno de los apartados.

4.1. Textura:

El porcentaje de arcilla, arena y limo que compone un suelo, define su tipo de textura. La textura de un suelo es la propiedad edafológica que favorece la capacidad de retención hídrica y la capacidad de retención de nutrientes.

Como podemos observar en la Tabla 4, las cinco muestras de suelo analizadas en el 2018 presentan una base franca, de la misma forma que se obtuvo en la Tabla 3 con los datos del 2016.

Tabla 3: Datos sobre la textura determinados por Alex Serna, (2016).

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

Tabla 4: Datos obtenidos sobre la textura del suelo de cada muestra, (2018).

Muestra	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	Clase Textural
1	58	18	24	Franco arcillo arenoso
2	62	20	18	Franco arenoso
3	60	20	20	Franco arcillo arenoso
4	36	36	28	Franco arcilloso
Control.	34	28	34	Franco arcilloso

Como observamos en las Tablas 3 y 4 presentan un cambio en la textura del suelo dado que en las muestras 1, 2 y 3 se observa un aumento en porcentaje de la arena, esto es debido a que las fracciones más erosionables son las fracciones finas, como son las arcillas y los limos y las fracciones de mayor tamaño son menos susceptibles a la erosión.

Con la muestra 4 observábamos en el campo que responde a una zona de deposición, que según los datos obtenidos en la Tabla 4 con respecto a la Tabla 3 se observa un incremento del contenido de arcilla y una disminución del de arena. Este resultado nos confirma nuestra suposición de campo, como hemos comentado anteriormente.

El resultado obtenido por el ANOVA para la textura ninguna de las tres fracciones presenta diferencias estadísticamente significativas (valores de significación al 95% para la arena 0,116, limo 0,483 y para la arcilla 0,152).

4.2 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)

Tabla 5: Datos sobre el color determinados por Alex Serna. (2016)

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

Tabla 6: Datos obtenidos sobre el color del suelo, (2018).

Muestra	Color en seco	Nombre	Color en húmedo	Nombre
1	7,5 Y.R 4/4	Marrón	7,5 Y.R 3/4	Marrón oscuro
2	7,5 Y.R 3/3	Marrón oscuro	7,5 Y.R 2,5/2	Marrón muy oscuro
3	10 Y.R 3/3	Marrón oscuro	10 Y.R 3/1	Marrón muy oscuro
4	10 Y.R 4/4	Marrón oscuro amarillento	10 Y.R 3/3	Marrón oscuro
Control.	2,5 Y.R 4/8	Rojo pálido	2,5 Y.R	Rojo oscuro

Con respecto a la tabla 5, los colores obtenidos por Alex Serna son más claros debido que se tuvo que hacer una separación de las cenizas y del suelo mientras que en la tabla 6 , colores respectivos a las muestras recogidas en el año 2018 son más oscuras debido a la incorporación de las cenizas al suelo.

4.3 Carbonatos:

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

Tabla 7: Datos sobre los carbonatos determinados por Alex Serna. (2016)

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

Tabla 8: Datos obtenidos sobre los carbonatos, (2018).

Muestra	% CaCO ₃ en 100g de suelo seco
1	0,845
2	3,085
3	3,135
4	2,245
Control	10,355

Como podemos observar, la muestra 1 (Tabla 8) presenta un porcentaje más bajo, el cual no excede del valor 1 , por lo que siguiendo la clasificación de Yanez-1989 clasificamos el % en Carbonatos de este suelo como muy bajo.

Las muestras 2 y 3 tienen un valor aproximado a 3 % y la muestra 4 a un valor de 2; por lo que, siguiendo la misma clasificación, los suelos presentan también un valor muy bajo en carbonatos.

Por otro lado, el suelo de la muestra Control, tiene un % próximo al valor 10 que responde como un suelo con un % normal en carbonatos.

Siguiendo la clasificación del INRA francés (Gagnard et al. 1988), se trata de un suelo calcáreo.

Si comparamos las tablas 17 y 18 podemos observar que a lo largo el tiempo sea producido un aumento del % de Carbonatos de las muestras 1, 2,3 y 4.

El resultado obtenido sobre el porcentaje de carbonatos en el ANOVA determina que sí que existen diferencias estadísticamente significativas, valor de significación al 95%: 0,036.

4.4 pH:

Después que se ha producido un incendio, se produce una liberación alta de cationes y aniones favorecidos por la aportación de cenizas. Con el tiempo, se observa una reducción del pH y los elementos favorecidos 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.

Tabla 9: Datos sobre el pH determinados por Alex Serna. (2018)

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

Tabla 10: Datos obtenidos sobre el pH, (2018).

Muestra	1	2	3	4	Control.
pH	8,17	8,27	8,08	8,2	8,45

Como podemos observar en las tablas 9 y 10, el pH de las muestras 1 y 2 de los datos del 2018 (Tabla10) han aumentado ligeramente después de 2 años pasados, mientras que, por lo contrario, el pH de las muestras 3 y 4 obtenido en el análisis del 2018 es inferior que al del año 2016.

Muestra 1, 2,3,4 y Control: Los pH obtenidos de las muestras de suelo recogidas determinan que se trata de un suelo presente en un medio Moderadamente básico ($7,8 < \text{pH} < 8,5$)

Los suelos que presentan este pH suelen sufrir una carencia en los siguientes elementos: P, Fe, Cu, Mn, Zn.

Por último, decir, que existen diferencias estadísticamente significativas dado que el valor proporcionado por el ANOVA es 0,000.

4.5 Conductividad eléctrica (Prueba previa a la de la salinidad).

La concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo se mide mediante la conductividad eléctrica (CE). La CE es la medida de la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica. El valor será más alto cuanto más fácilmente se mueva la corriente eléctrica a través de él. Los iones que suelen estar en el suelo en

mayor cantidad son los aniones de sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-) y los cationes de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^+).

Tabla10: Datos sobre la Conductividad Eléctrica (CE), Alex Serna, (2016).

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

Tabla 11: Datos obtenidos sobre la CE, (2018).

Muestra	1	2	3	4	Control.
CE (dS/m)	0,108	0,1227	0,37	0,307	0,0953

Si comparamos los datos sobre la CE de las tablas 10 y 11, podemos observar que los valores de las muestras 1,2 y 4 del año 2018, son inferiores a los del 2016. Pero lo contrario se manifiesta si observamos la muestra 3 en la que se ha generado un aumento de la CE.

Según la tabla de interpretación del extracto 1:5 ($\text{CE}_{1:5}$) y del extracto saturado (CEps) (Cros, 1983) las muestras de suelo recogidas se califican como estar presentes en un medio no salino por lo que no presentan efectos por la salinidad.

El resultado obtenido por el ANOVA sobre la Conductividad Eléctrica muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas (valor de significación al 95% es de 0,315).

4.6 Materia orgánica:

La materia orgánica es esencial para la estabilidad de los suelos y para el mantenimiento de sus propias propiedades físicas y químicas. Los incendios forestales degradan, alteran y modifican la materia orgánica pudiendo generar en la mayoría de los casos la degradación de los ecosistemas terrestres.

Si la intensidad del incendio es alta, el contenido de materia orgánica en el suelo decrece indicando que los horizontes superficiales son los que mayor afectación han tenido por la acción del fuego (Idiazabal, 1997).

Sin embargo, el contenido en materia orgánica en incendios de baja intensidad se produce el aumento de la materia orgánica debido al aporte de materia vegetal al suelo (Guerrero, 1997).

Tabla 13: Datos sobre la materia orgánica(M.O.), Alex Serna, (2016).

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

Tabla 14: Datos obtenidos sobre la materia orgánica (M.O.), (2018).

Muestra	% CO	% MO
1	2,11	4,21
2	2,68	5,36
3	3,1	6,19
4	3,35	6,69
Control	0,47	0,94

Como observamos en los resultados obtenidos en las Tablas 13 y 14 , las muestras de suelo 1,2,3 y 4 tienen todas en común que poseen unos valores de % MO superiores que a los valores que responden las muestras Control. Esto es debido a que en los incendios de baja o moderada intensidad existe un aporte de MO a las capas superficiales que forma un suelo debido al aporte nutrientes por parte de las cenizas.

Según la tabla de clasificación sobre la materia orgánica oxidable del método de Walkley Black, los valores superiores a > 3,6 responden a suelos que tienen un valor muy alto en materia orgánica.

Podemos afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas en la Materia Orgánica dado que el valor de significación obtenido al realizar el ANOVA al 95% de confianza es 0,001

4.7 Extracto de la pasta saturada:

Los resultados de los años 2016 y 2018 obtenidos del extracto de saturación se pueden ver en las Tablas 15 y 16, en las cuales se muestra la conductividad eléctrica (CE) expresada en dS/m y los valores obtenidos de Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻.

Tabla 15: Parámetros sobre el extracto de pasta saturada, (Alex Serna, 2016).

Muestra	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	pH	CE (dS/m)
1	1,08	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	3,93
Control	0,57	0,50	0,87	0,59	0,48	7.20	0,35

Tabla 16: Parámetros obtenidos del extracto de la pasta saturada, 2018.

Muestra	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	pH	CE (dS/m)
1	1,52	0,49	2,97	1,35	1,29	8,08	0,652
2	0,99	0,32	3,1	1,3	0,87	8,18	0,564
3	2,18	0,85	8,07	2,58	1,83	8,19	1,79
4	1,66	0,84	4,6	2,17	1,61	8,24	1,21
Control.	0,79	0,12	1,91	0,6	1,02	8,21	0,31

Como podemos comparar en las Tablas 15 y 16 de forma general se ha producido una disminución de los contenidos de los cationes y aniones solubles en el suelo, como consecuencia de una inicial incorporación de estos al suelo y un posterior lavado debido a las lluvias. Aunque se observa un ligero aumento del pH, por causa del incremento del contenido de carbonatos en el suelo, como hemos comentado anteriormente. Y el valor de la CE ha disminuido al disminuir el contenido de estos elementos en el suelo, por pérdidas por lavado y por el consumo de ellos por el crecimiento de la vegetación, indicando procesos de recuperación

El resultado obtenido por el ANOVA para la concentración de sodio, potasio, calcio y cloro no presenta diferencias significativas (valores de significación al 95% para el sodio 0,887, potasio 0,422, calcio 0,264 y para el cloruro 0,501), pero encontramos la situación opuesta en la que, la concentración del magnesio presenta diferencias estadísticamente significativas debido a que su valor de significación en el intervalo de confianza (95%) de 0,010.

4.8 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):

La capacidad de cambio catiónico de un suelo se define como la capacidad máxima que tiene un suelo para retener cierto número de cationes metálicos.

Tabla 17: Datos sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico, (Alex Serna, 2016).

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

Como se puede observar en la tabla 17, los valores de las muestras 1, 2, 3 y 4 son inferiores a los de la muestra Control.

Como afirman varios autores (Oswald, et al., 1999, Badía y Martá, 2003), la CIC desciende después de los incendios debido a la pérdida de materia orgánica.

Tabla 18: Datos obtenidos sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), 2018.

Muestra	CIC (cmol _c /Kg)
1	29,97
2	28,06
3	31,37
4	33,43
Control	42,58

Como podemos ver en las Tablas 17 y 18 los valores de CIC han disminuido desde el incendio hasta la actualidad, por motivos son el lavado de nutrientes y de la disminución de la MO y por el crecimiento de la vegetación como ya habíamos comentado anteriormente.

Resultado del ANOVA 95% es de 0,269, porque podemos afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas sobre la CIC.

4.9 Bases de Cambio:

Los suelos que sufren un incendio se provoca una alteración del balance de nutrientes, debido al aporte de las cenizas que se generan al quemarse la materia vegetal.

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.

Tabla 19: Parámetros sobre las Bases de Cambio (B.C.), Alex Serna, (2016).

Muestra	Na ⁺ (cmol _c /kg)	K ⁺ (cmol _c /kg)	Ca ²⁺ (cmol _c /kg)	Mg ²⁺ (cmol _c /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

Tabla 20: Parámetros obtenidos de las Bases de Cambio (B.C.), 2018.

Muestra	Na ⁺ (cmol _c /Kg)	K ⁺ (cmol _c /Kg)	Ca ²⁺ (cmol _c /Kg)	Mg ²⁺ (cmol _c /Kg)	% V Saturación en bases
1	0,69	0,68	8,6	2,15	40,42
2	0,55	0,52	11,73	1,85	52,18
3	0,86	0,83	16,02	3,17	66,57
4	1,36	1,4	15,33	3,26	63,85
Control	0,92	0,69	15,72	2,56	88,04

De forma general (Tabla 19 y 10) los valores de las bases cambio ha disminuido por causa semejantes a la CIC, pero hay que destacar que el Ca²⁺ se ha incrementado ligeramente en el complejo de cambio debido a ese incremento del contenido de carbonatos en el suelo.

El resultado obtenido por el ANOVA para las bases de cambio no presenta diferencias estadísticamente significativas (valor de significación para el Na: 0,341, el K: 0,736 y el

Ca: 0,945), excepto para el Mg al presentar un valor de significación de 0,048 en el límite de p-valor 0,05.

5. Conclusiones:

Una vez realizada la exposición de resultados de las analíticas de los suelos dos años después del incendio de Carcaixent, presentamos las siguientes conclusiones:

- La disminución de las fracciones finas en la textura del suelo (arcillas y limos) es debido a la erosión provocada por las lluvias desde el incendio hasta la actualidad, como consecuencia de la ausencia de la cobertura vegetal eliminada por la acción del fuego.
- El suelo de la zona quemada presenta en la actualidad un color más oscuro con respecto al año 2016, debido a la incorporación de las cenizas en el primer horizonte del suelo.
- En cuanto a la cantidad de carbonatos en el suelo, se ha visto aumentada debido al aporte de este compuesto por parte de las cenizas generadas como consecuencia del incendio de la flora presente en la zona.
- El pH de este suelo estudiado ha sufrido un ligero aumento en comparación con los datos de Alexander Serna (2016) debido al incremento de la cantidad de carbonatos en el suelo, como hemos comentado anteriormente.
- En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E.), se han producido 2 situaciones:
 - o En la primera situación, la conductividad eléctrica de las muestras 1 y 2 se ha sufrido una disminución;
 - En la segunda situación ocurre totalmente lo contrario debido a que en la prueba previa a la de la salinidad del suelo, la conductividad eléctrica de las muestras 3 y 4 se ha visto incrementada.
 - Este fenómeno es producido dado que en el área de estudio donde fueron recogidas estas muestras, existe una zona de lavado de nutrientes y erosión, y una zona de deposición debido a la fisiografía de la ladera.
- El contenido en porcentaje de la cantidad de materia orgánica (% M.O.), ha aumentado debido a que en los incendios de baja o moderada intensidad como

se ha producido en este caso, existe un aporte de materia orgánica en los horizontes más superficiales del suelo a causa del aporte de nutrientes por parte de las cenizas.

- Los análisis realizados sobre los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y sobre el anión Cl^- en el extracto de saturación, muestra una disminución de dichos elementos como consecuencia de una inicial incorporación al suelo seguido de un lavado por la acción de las precipitaciones.
- La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) ha disminuido conforme han pasado los años debido al lavado de los nutrientes por las precipitaciones producidas.
- En último lugar, las bases de cambio del suelo se han visto por lo general disminuidos por la misma causa que en la capacidad de intercambio catiónico, excepto en el contenido de calcio (Ca^{2+}) que ha sufrido un ligero aumento por la cantidad de carbonatos presentes en el suelo.

6. Bibliografía:

Adriano, D.C., Weber, J.T. (2001). Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment. *Journal of Environmental Quality* 30(2), 596-601.

Almendros Martín, G., González-Vila, F.J., González-Pérez, J.A., Knicker, H., Rosa Arranz, J.M. (2010). Título del capítulo. En: Cerdà A, Jordán A (Eds), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de suelos afectados por incendios forestales, Cátedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València. Valencia. Capítulo 3.0, pp. 378-379.

Arianoutsou, M., Beard, J.S., Ferrés, L., Folch, R., Trabaud, L.V. (1993). La vida a les formacions escleròfil, les Mediterrànies (Folch, R. coord.). Barcelona, Edit. MAB, UNESCO, 64-109.

Augusto, L., Bakker, M.R., Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems-potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil*, 306(1-2), 181-198.

Badía, D., Marti, C. (2003). Cenizas volantes de centrales y de intensidad de calor efectos sobre las propiedades físicas y químicas de dos suelos contrastantes. *Árida tierra de Investigación y Gestión*, 17(1), 23-41.

Bisdorn, E.B., Dekker, L.W., y Schouten, J.T. (1993). La repelencia al agua de las fracciones de tamiz de suelos arenosos y relaciones con la estructura del suelo y material orgánico. *Geoderma*, 56(1-4), 105-118.

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.