

# Análisis granulométrico de muestras de suelo en áreas forestales sometidas a quema experimental

---

Lucía Orta Méndez

Trabajo de fin de grado - Grado en Biología

Julio 2017



# Índice

<b>Resumen</b> .....	4
<b>Abstract</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	7
Los incendios en ambientes mediterráneos .....	7
Quemas prescritas .....	8
Efectos del fuego sobre las propiedades del suelo .....	9
<b>Materiales y Métodos</b> .....	11
Área de estudio y toma de muestras .....	11
Análisis granulométrico .....	12
<b>Resultados</b> .....	12
<b>Discusión</b> .....	16
<b>Conclusiones</b> .....	20
<b>Conclusions</b> .....	21
<b>Bibliografía</b> .....	22

## Resumen

Muchas propiedades físicas, químicas biológicas de los suelos pueden verse afectadas por los incendios forestales. A pesar de que éstos ocurren de manera natural en los ecosistemas mediterráneos, actualmente se utilizan técnicas como la quema prescrita para evitar el acumulo de material combustible y reducir así la virulencia de éstos.

En este trabajo se han estudiado muestras de suelo superficial recogidas en una zona de repoblación de pino canario con sotobosque de codeso, delimitada por el Área de Medio Ambiente del Cabildo Insular de Tenerife y destinada a la eliminación selectiva de combustibles mediante quemas experimentales, para conocer las posibles variaciones en las propiedades físicas del suelo, más concretamente en la granulometría y la textura del suelo. El objetivo último sería comprobar posibles efectos desfavorables debidos a la quema o a procesos inmediatamente posteriores.

Los resultados indican un predominio de las arenas y los limos en las granulometrías, además de cierta heterogeneidad ocasional entre muestras tomadas una misma parcela. Sin embargo, estos resultados parecen no tener relación con el fuego. No se encontraron grandes variaciones texturales entre los dos grupos de muestras, agrupándose mayoritariamente en torno a la textura franca, francoarenosa y francolimosa. Por tanto, se concluye que no existen grandes variaciones en la granulometría y textura del suelo siempre y cuando el incendio sea de severidad leve o moderada.

**Palabras clave:** Granulometría, textura, quema prescrita.

## Abstract

Many physical, chemical and biological properties of soils can be affected by wildfires. Although they occur naturally in Mediterranean-type ecosystems, techniques such as prescribed burning are currently used to prevent the accumulation of fuels and decrease their virulence.

In this work we have studied a series of surface soil samples collected in an area under Canarian pine afforestation, established by the Environmental Department of the Tenerife Insular Council and aimed to selectively remove fuels by experimental burning, so as to find out possible variations in soil physical properties, more precisely in particle-size distribution and soil texture. The main target would be checking for potential unfavorable effects due to burning or immediate subsequent processes.

In general, sand- and silt-sized particles were dominant. Great variations among samples taken at the same plot were occasionally observed. Most of these results, however, cannot be directly related to fire. No large textural variations were found between both groups of samples, which have been mostly found to be loam, sand-loam or silt-loamy types. No large variations in soil particle size distribution and texture are expectable, as long as the fire is of low or moderate in severity.

**Key words:** Particle-size distribution, fire, prescribed burning.



# Introducción

## Los incendios en ambientes mediterráneos

En la Cuenca mediterránea, los incendios forestales son procesos naturales, y se ven favorecidos por la estacionalidad del clima de la zona, caracterizados por la alternancia de veranos secos y calurosos e inviernos frescos y lluviosos.

El fuego y los incendios son una perturbación intrínseca y asociada a la dinámica natural de la mayoría de sistema forestales de la cuenca del Mediterráneo y otras áreas del planeta bajo condiciones climáticas similares, tales como California, Chile, África del sur o Australia (DeBano, 1998).

Además de estar presentes en el Mediterráneo como fenómeno natural mucho antes de que el hombre apareciese, los incendios fueron durante el Plioceno uno de los factores que contribuyeron a configurar, junto al clima, la vegetación mediterránea. Con la aparición de las sociedades de cazadores-recolectores se utiliza el fuego para abrir claros en el bosque y crear zonas más accesibles, favorecer ciertas plantas de interés alimenticio y propiciar mejores zonas de caza. Pero el mayor impacto del uso del fuego se produjo durante el Neolítico. El hombre se convierte en agricultor y ganadero, y necesita amplias zonas para pastos y cultivo que consigue al deforestar mediante el fuego. Estos incendios controlados denominados *rozas*, se han seguido practicando hasta los años 60 en España y en la Europa Mediterránea también con otros fines: controlar plagas y malas hierbas, fertilizar con cenizas, mejorar pastos y modificar el bosque (Bodi, 2012).

La pérdida de suelo por erosión y su posterior degradación constituyen uno de los daños ecológicos más graves ocasionado por los incendios. El suelo es el soporte y la fuente de nutrientes de la vegetación y la fauna, siendo también un cuerpo natural difícilmente recuperable a corto o medio plazo, de modo que su degradación física, química, o biológicas (sobre todo la pérdida de su fracción más fértil y de los nutrientes), hacen que tenga un proceso de regeneración extremadamente lento. Tras el paso de un incendio, la cobertura vegetal queda reducida o eliminada, quedando el suelo desprotegido. La dinámica del agua resulta así mismo seriamente alterada.

En las últimas décadas, muchas regiones mediterráneas del sur de Europa se han visto afectadas por profundos cambios en los usos del suelo. La presión agroganadera ha disminuido notablemente, lo que ha supuesto un incremento de la carga de combustible en estos sistemas y, por tanto, una alteración de la estructura del paisaje (pérdida de fragmentación y/o de diversidad) y del régimen de incendios (Duguy Pedra, 2004), por lo que algunas zonas tradicionalmente sujetas a incendios frecuentes y poco severos, están actualmente sujetas a incendios poco frecuentes pero intensos, como sucede en algunas comunidades de coníferas (Fulé, 2008).

Con todo, no es factible ni deseable eliminar por completo los incendios forestales en los ecosistemas mediterráneos. La supresión total de los incendios puede, a medio o

largo plazo, dar lugar a incendios mucho más destructivos por lo que debemos aprender a coexistir de manera sostenible con los incendios forestales, y no aspirar a eliminarlos por completo (Pausas & Vallejo, 2008). Es necesario pues, gestionar el monte, lo que incluye desbroces o incluso el uso del fuego controlado para combatir los incendios, opción que ya se aplica en numerosos lugares de la geografía española y en países como EEUU o Australia. Esta fue la estrategia usada en el Mediterráneo durante milenios para abrir claros, evitar incendios no controlables, o producir pastos (Bodi, 2012).

Los medios de control del fuego son a menudo incapaces de controlar situaciones que ocurren durante las épocas de incendios. Regiones europeas bastante bien equipadas como el sur de Francia, se enfrentaron a unas situaciones realmente complicadas a pesar de sus cientos de bomberos y el uso extensivo de equipos terrestres y aéreos empleados.

Durante la estación seca de 2003, murieron tanto ciudadanos como bomberos, y cientos de edificios, coches y otros recursos fueron destruidos. Los límites de las estrategias tradicionales basadas en los medios de extinción se han hecho así patentes. Por tanto, el control de los incendios y la preservación de los ecosistemas en Europa requiere nuevas prácticas de manejo forestal conjuntamente con el incremento de la conciencia política y social a través del conocimiento y la tecnología. Esta paradoja del fuego (a más medios de extinción, incendios más virulentos) se ha observado en muchos lugares, pero en Europa (algunos años más tarde que en América del Norte), también se hace evidente que el cambio de uso del suelo puede contribuir a este efecto paradójico, al aumentar la biomasa vegetal no utilizada. Sin embargo, a veces las políticas de "quemar" no pueden llevarse a cabo porque las zonas más propensas a incendios, las zonas silvestres se entremezclan con áreas urbanas (interfaz urbano-forestal) (Rego, Alexandrian, Fernandes, & Rigolot, 2007).

### **Quemas prescritas**

El fuego ha sido históricamente usado como una herramienta más, ya sea para reducir zonas arboladas y hacer cultivos, regenerar pastos, crear espacios abiertos para promover la caza o eliminar vegetación agrícola (Plana, 2016).

La quema prescrita se ha utilizado anteriormente en diversas civilizaciones. Se originó cuando los humanos adquirieron la habilidad de provocar y de extinguir incendios. Algunos incendios eran suprimidos, mientras otros eran fomentados para quemar el exceso de materia vegetal. Los pueblos de América y los europeos colonizadores, utilizaron incendios para mejorar pastizales duros e incomibles y poder utilizar algunos brotes más tiernos que crecían después de la quema.

La quema prescrita puede definirse como una quema planificada y controlada de despojos de corta, y de matorral en pie, en una masa forestal como instrumento de prevención de incendios (Real Academia de Ingeniería, 2012). Constituye así una herramienta de utilidad en el control de la bio y necromasa vegetal que constituye el combustible de los incendios forestales de verano (Vega & Fernández, 2000).

Con ella se pretende reducir el combustible sobre el terreno para así interrumpir la continuidad horizontal y vertical de grandes áreas de matorral, favoreciendo el rebrote de nuevos vástagos y el reciclaje rápido de nutrientes contenidos en la materia vegetal.

La quema prescrita requiere una adecuada planificación que permita, por un lado, reunir y evaluar toda la información del área de interés antes de comenzar la quema, así como asegurar que la ésta se conduce ordenadamente y con destreza. Existen, por tanto, dos niveles de planificación: un nivel general y un plan de quema. El primero cubre toda una unidad de gestión, mientras que el segundo, atañe a una quema individual o a un grupo de quemas en una subzona de la unidad de gestión del plan general. Para la redacción del plan general es necesario un conocimiento suficiente de la piroecología de las especies presentes en la zona donde se va a llevar a cabo la quema. (Molina, Unit of Forest Fires, 2000)

Además, son necesarias ciertas condiciones climáticas (que conforman las llamadas *ventanas de prescripción*) para proceder a una quema controlada: temperaturas moderadas (aprox. 20°C), condiciones de viento débil o moderado ( $< 10 \text{ km.h}^{-1}$ ), alta humedad relativa (60%), baja exposición, y pendiente del terreno no excesivamente abrupta. El papel de esta última es fundamental, por su efecto sobre la columna de convección, de modo que a mayor inclinación, mayor probabilidad de contacto directo entre las llamas y las copas de los árboles (Colprofoth, 2010). La dirección hacia la que se dirige el humo también debe tenerse en cuenta, según la ubicación de las áreas habitadas vecinas, si las hubiera, de modo que la quema solamente se llevará a cabo en caso de que la dirección del viento sea contraria a la de la población.

### **Efectos del fuego sobre las propiedades del suelo**

Los incendios forestales pueden afectar a un amplio abanico de propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, pudiendo causar una pérdida irreversible de su calidad (Hernández & al, 2013). El interés del estudio de las propiedades físicas y químicas de los suelos forestales afectados por el fuego se basa en valorar la dinámica del agua y la calidad de la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes, la posible pérdida de materia orgánica, y el incremento de la escorrentía superficial, que lleva como resultado un mayor grado de erosión (Afif Khouri & Oliveira Prendes, 2006).

Las características físicas del suelo son una parte esencial en la evaluación de su calidad. Desde el punto de vista físico, la calidad del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, las propiedades mecánicas, la circulación de fluidos y la estabilidad frente a agentes externos (i.e., erosión), y se estima con indicadores (estáticos y dinámicos), así como la medición de atributos que dependen del uso y manejo. La textura, estructura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, infiltración, profundidad útil del suelo, su capacidad de almacenamiento de agua y conductividad hidráulica saturada son algunas propiedades físicas del suelo consideradas generalmente como indicadores de calidad (García, 2012).

Diversos autores han comprobado cambios limitados de textura en suelos afectados por el fuego, siendo la fracción arcilla la más sensible a dichas variaciones. Así, temperaturas cercanas a los 400°C pueden afectar a la estructura e hidratación de las arcillas, induciéndose su destrucción completa a temperaturas entre 700-800°C. La fusión de partículas de cuarzo ocurre a temperaturas extremas ( $T > 2500^{\circ}\text{C}$ ), lo que tiende a engrosar la textura y aumentar el riesgo de erosión, aunque este proceso no es frecuente en incendios de baja y media severidad (Pascual Granged, 2011).

La estabilidad de los agregados puede aumentar tras incendios de baja o moderada severidad, debido a la formación de una película hidrofóbica en su superficie externa. Sin embargo, dicha estabilidad puede decrecer drásticamente cuando, a altas temperaturas, se descomponen los componentes orgánicos que actúan a modo de cemento entre partículas del suelo. En este último caso, los agregados supervivientes pueden ser más estables que los originales debido a la formación de óxidos de Fe que actúan como agentes cementantes (Certini, 2005).

Por el contrario, la densidad aparente aumenta como resultado del colapso de los complejos arcilla-humus, y al sellado por obstrucción de los poros del suelo, ya sea por las cenizas o partículas dispersas de arcilla. Esto implica un descenso en la capacidad de infiltración de agua, así como de la retención de humedad útil, acentuando la escorrentía y la erosión superficial (Certini, 2005).

Un efecto directo de los fuegos de severidad moderada es la creación de una capa subsuperficial y continua, repelente al agua, más o menos paralela a la superficie, que merma la permeabilidad del suelo siendo así que, a veces, la conductividad hidráulica puede disminuir hasta un 40%. La profundidad de localización de esta capa repelente al agua depende del calor desprendido durante la combustión, así como de otras propiedades del suelo, tales como la humedad, porosidad o textura, y raramente excede los 6-8cm. A menudo, debido al patrón irregular de severidad del fuego, las porciones de suelo hidrófobo se alternan horizontalmente con porciones de suelo permeable, adoptando una disposición típicamente parcheada (Certini, 2005).

En este estudio, se ha estudiado la granulometría y la textura de un conjunto de muestras de suelo, antes y después de una quema experimental planificada por el Área de Medio Ambiente del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife, recogidas en un área de pinar repoblado (dominado por *Pinus canariensis*), con sotobosque mayoritariamente formado por *Adenocarpus viscosus*, una especie altamente inflamable que podría hacer que los incendios en esta zona adquirieran carácter virulento. El objetivo último de este trabajo sería comprobar posibles alteraciones en la granulometría y/o textura atribuibles al fuego y responsables en última instancia de su degradación física.

# Materiales y Métodos

## Área de estudio y toma de muestras

El estudio se ha llevado a cabo en un área paralela a la carretera TF-24 que une San Cristóbal de La Laguna y El Portillo, aproximadamente a 500 m al oeste del cruce entre dicha carretera y la carretera local TF-523, que conduce desde la dorsal a Arafo y Güímar (Imagen 1). El área ha sido delimitada por los responsables del Área de Medio Ambiente del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife y se extiende aproximadamente sobre 8.5 ha, quedando dividida en 21 parcelas. En cada una de ellas se han tomado tres muestras de suelo, en ubicaciones al azar. Las parcelas 1, 2, 3, 4 y 12 han sido sometidas a quema experimental. Las parcelas se distinguen por números y las muestras tomadas en cada parcela por letras. Las muestras corresponden a la superficie del suelo (< 5cm) y se almacenaron en bolsas de plástico. Una vez en el laboratorio se secaron al aire y se pasaron por un tamiz metálico de 2mm de luz de malla para su posterior análisis.

La vegetación de la zona de interés consiste en una plantación de pino canario (*Pinus canariensis*), con un sotobosque donde la especie dominante es el codeso (*Adenocarpus viscosus*), siendo ésta precisamente la razón que ha hecho aconsejable el tratamiento de quema experimental, dada la biomasa de matorral existente, así como su inflamabilidad y combustibilidad.

La litología del terreno corresponde a coladas basálticas sub-recientes (Serie III), mientras que los suelos son Cambisoles y Leptosoles (IUSS Working Group, 2014) según la pendiente del terreno, la cual varía con la orientación, de tal modo que las parcelas orientadas hacia el sur se asientan sobre pendientes menos inclinadas.

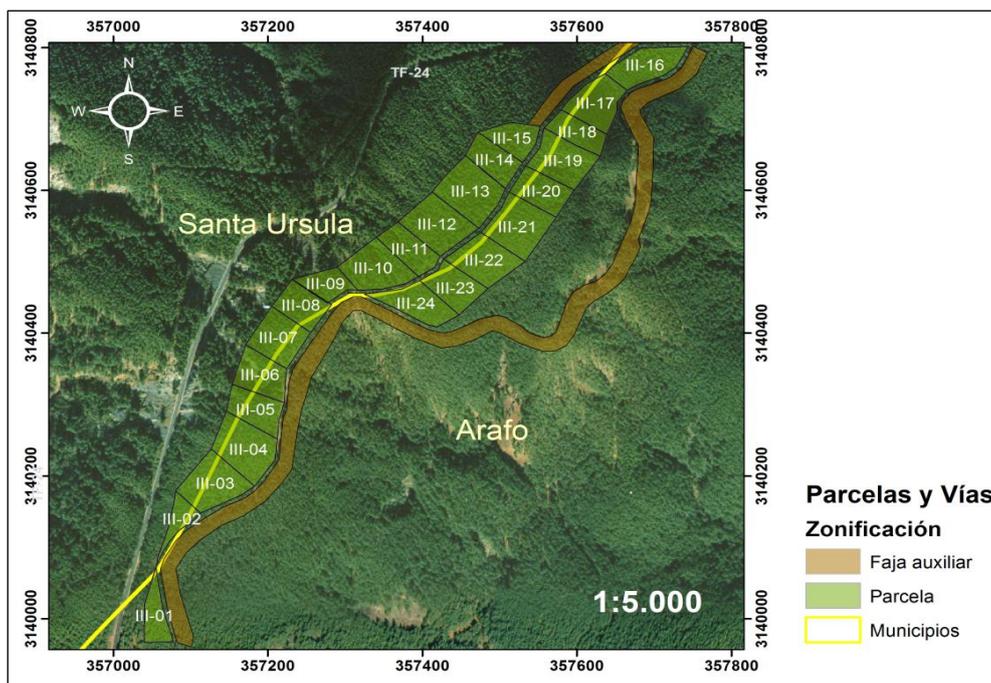


Imagen 1.-Ubicación de las parcelas en la zona de estudio.

## **Análisis granulométrico**

Se utilizó el método de medida de densidad conocido como densímetro de Boyoucos (1962) (Boyoucos, 1962). Se pesaron 40 g de cada muestra y se colocaron en una botella de plástico, a la que se le añadieron 50 ml de dispersante (35,7 g de polifosfato de sodio y 2,94 g de carbonato sódico anhidro disueltos en un litro de agua destilada), y 200 ml de agua destilada, para proceder a su dispersión en agitador rotatorio durante una noche.

El contenido de las botellas se traspasa a probetas de vidrio de 1 litro, enrasando el volumen final con agua destilada. La suspensión resultante se agita con una varilla metálica durante un minuto para homogeneizarla, midiendo la densidad utilizando el densímetro a 1,3 y 10 minutos, y 7 y 16 horas tras el fin de la agitación. Además, se midió la temperatura en cada caso utilizando un termómetro de vidrio. Conjuntamente con las muestras, se realizaron estas mismas medidas en una probeta sin suelo añadido, a modo de blanco o control.

Con los datos de estas mediciones, y en una hoja de cálculo previamente diseñada, se construyeron rectas de regresión entre el diámetro de las partículas y su porcentaje, para así determinar la proporción de partículas con diámetros inferiores a 50, 20 y 2µm, correspondientes a los límites superiores de los limos grueso y finos y la arcilla, respectivamente según el criterio del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

La separación de arenas finas y gruesas se llevó a cabo haciendo pasar el contenido inicial de la probeta sucesivamente a través de dos tamices con luz de malla de 0,2 y 0,05 mm, lavando con agua las arenas retenidas para eliminar así los restos de partículas finas. Luego, los tamices fueron secados en una estufa a 60°C durante 48 horas (como mínimo), tras las cuales se pesaron los contenidos de arena gruesa y fina. La suma total de las fracciones (limo, arcilla y arena), admite un error máximo de ±5%, repitiéndose el análisis en caso de excederse este límite.

En todos los casos, es necesario conocer el contenido de humedad en la muestra seca al aire antes de proceder al análisis. Para ello, se pesaron 10 g de muestra en recipientes metálicos, los cuales se desecaron en estufa a 105°C durante 48 horas (mínimo), y se pesaron para calcular el porcentaje de humedad de acuerdo con la ecuación 1:

$$\%Humedad = \frac{(Pesohúmedo - Pesa 105^{\circ}C)}{Pesa 105^{\circ}C} \times 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

## **Resultados**

A continuación (Tablas 1 y 2) se muestran los resultados del análisis granulométrico. Los valores tabulados representan el conjunto de valores de las tres réplicas tomadas en cada parcela.

Parcela	Status	Estadístico	Arena Gruesa	Arena Fina	Limo Grueso	Limo Fino	Arcilla
1	Q	Promedio	25,81	19,08	12,06	30,30	12,75
		SD	3,89	5,54	1,25	3,14	3,61
		CV	15%	29%	10%	10%	28%
2	Q	Promedio	28,26	20,85	12,34	31,02	7,52
		SD	5,22	8,07	2,38	5,99	6,45
		CV	18%	39%	19%	19%	86%
4	Q	Promedio	26,42	13,23	13,74	34,52	12,09
		SD	6,78	2,07	1,08	2,70	1,51
		CV	26%	16%	8%	8%	12%
5	NQ	Promedio	35,99	18,20	7,00	17,60	21,21
		SD	9,00	1,65	6,68	16,78	13,44
		CV	25%	9%	95%	95%	63%
6	NQ	Promedio	35,37	12,54	9,37	23,55	19,16
		SD	4,82	0,73	5,20	13,05	18,36
		CV	14%	6%	55%	55%	96%
7	NQ	Promedio	24,31	9,78	14,10	35,43	16,38
		SD	10,91	5,46	2,89	7,27	6,29
		CV	45%	56%	21%	21%	38%
8	NQ	Promedio	27,07	14,29	13,26	33,31	12,06
		SD	5,07	3,35	2,25	5,66	4,55
		CV	19%	23%	17%	17%	38%
9	NQ	Promedio	31,37	23,52	11,03	27,72	6,35
		SD	6,45	3,95	0,66	1,67	0,72
		CV	21%	17%	6%	6%	11%
10	NQ	Promedio	31,09	26,20	10,44	26,24	6,03
		SD	1,93	4,87	0,97	2,43	3,50
		CV	6%	19%	9%	9%	58%
12	Q	Promedio	31,41	25,00	10,99	27,61	5,00
		SD	4,17	2,80	0,61	1,54	5,52
		CV	13%	11%	6%	6%	111%

**Tabla 1.-** Estadísticos descriptivos para las parcelas del área de estudio (tres muestras por parcela). SD: desviación estándar; CV: coeficiente de variación de Pearson. AG: Arena gruesa; AF: Arena fina; LG: Limo grueso; LF: Limo fino; a: Arcilla; Q: Muestras quemadas; NQ: Muestras no quemadas. Promedio y desviación estándar expresados en porcentaje.

Parcela	Status	Estadístico	Arena Gruesa	Arena Fina	Limo Grueso	Limo Fino	Arcilla
16	NQ	Promedio	32,81	22,38	8,40	21,10	15,31
		SD	2,88	3,28	4,14	10,40	15,20
		CV	9%	15%	49%	49%	99%
17	NQ	Promedio	27,41	19,91	11,20	28,15	13,33
		SD	4,27	1,57	1,83	4,59	1,35
		CV	16%	8%	16%	16%	10%
18	NQ	Promedio	30,79	19,69	10,98	27,59	10,95
		SD	6,16	1,08	1,00	2,52	3,25
		CV	20%	6%	9%	9%	30%
19	NQ	Promedio	37,51	22,54	7,24	18,20	14,49
		SD	7,446	2,631	3,710	9,323	12,546
		CV	20%	12%	51%	51%	87%
21	NQ	Promedio	41,23	21,94	7,85	19,73	9,26
		SD	21,06	0,79	4,30	10,82	5,72
		CV	51%	4%	55%	55%	62%
22	NQ	Promedio	22,33	22,32	12,00	30,15	13,20
		SD	5,94	0,45	2,12	5,34	6,11
		CV	27%	2%	18%	18%	46%
23	NQ	Promedio	28,65	20,16	10,46	26,28	14,45
		SD	1,36	6,48	0,06	0,14	5,19
		CV	5%	32%	1%	1%	36%
24	NQ	Promedio	39,58	28,67	6,85	17,22	7,69
		SD	10,35	6,75	4,05	10,17	1,81
		CV	26%	24%	59%	59%	24%

**Tabla 2.-**Estadísticos descriptivos para las distintas parcelas dentro del área de interés (continuación). Notación como en Tabla 1.

En general, y salvo raras excepciones, hay un predominio de las arenas y los limos sobre las arcillas, como cabe esperar en suelos forestales y en la situación topográfica donde se halla el área de interés, lo que permite anticipar texturas entre francoarenosas y francolimosas. Los coeficientes de variación son por lo general muy ajustados para todas las fracciones, salvo en algunos casos concretos(parcelas 2, 5, 6, 7, 12, 16, 19 y 21), siendo destacable la parcela 12, sometida a fuego experimental, que presenta un coeficiente de variación extremo para las arcillas (111%). No obstante, sólo dos de estos casos corresponden a parcelas quemadas, por tanto la heterogeneidad en la

granulometría no guardaría, en apariencia, relación con la quema experimental sino que sería una característica preexistente en las parcelas.

En la mayor parte de los casos mencionados, los coeficientes de variación elevados están asociados a valores bajos o muy bajos de arcilla, lo que da relevancia a las diferencias entre puntos de muestreo si resultan ser muy variables. El resto de las parcelas presenta valores más homogéneos entre réplicas. La fracción granulométrica con un rango más extenso es la arena gruesa, con porcentajes entre el 6,19 y el 51,09%.

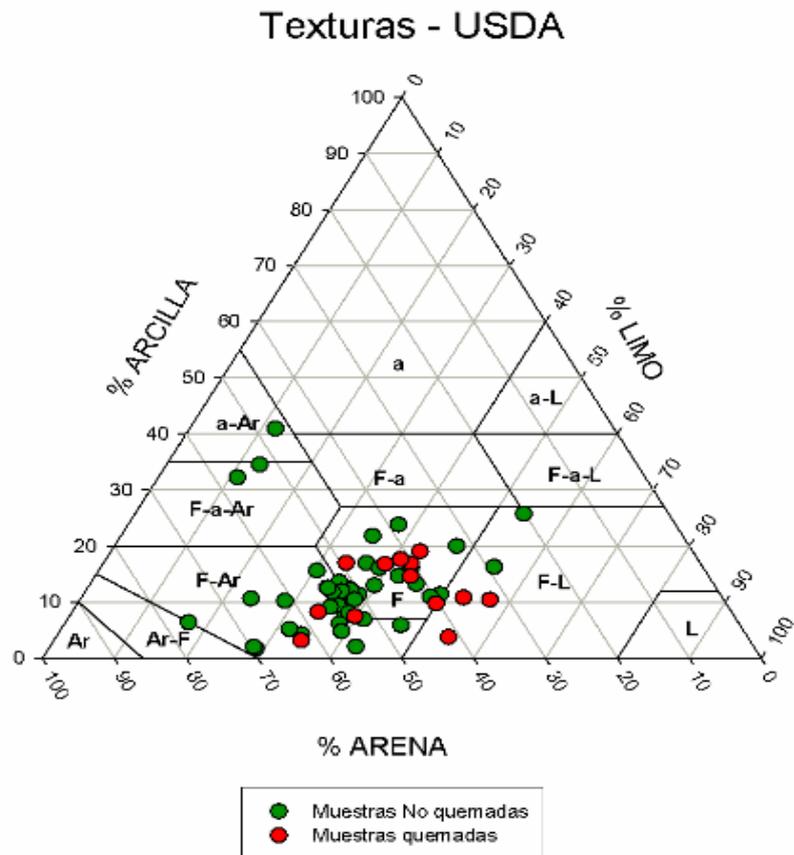
Por tanto, los coeficientes de variación raramente son superiores al 30%, lo que nos da a entender que las parcelas son, por lo general, muy homogéneas en términos de distribución de fracciones granulométricas, por lo que previsiblemente las texturas asociadas estarán concentradas en unas pocas clases texturales.

Cabe destacar las variaciones de limos y las arcillas observadas en las parcelas 2, 5, 6, 12, 16, 19, 21 o 24, donde los respectivos coeficientes de variación superan el 50%. La mayor parte de este grupo de parcelas se asienta sobre pendientes relativamente pronunciadas. Sin embargo, otras parcelas adyacentes a éstas, en posición topográfica similar presentan la homogeneidad generalizada ya puesta de manifiesto anteriormente. Estos datos indican que en algunos casos es posible hallar desigualdades en las texturas de las réplicas dentro de una misma parcela, si bien no por causa de la quema prescrita.

La representación gráfica de los análisis granulométricos en un diagrama textural (Figura 1) indica que las muestras de suelo sometidas a quema prescrita (en rojo), son de textura franca, franco-arenosa, o franco-limosa, tal y como se podía anticipar del examen de los datos de las tablas 1 y 2. Las muestras no quemadas (en verde), si bien se concentran mayoritariamente en torno a estas mismas categorías, derivan a veces hacia texturas más extremas, (arenosa franca, arcilloarenosa o francoarcillolimosa), destacando en este sentido las parcelas 6, 5 y 16 donde la proporción de arcilla es muy superior al resto.

Dado el desequilibrio de tamaño entre los dos grupos de muestras, recurriremos a una prueba estadística no paramétrica (U de Mann-Whitney, Tabla 3) para comprobar si las diferencias observadas entre ambos grupos de muestras son o no estadísticamente significativas. En este caso, los p-valores asociados son inferiores a la significación elegida ( $p=0,05$ ) para los porcentajes de arena gruesa y limos, tanto gruesos como finos, y no así para la arena fina (0,189) y la arcilla (0,557). Además, es importante señalar que, por lo general, las arenas gruesas predominan en las muestras no quemadas, mientras que los limos se encuentran en mayor proporción en las parcelas quemadas.

Así pues, pese a existir una diferencia estadísticamente significativa entre las fracciones granulométricas, las texturas son bastante similares en muchos casos, sin apreciarse grandes diferencias texturales entre las parcelas quemadas y no quemadas.



**Figura 1.-** Texturas de las muestras, según criterio USDA para arenas y limos.

Pese a que algunas muestras aisladas son más arcillosas, no se aprecian diferencias significativas de contenido de arcilla entre los dos grupos de muestras ( $p= 0,557$ ).

Comparación de grupos de muestras					
	AG	AF	LG	LF	a
<b>U de Mann Whitney</b>	185,00	222,00	158,00	158,00	261,00
<b>p-valor</b>	0,045	0,189	0,012	0,012	0,557

**Tabla 3.-** Análisis estadísticos. Prueba de U Mann-Whitney. AG: Arena gruesa; AF: Arena fina; LG: Limo grueso; LF: Limo fino; a: Arcilla.

Cuando se suman arenas y limos finos y gruesos para obtener las arenas y limos totales, se observa que en la gran mayoría de los casos la fracción arena predomina en todas las parcelas, tal y como podía deducirse del diagrama textural (Figura 1), donde la mayoría de las muestras se agrupan en la clase de textura francoarenosa. Los coeficientes de variación son generalmente superiores al 30%, sobre todo en los limos, lo que indica que las parcelas son más heterogéneas desde el punto de vista textural que lo que cabía inferir al separar arenas y limos finos y gruesos.

Muestra	Status	Estadístico	Arenas	Limos
1	Q	Promedio	22,45	21,18
		SD	5,65	10,22
		CV	25%	48%
2	Q	Promedio	24,65	21,68
		SD	7,31	11,01
		CV	30%	51%
4	Q	Promedio	19,83	24,13
		SD	8,50	11,53
		CV	43%	48%
5	NQ	Promedio	27,09	12,30
		SD	11,33	12,81
		CV	42%	104%
6	NQ	Promedio	23,96	16,46
		SD	12,88	13,15
		CV	54%	80%
7	NQ	Promedio	17,04	24,77
		SD	11,08	12,69
		CV	65%	51%
8	NQ	Promedio	20,68	23,29
		SD	7,99	11,64
		CV	39%	50%
9	NQ	Promedio	27,45	19,38
		SD	6,43	9,21
		CV	23%	48%
10	NQ	Promedio	28,64	18,34
		SD	4,26	8,81
		CV	15%	48%
12	Q	Promedio	28,20	19,30
		SD	4,73	9,17
		CV	15%	48%

**Tabla 4.-**Estadísticos descriptivos para el total de arenas y limos. SD: desviación estándar; CV: coeficiente de variación de Pearson. Q: Muestras quemadas; NQ: Muestras no quemadas. Promedio y desviación estándar expresados en porcentaje.

Existen algunos casos extremos, como la parcela 5, donde el coeficiente de variación para los limos llega a alcanzar un 104%, por lo que en este caso la dispersión de los datos obtenidos para esta fracción en las diferentes réplicas sería máxima.

<b>Muestra</b>	<b>Status</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Arenas</b>	<b>Limos</b>
<b>16</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	27,06	14,75
		<b>SD</b>	6,35	9,93
		<b>CV</b>	26%	67%
<b>17</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	23,66	19,68
		<b>SD</b>	5,02	9,79
		<b>CV</b>	21%	50%
<b>18</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	25,24	19,29
		<b>SD</b>	7,25	9,26
		<b>CV</b>	29%	48%
<b>19</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	30,03	12,72
		<b>SD</b>	9,60	8,74
		<b>CV</b>	32%	69%
<b>21</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	31,58	13,79
		<b>SD</b>	17,01	9,82
		<b>CV</b>	54%	71%
<b>22</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	22,33	21,07
		<b>SD</b>	3,77	10,58
		<b>CV</b>	17%	50%
<b>23</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	24,40	18,37
		<b>SD</b>	6,26	8,67
		<b>CV</b>	26%	47%
<b>24</b>	<b>NQ</b>	<b>Promedio</b>	34,12	12,03
		<b>SD</b>	9,84	8,95
		<b>CV</b>	29%	74%

**Tabla 5.-**Estadísticos descriptivos para el total de arenas y limos. Notación como en tabla 4.  
(Continuación)

En principio, esta dispersión de valores podría ser debida a características de la pendiente y la localización exacta del punto de extracción de las muestras: cabecera, parte media o pie de ladera, donde cabría suponer alguna diferenciación por arrastre de material. Asimismo, pone de manifiesto la necesidad de realizar una toma múltiple de muestras, incluso en trabajos a escala muy localizada, como el aquí presentado.

Tras realizar nuevamente la prueba U de Mann-Whitney para los datos totales de arena y limo, observamos que en este caso sí que hay una diferencia estadísticamente significativa entre grupos tanto para las arenas ( $p=0,017$ ) como para los limos ( $p=0,012$ ), ya que ambos valores son inferiores la significación elegida ( $p<0,05$ ). Sigue predominando la fracción arena en las muestras a pesar de no establecer una diferenciación entre las arenas finas y las gruesas.

<b>Comparación de grupos de muestras</b>		
	<b>Arenas</b>	<b>Limos</b>
<b>U de Mann Whitney</b>	165,000	158,000
<b>Nivel de significación</b>	0,017	0,012

**Tabla 6.-** Análisis estadísticos. Prueba de U Mann-Whitney para porcentajes de arena y limo totales.

## **Discusión**

Ambos grupos de muestras presentan, en la mayoría de los casos, texturas equilibradas (francas o similares), por lo que cabría pensar que el fuego leve o moderado no ha afectado intensamente a esta propiedad del suelo. Sin embargo, en otras localizaciones sobre pendientes abruptas, la pérdida selectiva de la fracción fina por erosión puede conducir a un engrosamiento de la textura (Certini, 2005). En nuestro caso, las muestras no quemadas se agrupan con preferencia en la clase francoarenosa (a pesar de la notable dispersión de texturas que se puede apreciar en algunos casos concretos), mientras que las muestras quemadas son mayoritariamente francas y por lo tanto relativamente más pobres en arena, por lo que, de existir diferencias en las fracciones granulométricas atribuibles a los efectos del fuego, ello no ha resultado en una situación desfavorable.

Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que el fuego prescrito y de baja severidad apenas repercute negativamente sobre las propiedades físicas de los suelos, al menos a la granulometría y la textura. Esta afirmación, no obstante, debe formularse con cierta cautela por las siguientes razones: (i) el limitado número de muestras examinado, (ii) el distinto tamaño muestral entre grupos, y (iii) el corto lapso de tiempo transcurrido entre la quema y el muestreo.

La relación entre el fuego y la pérdida de calidad del suelo ha sido abordada por diversos autores como Arocena (2003), Sacchi (2015) o Hernández (2013), quienes coinciden en que el calor desprendido en las quemadas provoca cambios en las propiedades hidrológicas del suelo, así como alteraciones de los agregados, textura, porosidad y densidad aparente, que resultan en un aumento de la erodabilidad del suelo. Los cambios en la textura inducidos directamente por el fuego o el calor sólo son posibles a temperaturas muy elevadas, fuera de lugar en el caso de estas quemadas experimentales.



**Imagen 2.-**Localización aproximada de la zona de estudio, que muestra la inclinación y orientación de la pendiente.

Mataix-Solera (2007) y otros autores sostienen que uno de los mayores riesgos post-incendio es la pérdida de sedimentos y nutrientes por lixiviación o erosión superficial, especialmente sobre pendientes fuertes o cuando no hay una estructura edáfica y una vegetación adecuadas. Sin embargo, en medios bien adaptados a los incendios, como puede ser una zona poblada con pinar como es el caso de nuestra área de muestreo, la recuperación del estado anterior al incendio, en cuanto al contenido de nutrientes, puede restablecerse en pocos años, mientras el matorral recupera su densidad y altura, protegiendo eficazmente la regeneración incipiente del arbolado. Sin embargo, ciertos cambios debidos a variaciones microclimáticas creadas después del fuego, pueden retrasar el crecimiento de dicha cubierta vegetal, exponiendo durante más tiempo al suelo a los agentes erosivos, tanto hídricos como eólicos (Celis, Jordan, & Zavala, 2013). Al aumentar las tasas de erosión, la pérdida de partículas finas con el tiempo se verá favorecida, dando lugar a una disminución de la estabilidad de los agregados, como ya se ha mencionado anteriormente.

Sin embargo, otros investigadores como Afif (2006) sostienen que la quema del suelo supone un incremento transitorio de la fertilidad, cuando la quema ha sido adecuadamente planificada y controlada. Sin embargo, se ha observado que esta fertilidad puede ser muy efímera, ya que la mayor parte de los nutrientes liberados tras el incendio se pierden en apenas un año, o antes incluso si las primeras lluvias que caen tras el incendio son lo suficientemente intensas (Celis, Jordan, & Zavala, 2013).

A la luz de estos resultados, resulta por tanto que no ha habido cambios drásticos en la textura de las muestras estudiadas, no al menos en el plazo transcurrido entre la quema y la toma de muestras. No puede descartarse que, a más largo plazo puedan aparecer algunos efectos desfavorables. Ahora bien, dado que el estrato arbóreo y las copas de los árboles han permanecido intactos tras la quema, manteniendo su papel protector del suelo, es previsible que dichos efectos desfavorables, si efectivamente han tenido lugar,

habrán sido en todo caso limitados. Hasta donde los datos obtenidos en el presente estudio lo permiten, se puede afirmar que las quemas experimentales llevadas a cabo en el área de interés pueden ser una herramienta adecuada de gestión forestal orientada a la prevención de grandes incendios forestales.

## **Conclusiones**

En el conjunto de las muestras estudiadas predominan en general las arenas y limos sobre las arcillas. La arena gruesa predomina en las muestras no quemadas y los limos en las quemadas, hasta el punto de detectar diferencias significativas entre los dos grupos de muestras en las arenas gruesas y los limos; no así en el contenido de arcilla.

A veces se detectan diferencias importantes en la granulometría de muestras tomadas dentro de una misma parcela. Dicha heterogeneidad podría guardar relación con características relativas al relieve y configuración de la pendiente del terreno, así como con la metodología de muestreo.

Las texturas no son muy diferentes en los dos grupos de muestras, encuadrándose la mayoría en una textura franca, francoarenosa o francolimososa, con algunas excepciones de texturas más extremas, entre arenosa franca a arcilloarenosa.

Por tanto, podríamos decir que el fuego controlado y de baja severidad no afecta de manera directa a las condiciones físicas del suelo, si bien de manera indirecta podría afectar a su erodibilidad. En suma, y al menos a corto plazo, la quema prescrita es una técnica viable para la prevención de grandes incendios forestales en el área de interés.

## **Conclusions**

Sand and silt predominate in the studied samples. Coarse sand predominates in non-burned samples, whereas silt does in the burned samples, to the extent of detecting significant differences between the two sample groups in the coarse sand and silt; not so in the clay content.

Sometimes, significant differences are detected in the particle size distribution of samples gathered within the same plot. Such heterogeneity could be related to slope characteristics, as well as to the sampling methodology.

Essentially, the textures found are not quite different in the two sample groups, being mostly loam, sandy loam or silty loam, save for some samples with more extreme textures, such as loamy sand or sandy clay.

Therefore, we could conclude that low-severity, controlled burnings do not substantially affect soil physical properties, although they could indirectly affect its erodibility. To sum up, and at least in the short term, prescribed burning is a feasible technique to prevent large wildfires in the area of interest.

## Bibliografía

- Afif Khouri, E., & Oliveira Prendes, J. (2006). Efecto del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Invest. Agrar.* , 262-263.
- Arocena, J., & Opio, C. (2003). Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* , 1-13.
- Bodi, M. e. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de Asociación de Geógrafos Españoles* , 33-35.
- Boyoucos, G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* , 54: 464-465.
- Celis, R., Jordan, A., & Zavala, L. (2013). *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos. Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo.* .
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* , 1-10.
- DeBano, L. N. (1998). Fire's effects on ecosystems. *John Wiley, New York* .
- Duguay Pedra, B. (2004). Interacción de la historia de usos del suelo y del fuego en condiciones mediterráneas. Respuesta de los ecosistemas y estructura del paisaje. *ecosistemas* , 95-98.
- Fulé, P. e. (2008). Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest, eastern Spain. *Science Direct* , 1235-1242.
- García, Y. e. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* , 125-138.
- Gregory, A., Matthew, L., & Feng, H. (2010). *Physical geography*. Mont Clair, New Jersey. : Bellwether Publishing.
- Hernández, A., & al, e. (2013). Efectos de un incendio forestal (Tenerife, Islas Canarias, verano del 2007) bajo bosques del pinar sobre algunas propiedades del suelo y su relación con la repelencia al agua a corto y medio plazo. *Spanish Journal of Soil Science* , 56-58.
- IUSSWorkingGroup. (2014). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Reference Base for Soil Resources* .

- Leigh B. Lentile, e. a. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fires effects. *International Journal of Wildland fire* , 319-345.
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2007). *Efecto de los incendios forestales en las propiedades edáficas*. Font Roja-Alcoi. Alicante: CEMACAM.
- Pascual Granged, A. (2011). Efectos a corto y largo plazo sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y de laboratorio. *MED Soil Research Group* , 1-50.
- Pausas, J., & Vallejo, R. (2008). Bases ecológicas para convivir con los incendios forestales en la Región Mediterránea: decálogo. *ecosistemas* , 1-2.
- Plana, E. e. (2016). El fuego y los incendios forestales en el Mediterráneo; la historia de una relación entre bosques y sociedad. *eFIRECOM* , 1-33.
- Rego, F., Alexandrian, D., Fernandes, P., & Rigolot, E. (2007). FIRE PARADOX: An innovative approach of integrated wildland fire management - A joint european initiative. *Wildfire* .
- Sacchi, G., Campitelli, P., Soria, P., & Ceppi, S. (2015). Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. *Spanish Journal of Soil Science* , 215-218.
- Úbeda, X., & Sala, M. (1996). Cambios en la física del suelo e incremento de la escorrentía y la erosión tras un incendio forestal. *IV Reunión de Geomorfología* , 559-572.
- Vega, J., & Fernández, C. e. (2000). Planificar la prescripción para reducir combustibles y disminuir el impacto sobre el suelo en las quemas prescritas. *Cuadernos de la S.E.C.F.* , 189-198.

#### **Páginas Web:**

- *Greenpeace*. (s.f.). Recuperado el 06 de 06 de 2017, de <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf>
- *Ftp FAO*. (s.f.). Recuperado el 03 de 06 de 2017, de [ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao\\_training/fao\\_training/general/x6706s/x6706s07.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s07.htm)
- *Colprofoth*. (2010). Recuperado el 07 de 06 de 2017, de Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Areas Protegidas y Vida Silvestre:

<http://colproforh.org/v2/wp-content/uploads/2015/06/Curso-B%3%A1sico-de-Manejo-del-Fuego-con-Participaci%3%B3n-Comunitaria.pdf>

- Molina, D. (s.f.). *Unit of Forest Fires*. Recuperado el 07 de 06 de 2017, de [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/curso\\_fuego/22-monte.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/curso_fuego/22-monte.pdf)
- *Real Academia de Ingeniería*. (s.f.). Recuperado el 06 de 06 de 2017, de <http://diccionario.raing.es/es/lema/quema-prescrita>