

SOLICITUD DE DEFENSA Y EVALUACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO Curso Académico: 2014/2015	ENTRADA Fecha: Núm:
--	--------------------------------------

Datos Personales

Nº DNI o pasaporte: 54109184M	Nombre y Apellidos: Tomás Mediavilla Carranza
Teléfono: 601369813	Dirección de correo electrónico: alu0100538427@ull.edu.es

SOLICITA la defensa y evaluación del Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

Efectos de las quemas prescritas en la dinámica de los principales nutrientes del suelo en los pinares de Gran Canaria.

Autorización para su depósito, defensa y evaluación

D./Dña. José Ramón Arévalo Sierra	
Profesor/a del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal	
y D./Dña.	
Profesor/a del Departamento de	
autorizan al solicitante a presentar la Memoria del Trabajo Fin de Grado	
Fdo.:	Fdo.:

La Laguna, a 31 de Agosto de 2015

Firma del interesado/a



SR/A. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE GRADO DE LA FACULTAD DE BIOLOGÍA

ULL

Universidad
de La Laguna

Facultad de Biología

Grado en Biología



Efectos de las quemas prescritas en la
dinámica de los principales nutrientes del
suelo en los pinares de Gran Canaria

Impact of prescribed burnings on the dynamics
of the principal soil nutrients in Gran Canaria
pine forests

Tomás Mediavilla Carranza

La Laguna, Septiembre de 2015

Agradezco a mi director José Ramón Arévalo Sierra, y a Silvia Fernández Lugo, sus consejos y ayuda para realizar este trabajo.

Resumen (palabras clave: paradoja del fuego, quemas prescritas, regeneración, suelo)

Tradicionalmente los incendios forestales han sido considerados como un desastre que debía ser prevenido. Sin embargo, la perspectiva científica actual considera al fuego como un elemento más del ecosistema, y a las quemas controladas como una herramienta para prevenir los incendios. En este contexto, el objetivo de este trabajo es valorar el impacto de las quemas prescritas en los nutrientes del suelo en los pinares de Gran Canaria. El área de estudio se dividió en parcelas de quema y control y se obtuvieron medidas de 10 parámetros representativos del suelo en tres épocas diferentes: antes de la quema y 3 y 6 meses después de la quema. Un estudio estadístico basado en el análisis de la varianza (ANOVA de dos factores) de los valores de los parámetros en las parcelas de quema y control durante las tres épocas, indica que 7 de los parámetros no muestran diferencias significativas respecto a los valores de antes de la quema. Las diferencias encontradas en el resto de los parámetros podrían deberse a un retraso en la recuperación o a otros factores también presentes en las parcelas de control. Estos resultados apoyan el método de quema controlada aplicado en el estudio.

Summary (keywords: fire paradox, prescribed burnings, regeneration, soil)

Forest fire has been traditionally considered a disaster that should be prevented. Current scientific perspective, however, considers fire as an element of the ecosystem and controlled burning as a tool to prevent destructive fires. In this context, the main objective of this work is to analyse the effects of the prescribed burning treatment on soil characteristics in pine forests of Gran Canaria. The region under study was divided into plots of burning and control. Measures of 10 representative soil parameters were obtained at three different times: before burning and 3 and 6 months after burning. A statistical study based on analysis of variance (two-way ANOVA) of the parameter values measured in burning and control plots at the three epochs, indicates that 7 of the parameters show no significant differences with respect to the values before burning. The differences found in the remaining parameters could be due to a delayed recovery or to other factors also affecting the control plots. These results support the controlled burning technique used in the study.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS	4
2.1 Área de estudio	4
2.2 Diseño del estudio	5
2.3 Datos	7
2.4 Métodos estadísticos	7
3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	8
3.1 Análisis descriptivo	8
3.1.1 Presentación de los resultados	8
3.2 Análisis estadístico	12
3.2.1 Elección del test estadístico: ANOVA de dos factores	12
3.2.2. Objetivos. Hipótesis nulas. Intervalos de confianza	12
3.2.3. Condiciones para la aplicación de ANOVA	13
3.2.4. Nivel de significación	14
3.2.5. Resultados de ANOVA de dos factores	14
3.2.6. Pruebas post-hoc para las diferencias entre los grupos de quema	16
3.2.7. Pruebas post-hoc para las diferencias entre quema y control	20
3.2.8. Intervalos de confianza normalizados a las medias	24
4. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS	26
5. BIBLIOGRAFÍA	29

El fuego es un mal amo pero puede ser un buen sirviente (adpt. Esopo)

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Históricamente, el fuego ha tenido un papel dominante en la ordenación de muchas comunidades vegetales que forman los bosques (Whelan, 1995). Evidencias en el registro fósil indican que los incendios forestales comenzaron a ocurrir poco después de que la vegetación se estableciese en la superficie terrestre (aproximadamente hace 420 millones de años) (Scott y Glasspool, 2006). Desde hace aproximadamente medio millón de años, cuando el ser humano “descubre el fuego”, se convierte a sí mismo en la primera causa de incendios, accidentales o intencionados, que habrán de transformar por su frecuencia e intensidad la vegetación de gran parte del planeta de un modo rapidísimo, decisivo y profundo. Se podría decir que el uso del fuego ha transformado profundamente a ambos, paisaje y humanidad y una buena muestra de ello es la ingente cantidad de mitos sobre la llegada, el robo o la conquista del fuego que recopila Frazer en su obra “Mitos sobre el origen del fuego” (Frazer, 1967).

El régimen del fuego (relaciones del fuego con un ecosistema) ha cambiado como consecuencia de la actividad humana y las probabilidades de que se produzca un gran incendio han aumentado. La desatención de los cultivos agrícolas tradicionales, el abandono del pastoreo y la disminución de la explotación de los recursos madereros, están dando lugar a mayores cargas de combustible y, en consecuencia, al aumento de la frecuencia y la gravedad de los incendios forestales (Moreira et al., 2011; Molina-Terrén et al., 2006) Los medios de comunicación describen los incendios forestales como un fenómeno con efectos catastróficos debido a los daños económicos que producen, a sus efectos sociales negativos y al peligro que suponen para la vida (Whelan, 1995). Consecuentemente, hasta la década de 1960 el fuego era considerado como un desastre que debía ser prevenido (Komas, 1958; Agee, 1998). Sin embargo, estudios científicos detallados han hecho cambiar esta perspectiva negativa y en la actualidad, el fuego se considera un elemento más del ecosistema, una poderosa fuerza que ha dado forma a los bosques durante miles de años (Amo y Allison-Bunnell, 2002).

En los bosques de coníferas, en particular, los incendios forestales son fundamentales en el desarrollo de diversos procesos ecológicos. Las variaciones espaciales y temporales de los regímenes de los incendios regulan la estructura, diversidad, dinámica de población y

ciclo de nutrientes del bosque (Yermakov y Rothstein, 2006; Drury y Veblen, 2008). Por consiguiente, el fuego no debe ser considerado, en general, como un evento catastrófico desde el punto de vista ecológico (Arévalo et al., 2014) y las quemas prescritas pueden ser una de las herramientas más útiles a la hora de manejar y prevenir los incendios.

Hay varios estudios recientes sobre los efectos del fuego (específicamente sobre las quemas prescritas) en Europa, pero la mayor parte de ellos están relacionados con comunidades de matorrales y pastizales y pocos tratan sobre el pinar, bosque representativo de las Islas Canarias. Se sabe poco acerca del régimen histórico del fuego en las Islas Canarias, lo que hace difícil determinar qué frecuencia e intensidad de quema sería la adecuada para restaurar la vegetación y prevenir grandes incendios. Hay varios estudios experimentales recientes sobre los efectos del fuego en las Islas Canarias con diferentes enfoques pero principalmente centrados en los cambios en la vegetación. Nuestra intención es complementar y extender estos estudios con el análisis del impacto de las quemas prescritas en los nutrientes del suelo.

Muchas propiedades físicas, químicas, mineralógicas y biológicas del suelo pueden verse afectadas por los incendios forestales. La distribución espacial de los recursos del suelo influye en su disponibilidad para las plantas y juega un papel fundamental en la estructura, la composición y la productividad de muchos ecosistemas terrestres a nivel de individuos, poblaciones y comunidades. Una perturbación intensa, como el fuego, puede cambiar la distribución espacial de nutrientes en el suelo. El grado y la duración de estos cambios dependen de la gravedad del fuego, que viene determinada por varios factores ambientales (velocidad del viento, topografía del sitio, etc.) que afectan al proceso de combustión. La severidad del fuego viene definida por dos componentes: intensidad y duración. Fuegos intensos, pero que se mueven rápidamente a otros espacios con mayor carga de combustible, no transfieren excesivo calor a más de unos pocos centímetros por debajo de la superficie. La duración es el componente más dañino, ya que, tras incendios persistentes, la temperatura del suelo puede permanecer elevada hasta varios días. Por consiguiente, las propiedades del suelo pueden experimentar los cambios inducidos por el fuego a corto plazo, a largo plazo o permanentemente, dependiendo principalmente del tipo de propiedad, de la gravedad y frecuencia de los incendios, y de las condiciones climáticas tras el incendio.

El fuego es la mayor perturbación que actúa sobre el ciclo de nutrientes en ecosistemas forestales templados. Se ha demostrado que, tras el incendio y durante el primer año, las quemaduras prescritas aumentan el pH y la disponibilidad de nutrientes (Kutiel y Naveh, 1987; Úbeda et al., 2005; Rau et al., 2008) No obstante, transcurrido el primer año, estos cambios alcanzan valores previos a la quema prescrita. En varios estudios realizados en el pinar canario, este efecto sobre el contenido de los nutrientes parece ser más persistente (Höllermann, 2000; Notario et al., 2004; Durán et al., 2009; Rodríguez et al., 2009; Durán et al., 2010; Hernández et al., 2013), siendo posible detectar algunos cambios en los parámetros de nitrógeno y fósforo hasta 17 años después de los incendios. Por el contrario, en el caso de algunos parámetros como el pH o cationes intercambiables, las diferencias desaparecen en un período de entre varios meses y un año tras el incendio.

El N es el nutriente principal más sensible a la perturbación por los incendios. Las cenizas pueden proporcionar una importante fuente de N a corto plazo después del fuego. Sin embargo, a largo plazo, los fuegos implican una pérdida substancial del N del ecosistema a través de la volatilización y lavado del suelo. En el P la tendencia es similar. Su mayor disponibilidad tras el fuego puede ir seguida de una disminución a largo plazo, debido al descenso del P orgánico, a la menor actividad fosfatasa y a la menor infección micorrícica que se observa tras el fuego. La redistribución de las cenizas de superficie no sólo afecta a los niveles de disponibilidad de nutrientes en el suelo sino también a la heterogeneidad en la disponibilidad de los mismos, lo que podría perjudicar al establecimiento de la vegetación en ecosistemas afectados por el fuego.

El estudio que presentamos se ha diseñado para valorar el impacto de las quemaduras prescritas en la dinámica de nutrientes principales del suelo. Nuestra principal hipótesis de trabajo es que los efectos del fuego en la composición de los principales nutrientes del suelo no son significativos y los parámetros afectados se restituyen en los siguientes años. En concreto, nuestro objetivo es examinar si las quemaduras prescritas modifican los valores de los parámetros del suelo bajo estudio (pH, %MO, %N, ppm P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CE, %SAT) y si estos parámetros pueden volver a sus valores iniciales (o no diferenciarse de los de la muestra de control) transcurridos 6 meses. Con este estudio esperamos obtener una mejor comprensión de las interacciones fuego-nutrientes en el pinar autóctono. La información obtenida en este estudio podría ser útil para diseñar un sistema de manejo y prevención del fuego basado en las quemaduras prescritas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el pinar de las lomas de Cuevas del Caballero, zona localizada al este de Artenara, en Gran Canaria, Islas Canarias, España (UTM-X: 4399000 UTM-Y: 3099700). Este pinar forma parte del Paisaje Protegido de Las Cumbres bajo protección ambiental por la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos (Gobierno de Canarias, 1994).

El área de estudio (Figura 1) está localizada entre 1400 y 1600 m sobre el nivel del mar y está expuesta e influenciada por los vientos del noreste. La temperatura media anual, humedad y precipitación (para 2006-2008) son 17.7°C, 52.2%, y 500 mm, respectivamente. La especie arbórea dominante es *Pinus canariensis* aunque el área incluye otros pinos exóticos plantados como *Pinus halepensis*, *Pinus radiata* y *Pinus pinea*. Se trata de un bosque joven, denso y fragmentado, que apenas ha sido gestionado, y nunca se ha quemado desde que fue replantado hace 60 años. La densidad del pinar es de aproximadamente 600 árboles por ha. La vegetación del sotobosque está dominada por una variedad de arbustivas y herbáceas donde las especies más representativas son *Adenocarpus viscosus* (codesos), *Chamaecytisus proliferus* (tagaste), *Teline microphylla* (retama amarilla), y *Micromeria benthami* (tomillo de Bentham). Una capa profunda con un espesor medio de 5.7 cm cubre el área de estudio en su totalidad. La litología del área de estudio se compone de lavas basanítico-nefeliníticas, basálticas y basáltico olivínico-piroxénicas.

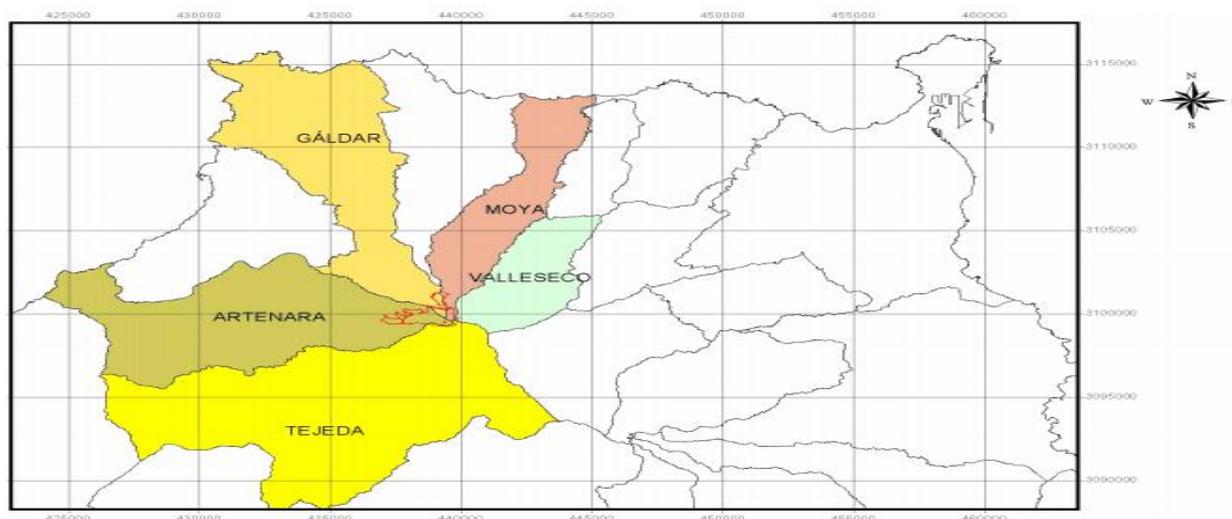


Figura 1. Localización en rojo de las zonas donde se instalaron las parcelas para la realización de las quemas.

2.2 Diseño del estudio:

Se establecieron 12 parcelas permanentes de 30 x 30 m² cada una (Figura 2). Un grupo de 6 parcelas (control/tratamiento) fue instalado en la fachada norte de la finca donde hay una población más abierta con matorral. El otro grupo de 6 parcelas se instaló en la vertiente sur, donde hay un pinar más denso y casi sin matorral.

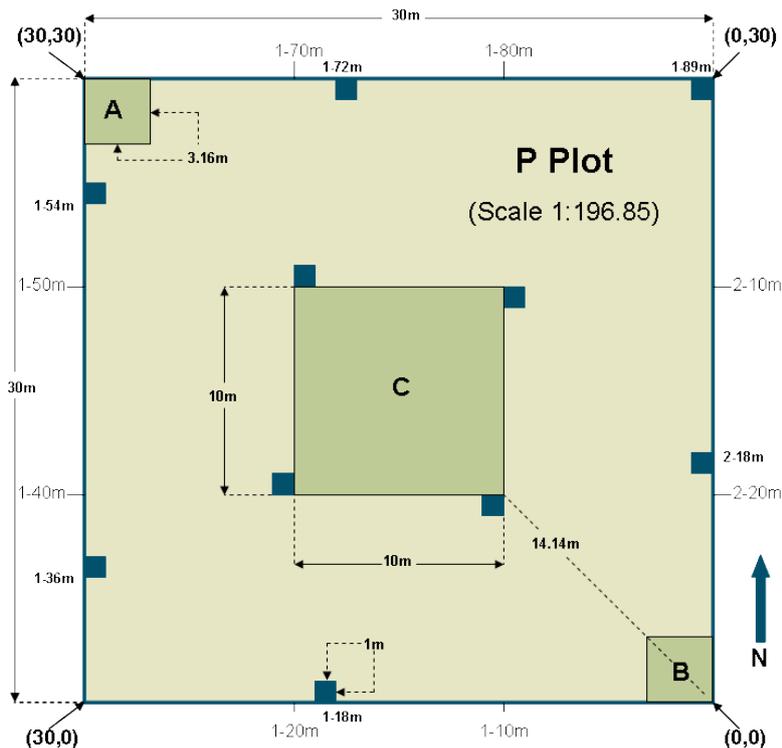


Figura 2.- Esquema de una parcela de muestreo de las variables consideradas.

Se realizaron muestreos antes de las quemas, tres meses después de la realización de las quemas y seis meses después de la realización de las quemas. Cada muestreo consistió en la elección de cinco puntos al azar, recogiendo en cada uno de ellos una muestra de dos niveles del suelo: Horizonte O (los últimos 2 cm en el caso de que existieran) y Horizonte A (primeros 5 cm de este horizonte). Posteriormente las muestras se combinaron para ser analizadas como una única muestra (de aproximadamente 600g) por parcela. Los análisis siguieron los métodos estandarizados de carbono orgánico de Walkey-Black, fósforo Olsen, potasio, magnesio, calcio y sodio (Page et al, 1982). El pH del suelo se analizó siguiendo el método de extracción con agua y medición con pHímetro.

La quema se realizó durante la primera y la segunda semana de junio de 2014. Las quemas realizadas fueron de baja y media intensidad, que son las que habitualmente se emplean en este tipo de manejo y gestión del bosque tanto en la isla como en otras partes del planeta. Inicialmente se habían dispuesto:

i) 3 parcelas para quemar (A1Q, A2Q y A3Q) y 3 parcelas control (A1C, A2C y A3C) en la ladera norte, un pinar de repoblación más abierto y con presencia de arbustos en el sotobosque.

ii) 3 parcelas para quemar (B1Q, B2Q y B3Q) y 3 parcelas control (B1C, B2C y B3C) en la ladera sur, un pinar de repoblación mucho más denso, con mayor pendiente y con escasa presencia de arbustos.

Sin embargo, hubo complicaciones y equívocos en la ejecución de las quemas que llevaron a establecer una nueva disposición de parcelas:

- La parcela A1C fue quemada por error, por lo que se implantó una nueva parcela de control fuera del área incendiada, que se denomina A1C*.

- No se quema la parcela B1Q y por error se quema la B1C, por lo que se intercambian los roles para evaluar el experimento.

- Se quema también por error la parcela B2C, con lo que es necesario instalar una nueva parcela en el espacio comprendido entre las parcelas B1Q y B1C.

Uno de los objetivos de la quema era evitar la alta intensidad, produciendo quemas de intensidad media y baja. Debido a la gran cantidad de matorral y restos que se pueden encontrar bajo el pinar, se empleó el paso de un fuego por puntos con un apoyo riguroso de agua en las zonas de mayor carga (evitando quemas de alta intensidad). La intensidad de la quema, marcada por la longitud de la llama y la velocidad de frente y cola se mantuvo en lo estipulado para cada zona (media o baja). Las quemas de baja intensidad se corresponden con una longitud de llama entre 40 y 60 cm, mientras que se consideran de alta intensidad por encima de los 80 cm.

Se empleó la técnica de conducción del fuego para facilitar la distinción de las longitudes de llama. Esto es, mediante líneas de fuego a favor (de viento y ladera). La separación entre líneas fue mayor en aquellas quemas en las que buscamos longitudes de

llama más larga. Cuando buscamos longitud de llama más corta se hicieron líneas de fuego con puntos separados entre sí, no próximos, lo que favoreció una intensidad menor.

2.3. Datos.

Los datos originales consisten en un conjunto de: 10 parámetros X 6 medidas X 2 tratamientos (control y quema) X 3 épocas (antes de la quema, 3 meses después de la quema y seis meses después de la quema). Para cada parámetro del suelo, hemos organizado los datos en 6 grupos (también muestras o parcelas) de la siguiente manera matricial:

Tratamiento\Tiempo	t = 0	t = 3 meses	t = 6 meses
quema	q0	q3	q6
control	c0	c3	c6

Tabla 1.- Grupos de quema y control

Esta organización es la que hemos utilizado para introducirlos en los paquetes de análisis estadísticos. Los datos ocupan bastante espacio y no los hemos incluido en la memoria.

2.4. Métodos estadísticos. ANOVA de dos factores.

Como se describe más adelante, la discusión de los datos se basa en su análisis estadístico. Dado que ha sido necesario desarrollar comparaciones múltiples hemos tenido que recurrir a la técnica de análisis de varianza (*Analysis of Variance*, ANOVA; ver, por ejemplo, Moore 2005) y puesto que intervenían dos variables (tratamiento y tiempo) a ANOVA de dos factores. Hemos usado dos paquetes de análisis estadístico, IBM SPSS Statistics 22 y GraphPad Prism 6, para hacer las primeras fases del estudio. Sin embargo, los cálculos post-hoc finales los hemos llevado a cabo con Prism porque algunas comparaciones entre muestras en ANOVA de dos factores no las ofrece SPSS de manera estándar.

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Análisis descriptivo

3.1.1. Presentación de los resultados

En las Figuras 3-12 se representa la evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para los parámetros del suelo bajo estudio (pH, %MO, %N, ppm P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CE, %SAT). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95%. Se suele asumir (Payton et al., 2003) que cuando dos barras de error en la media del 95% no se superponen, la diferencia entre las medias es significativa con un p-valor mucho menor que 0.05 (cuando se superponen, no puede extraerse ninguna conclusión y, en cualquier caso, habría que revisar estos criterios cuando se lleva a cabo una comparación múltiple, entre varios grupos diferentes de quema y/o control).

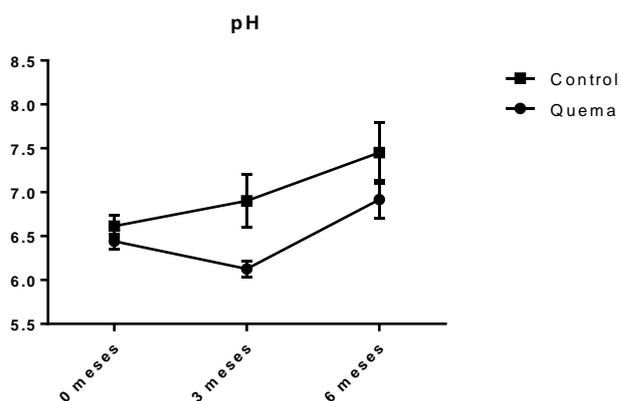


Figura 3.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el pH (eje Y, unidades de pH). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

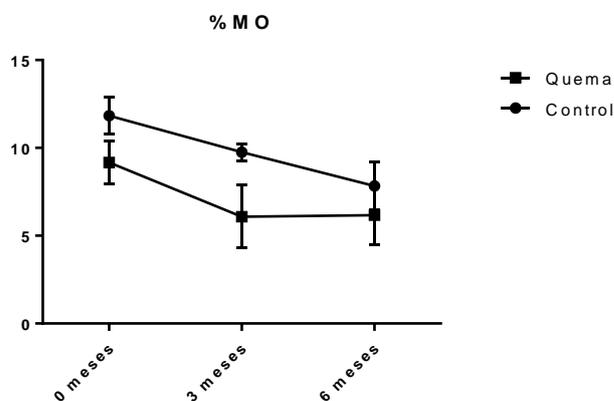


Figura 4.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el %MO (eje Y, porcentaje). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

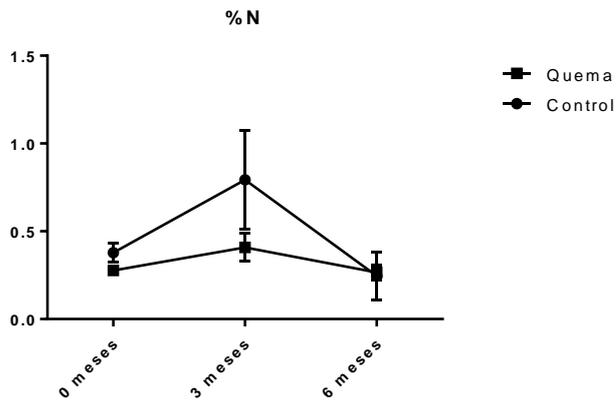


Figura 5.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el %N (eje Y, porcentaje).. Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

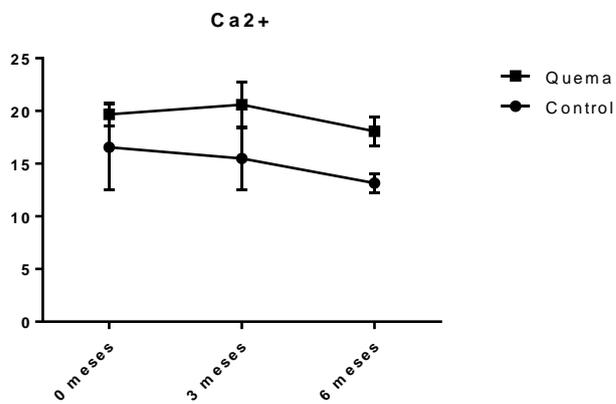


Figura 6.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el Ca²⁺. (eje Y, meq/100g). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

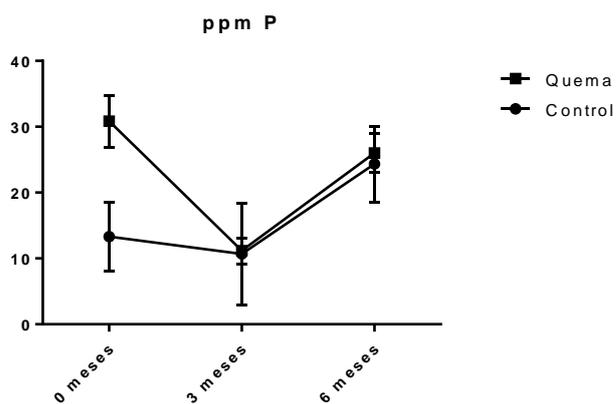


Figura 7.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el ppm P (eje Y, ppm). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

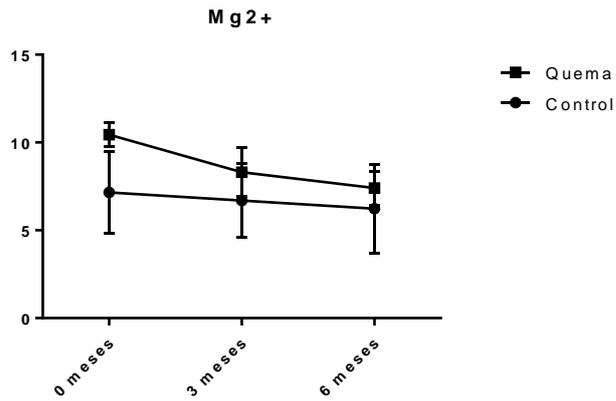


Figura 8.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el Mg²⁺ (eje Y, meq/100g). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

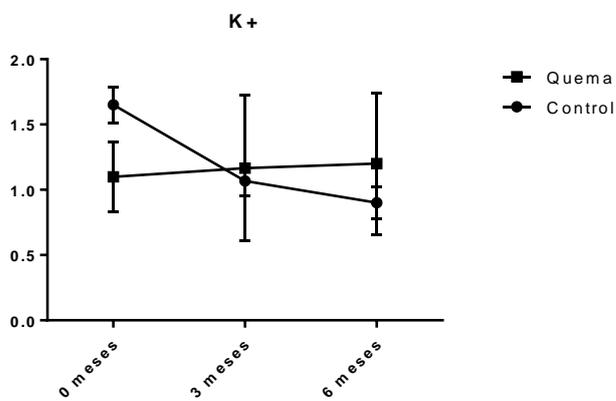


Figura 9.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el K⁺ (eje Y, meq/100g). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

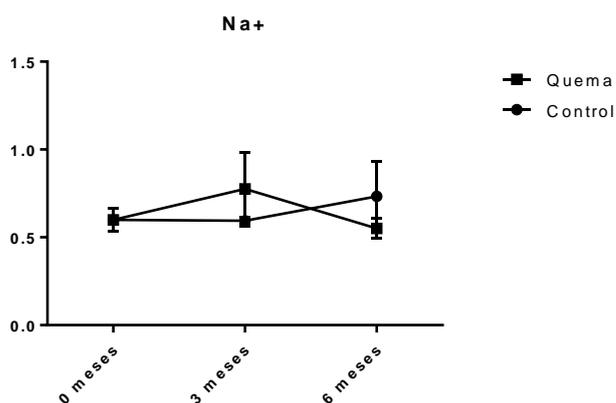


Figura 10.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el Na⁺ (eje Y, meq/100g). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

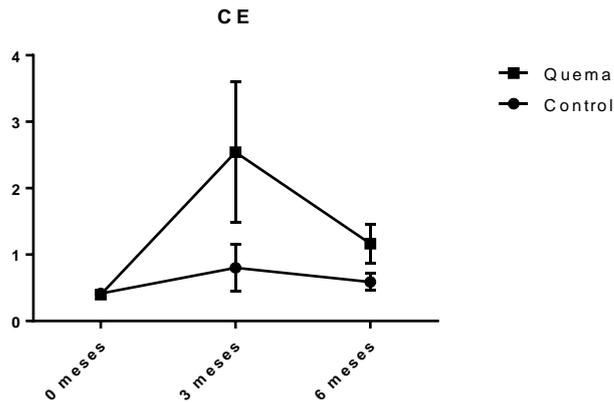


Figura 11.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el CE (eje Y, (SAT)/(mS/cm)). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%

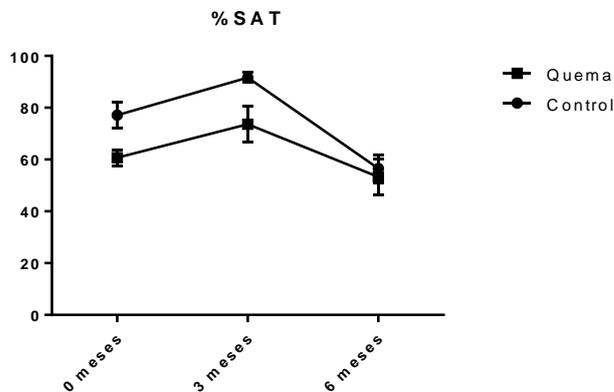


Figura 12.- Evolución temporal de los tratamientos (quema y control) para el %SAT (eje Y, porcentaje). Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95%.

El primer resultado interesante, es que no se ven efectos claros de la quema en algunos de los parámetros observados (Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Los otros parámetros si muestran cambios que podrían ser significativos. Algunos de ellos (%N, ppm P, %SAT) no muestran diferencias significativas respecto de los valores iniciales transcurridos 6 meses. Para otros la situación es más compleja, aunque las diferencias a los 6 meses entre el control y la quema no parecen significativas. En cualquier caso, teniendo en cuenta los errores, los resultados no son determinantes a simple vista. Necesitamos someter los datos a un análisis estadístico que nos permita establecer la certeza de estos posibles resultados.

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Elección del test estadístico: ANOVA de dos factores

Nuestro objetivo es determinar si hay diferencias entre dos tipos de tratamientos (quema y control) observados en tres tiempos diferentes (antes de la quema, 3 meses después de la quema y 6 meses después de la quema). La idea es comparar las medidas de los valores de los parámetros del suelo (variable dependiente) para cada uno de los 6 grupos que podemos formar combinando las dos variables independientes (tratamiento y tiempo). Nuestro objetivo es establecer para cada uno de los parámetros, múltiples comparaciones entre los grupos. En particular, nos gustaría comparar cada grupo de la quema (para $t = 3$ y 6 meses) con el de quema a $t = 0$ meses (equivalente al de control a $t = 0$ meses), para analizar los efectos de la quema y la posterior recuperación. También nos interesa comparar los grupos de tratamiento y control para $t = 0, 3$ y 6 meses, para detectar en los grupos de control la aparición de cambios no debidos al fuego.

La primera opción sería utilizar, para cada combinación de dos grupos, un t-test (ver, por ejemplo, Moore 2005) eligiendo un nivel de significación de cada comparación básica que conduzca al nivel deseado (usualmente 95%) para la familia de comparaciones (la corrección de Bonferroni, por ejemplo, se basa en asignar un nivel de significación a cada comparación resultado de dividir el nivel de significación de la familia de comparaciones por el número de comparaciones que queremos establecer). Sin embargo, a medida que aumenta el número de comparaciones la potencia de este método disminuye. Por este motivo, el procedimiento habitual consiste en aplicar un test global a todos los grupos (análisis de varianza, ANOVA) que posteriormente se refina con múltiples comparaciones a dos grupos (test post-hoc). En nuestro estudio, con dos variables independientes aplicaremos un test ANOVA de dos factores.

3.2.2. Objetivos. Hipótesis nulas. Intervalos de confianza.

De acuerdo a lo comentado en apartados anteriores, con nuestro trabajo pretendemos examinar si las quemas prescritas modifican los valores de los parámetros del suelo bajo estudio (pH, %MO, %N, ppm P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CE,SAT) y si estos parámetros pueden volver a sus valores iniciales (o no diferenciarse de los de la muestra de control) transcurridos

6 meses. De acuerdo con estos objetivos, para cada parámetro consideraremos las siguientes hipótesis nulas:

(i) Las medias de las poblaciones de las que han sido obtenidas las muestras (grupos) son iguales.

(ii) Las medias de las poblaciones de las que han sido extraídas las muestras (grupos) de la quema a $t = 0$ meses y a $t = 6$ meses son iguales.

(iii) Las medias de las poblaciones de las que han sido extraídas las muestras (grupos) del control y la quema a $t = 6$ meses son iguales.

Y también restringiremos los límites de variación de los parámetros usando los intervalos de confianza al 95% para:

(iv) La diferencia entre las medias de las poblaciones de las que han sido extraídas las muestras de la quema antes de la quema y transcurridos seis meses.

(v) La diferencia entre las medias de las poblaciones de las que han sido extraídas las muestras del control y la quema transcurridos seis meses.

3.2.3. Condiciones para la aplicación de ANOVA

Como requisito previo a la aplicación de ANOVA, hay que probar que se cumplen las tres condiciones básicas: independencia de las muestras, normalidad y homogeneidad de las varianzas. Como se ha descrito anteriormente, el experimento fue diseñado cuidadosamente para cumplir con la primera condición. Para probar la hipótesis de normalidad hemos utilizado el test de Kolmogorov-Smirnov y para probar la homogeneidad de las varianzas, el test de Levene.

Los datos correspondientes a %N y Na^+ no cumplen con la hipótesis de normalidad. ANOVA es un test robusto (ver, por ejemplo, Lix et al. 1996) a las desviaciones respecto de la normalidad (descritas por los parámetros de asimetría y curtosis) siempre y cuando las muestras tengan el mismo número de datos (poca sensibilidad a la asimetría) y la curtosis no alcance valores extremos (se mantenga entre -1 y 2). Como nuestros datos cumplen ambas condiciones asumiremos que las desviaciones de la normalidad no afectan al análisis de varianzas.

La hipótesis de variancias homogéneas no se cumple para las muestras correspondientes a los parámetros Na⁺ y %SAT. La robustez de ANOVA frente a esta violación de las condiciones de aplicabilidad (ver, por ejemplo, Lix et al. 1996) es grande cuando (como en nuestro caso) los tamaños de las muestras son iguales. Teniendo en cuenta esta propiedad, hemos preferido no emplear ningún test alternativo para estos parámetros, evitando así la heterogeneidad en el análisis (en los programas que utilizamos los tests alternativos que habría que emplear no siempre permiten establecer los mismos criterios de comparación múltiple o el cálculo de intervalos de confianza).

3.2.4. Nivel de significación

Para llevar a cabo un test de hipótesis consideraríamos, en principio, el nivel habitual de significación de $\alpha = 0.05$. Sin embargo, en nuestro estudio estamos estableciendo tests de hipótesis sobre $n = 10$ parámetros del suelo y, por tanto, estamos aumentando significativamente la probabilidad de observar un evento raro, es decir la probabilidad de desechar equivocadamente la hipótesis nula en algún caso (cometer un error de Tipo I):

$$\alpha_{familia} = 1 - (1 - \alpha_{comparación})^n$$

Para evitar esto, aplicaremos la corrección de Bonferroni (Dunn, 1959), dividiendo el nivel de significación que utilizaríamos si solo una hipótesis nula estuviera sometida a test, por el número de hipótesis. En nuestro caso correspondería a: $0.05/10=0.005$. Por motivos prácticos (limitaciones del programa que hemos usado), para los tests post-hoc utilizaremos un nivel de significación del 0.01 para la familia de comparaciones. En cualquier caso, hemos repetido todos los cálculos sin tener en cuenta esta corrección de Bonferroni sobre el número de parámetros. Como veremos, el impacto de esta corrección no tiene una gran relevancia en los resultados.

3.2.5. Resultados de ANOVA de dos factores

Para llevar a cabo el análisis estadístico hemos utilizado Prism. En principio habíamos utilizado SPSS pero la versión disponible solo permitía hacer análisis post-hoc promediando la variable temporal o el tratamiento.

En la Tabla 2 presentamos los principales resultados de ANOVA de dos factores para los parámetros bajo estudio. Los asteriscos indican que las diferencias son significativas (nivel de

significación 0.005), esto es, que la hipótesis nula de igualdad de las medias de las poblaciones de las muestras (grupos) es rechazada.

Parámetro	Interacción	Tiempo	Tratamiento
pH	0.0734	<0.0001 *	< 0.0001 *
%MO	0.5078	0.0008 *	0.0006 *
%N	0.0092	0.0001 *	0.0048 *
Ca ²⁺	0.7407	0.1387	0.0006 *
ppm P	0.0074	<0.0001 *	0.0072
Mg ²⁺	0.5269	0.1402	0.0171
K ⁺	0.0293	0.1105	0.6969
Na ⁺	0.1632	0.6597	0.9884
CE	0.0025 *	<0.0001 *	0.0004 *
%SAT	0.0852	<0.0001 *	0.0001 *

Tabla 2: p-valores resultado de ANOVA de dos factores (ver texto)

Los resultados más relevantes de esta Tabla son los siguientes:

(i) Hay tres parámetros (Mg²⁺, K⁺, Na⁺) para los que no se puede rechazar la hipótesis nula.

(ii) El resto de los parámetros, excepto el ppm P, varía significativamente con el tratamiento.

(iii) El resto de los parámetros también varía significativamente con el tiempo excepto el Ca²⁺.

(iv) La interacción no es estadísticamente significativa para ningún parámetro excepto el CE e, incluso en este caso, sigue siendo mucho menos significativa que tratamiento y tiempo.

(v) Si adoptáramos un nivel de significación del 0.05, los resultados anteriores no variarían substancialmente.

En realidad, el experimento está diseñado para que tras la quema haya cambios con el tiempo y con el tratamiento por lo que el resultado relevante de este análisis es que no se pueda rechazar la hipótesis nula para Mg²⁺, K⁺, Na⁺. Para ir más allá hay que llevar a cabo comparaciones múltiples entre los diferentes grupos definidos por las combinaciones de tratamiento y tiempo.

3.2.6. Pruebas post-hoc para las diferencias entre los grupos de quema

El objetivo central de nuestro estudio es ver si hay recuperación tras la quema. Para ello es importante, en primer lugar, estudiar las diferencias entre los grupos de quema antes y después de la quema. Dado que hay más de dos grupos, consideraremos el test post-hoc de Tukey (1949). Hemos repetido los cálculos con dos niveles de significación para la familia de comparaciones diferentes (0.05 y 0.01) con el objetivo de ver el impacto de este parámetro. Los resultados para un nivel de significación de 0.05 se muestran en las Figuras 13-22. En la Tabla 3 se presentan los intervalos de confianza para la diferencia de los parámetros a $t = 6$ meses y $t = 0$ meses ($q_6 - q_0$). Las diferencias significativas (cuando el 0 no está incluido en el intervalo de confianza) se señalan con un asterisco.

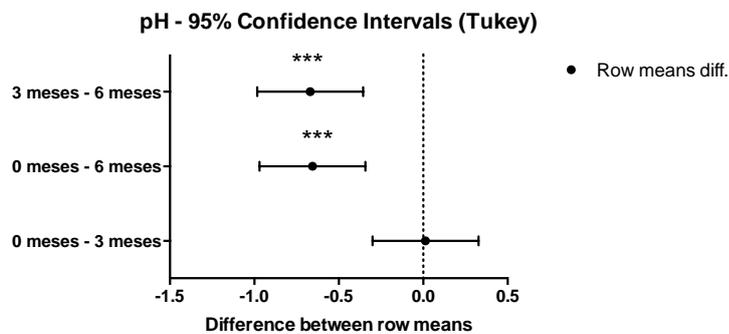


Figura 13.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el pH (eje X, unidades de pH). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

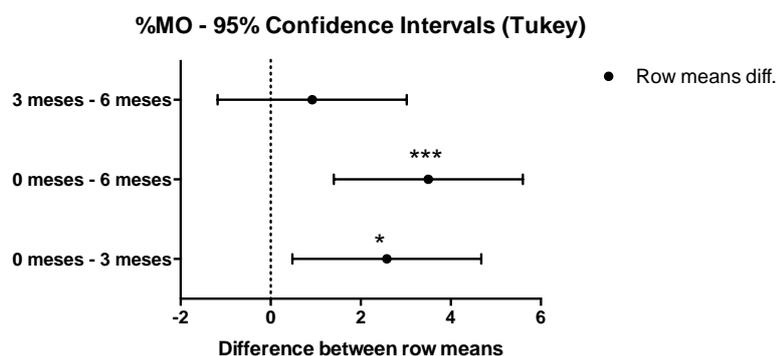


Figura 14.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el %MO (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

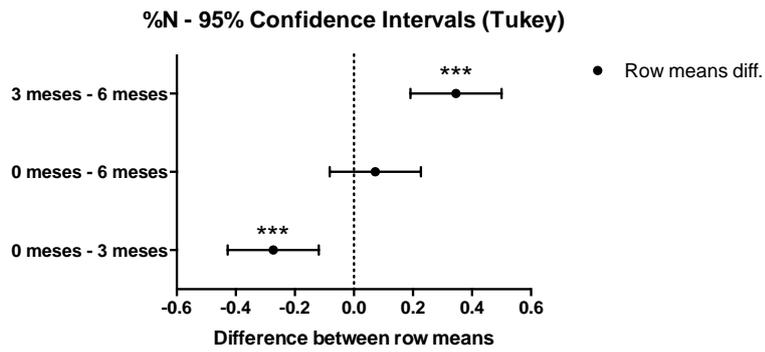


Figura 15.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el %N (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

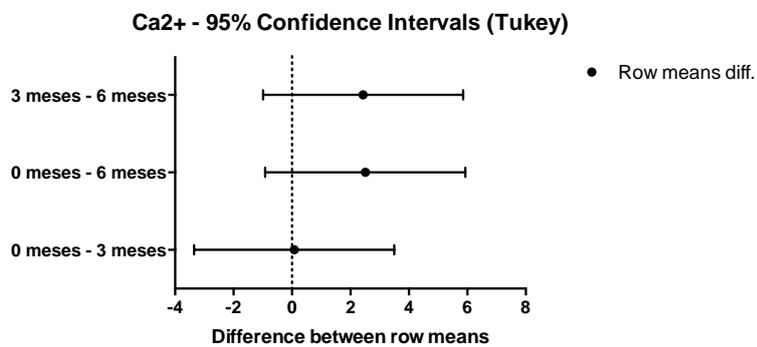


Figura 16.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el Ca²⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

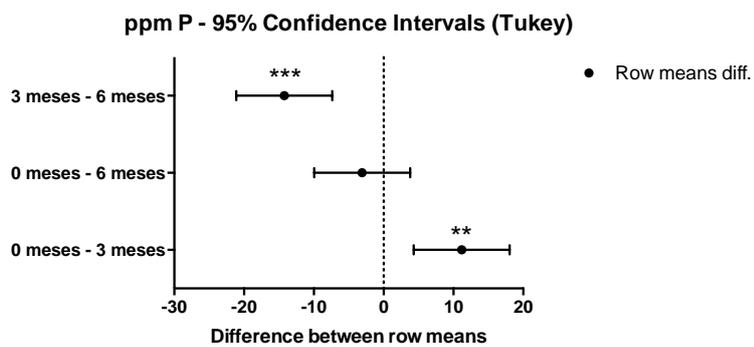


Figura 17.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el ppm P (eje X, ppm). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

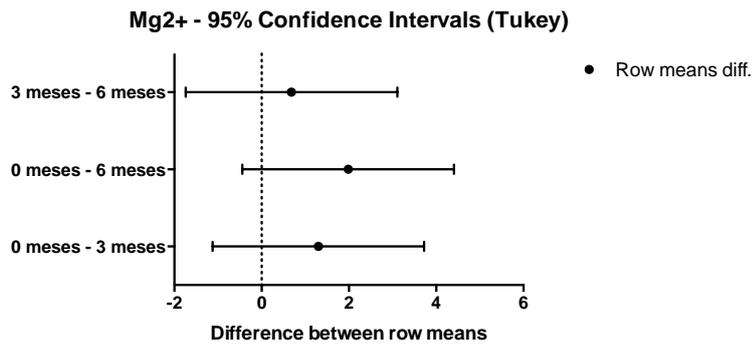


Figura 18.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el Mg⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

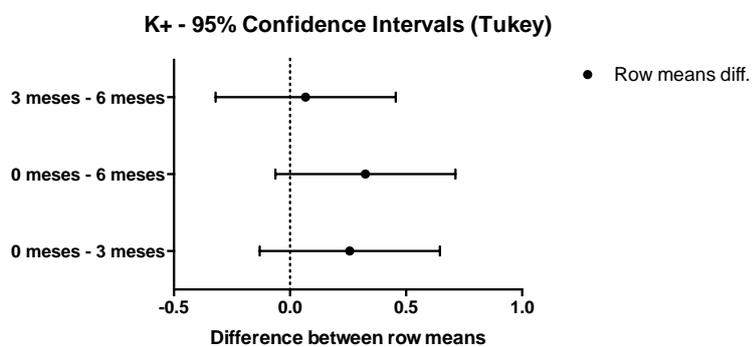


Figura 19.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el K⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

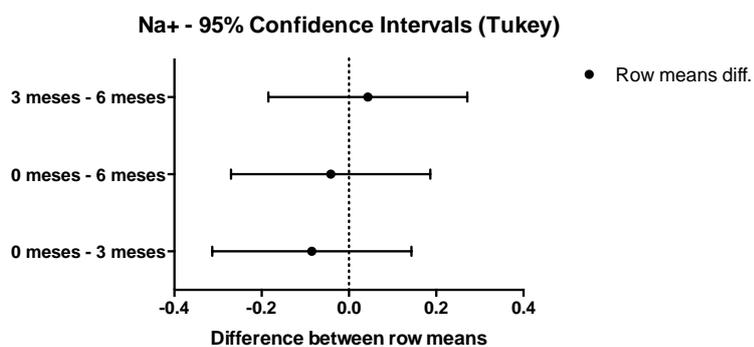


Figura 20.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el Na⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

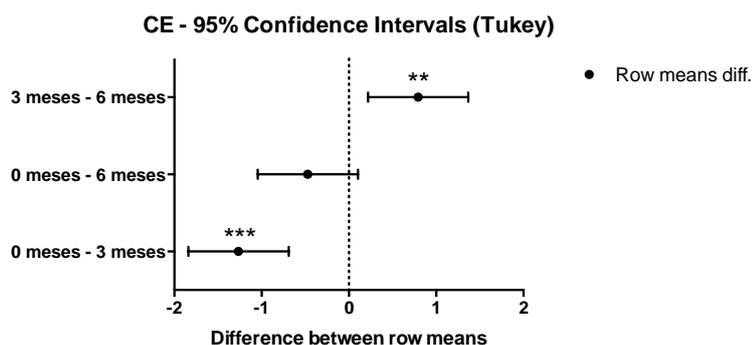


Figura 21.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el CE (eje X, (SAT)/(mS/cm)). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

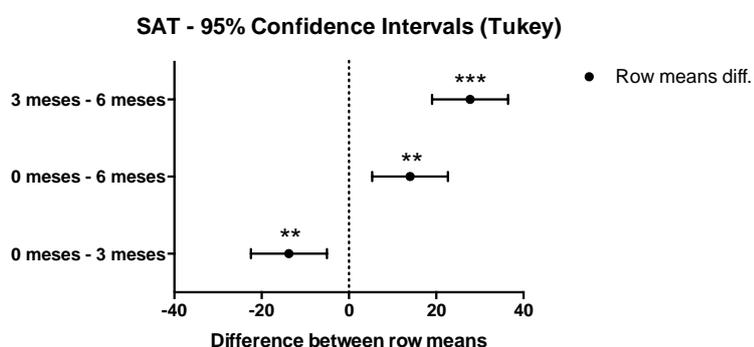


Figura 22.- Diferencias entre los grupos de quema para diferentes valores del tiempo (0, 3 y 6 meses) para el %SAT (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

Parámetro	95% confianza	99% confianza	95% conf (norm.).
pH	(-0.9692,-0.3425) *	(-1.056,-0.2697) *	(-0.14,0.05)*
%MO	(1.401,5.599) *	(0.8178,6.182) *	(0.16,0.64)*
%N	(-0.08182,0.2268)	(-0.1247,0.2697)	(-0.27,0.78)
Ca ²⁺	(-0.9153,5.932)	(-1.866,6.883)	(-0.05,0.35)
ppm P	(-9.953,3.786)	(-11.86,5.695)	(-0.42,0.16)
Mg ²⁺	(-0.4410,4.408)	(-1.114,5.081)	(-0.06,0.56)
K ⁺	(-0.06315,0.7132)	(-0.1710,0.8210)	(-0.04,0.49)
Na ⁺	(-0.2698,0.1865)	(-0.3332,0.2499)	(-0.44,0.31)
CE	(-1.047,0.1032)	(-1.206,0.2629)	(-1.6,0.16)
%SAT	(5.300,22.70) *	(2.883,25.12) *	(0.10,0.47)*

Tabla 3: intervalos de confianza para las diferencias ($q_6 - q_0$). Ver texto.

De acuerdo a las Figuras 13-22 y a la Tabla 3 podemos separar los parámetros involucrados en tres grupos:

(i) Parámetros que tras la quema no muestran diferencias significativas respecto a los valores iniciales, ni a 3 ni a 6 meses: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺. Cumplen la hipótesis inicial.

(ii) Parámetros que varían tras la quema (3 meses) pero que no muestran diferencias significativas respecto a los valores iniciales (recuperación) pasados 6 meses: %N, ppm P, CE. Cumplen la hipótesis inicial.

(iii) Parámetros que varían tras la quema (3 meses) pero no se recuperan pasados 6 meses (valor en $t_0 >$ valor en $t_3 =$ valor en t_6): %MO. El tiempo parece no ser suficiente para llegar a la recuperación.

(iv) Parámetros anómalos: pH y %SAT. El pH no varía tras la quema pero sufre un aumento estadísticamente significativo entre los 3 y los 6 meses después de la quema (tal vez una consecuencia tardía de la quema) (valor en $t_0 =$ valor en $t_3 <$ valor en t_6). El %SAT aumenta tras la quema pasados 3 meses pero disminuye drásticamente por debajo del valor anterior a la quema pasados 6 meses (valor en $t_0 <$ valor en $t_3 >$ valor en t_6).

Estos resultados se cumplen para ambos, 95% y 99%, niveles de significación.

3.2.7. Pruebas post-hoc para las diferencias entre quema y control

El hecho de que haya diferencias significativas entre los valores que toman los parámetros después de la quema, no quiere decir que sean forzosamente debidas a la quema. Puede que se deban otros factores ambientales o estacionales (el estudio se extiende solo 6 meses) que puedan afectar a los datos. Utilizaremos los grupos de control para analizar esta posibilidad. Para ello vamos a aplicar un test post-hoc a las diferencias entre los grupos de control y quema en $t = 0, 3$ y 6 meses para cada uno de los parámetros. Los resultados se muestran en las Figuras 23-32 (para un nivel de significación de 0.05). En la Tabla 4 presentamos los intervalos de confianza para las diferencias entre quema y control a $t = 6$ meses (c6-q6). Las diferencias significativas (cuando el 0 no está incluido en el intervalo de confianza) se señalan con un asterisco. También en este caso, hemos repetido los cálculos con dos niveles de significación diferentes (0.05 y 0.01).

pH - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

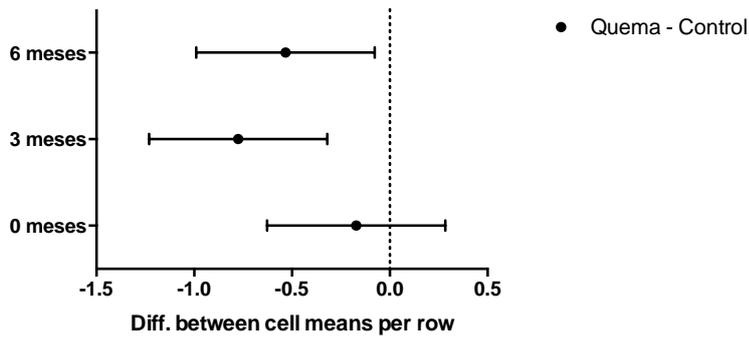


Figura 23.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el pH (eje X, unidades de pH). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

% MO - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

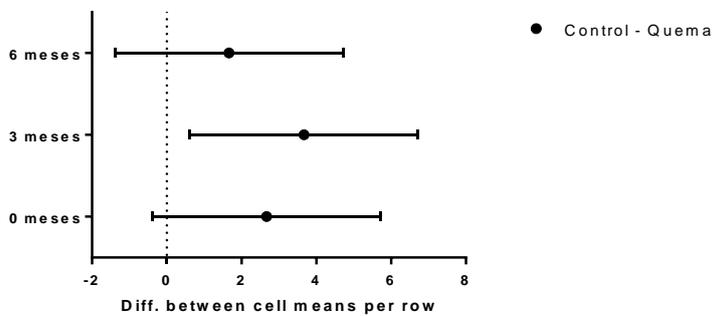


Figura 24.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el %MO (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

%N - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

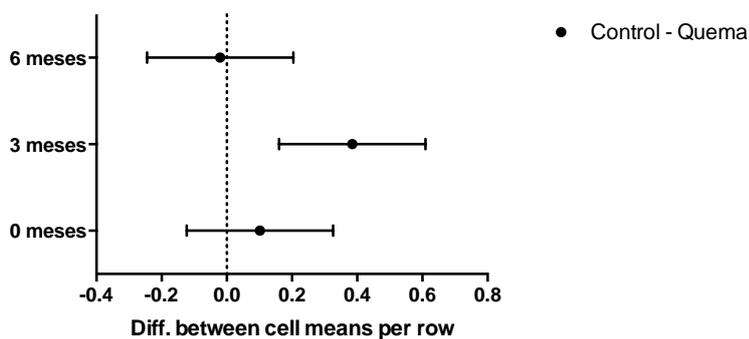


Figura 25.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el %N (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

Ca²⁺ - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

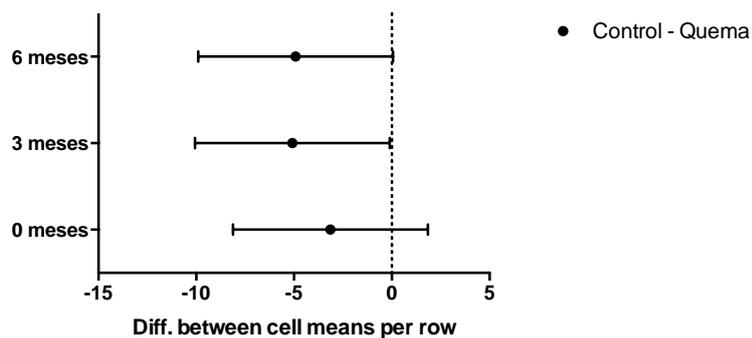


Figura 26.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el Ca²⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

ppm P - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

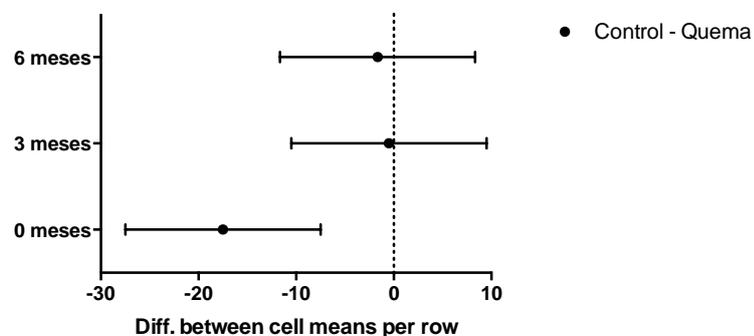


Figura 27.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el ppm P (eje X, ppm). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

Mg²⁺ - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

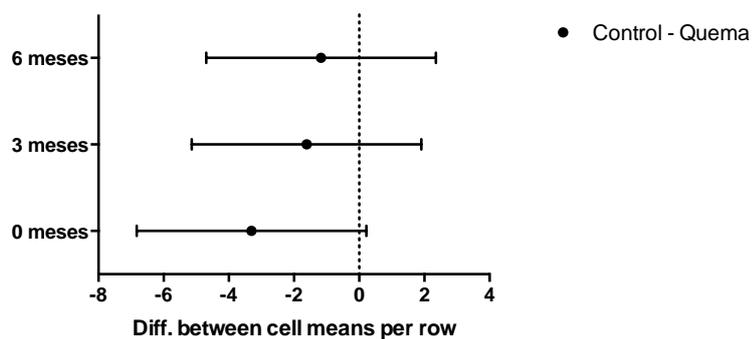


Figura 28.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el Mg²⁺. (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

K⁺ - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

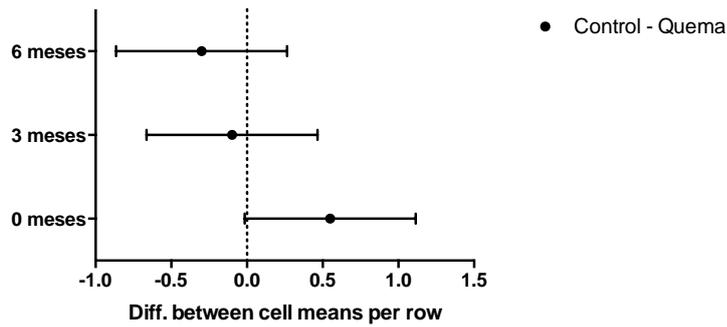


Figura 29.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el K⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

Na⁺ - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

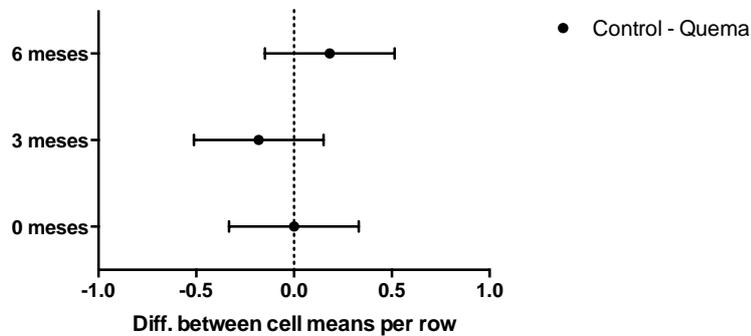


Figura 30.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el Na⁺ (eje X, meq/100g). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

CE - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

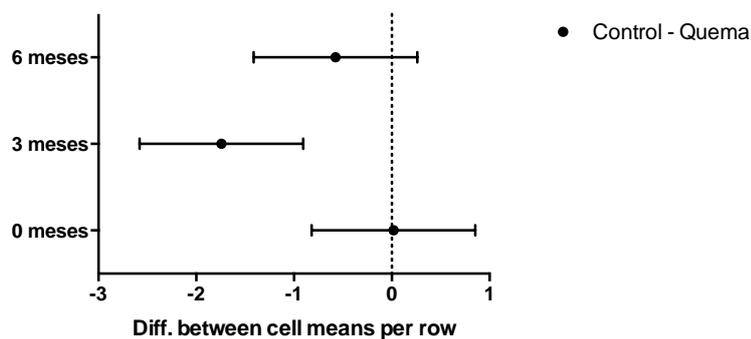


Figura 31.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el CE (eje X, (SAT)/(mS/CM)). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

%SAT - 95% Confidence Intervals (Bonferroni)

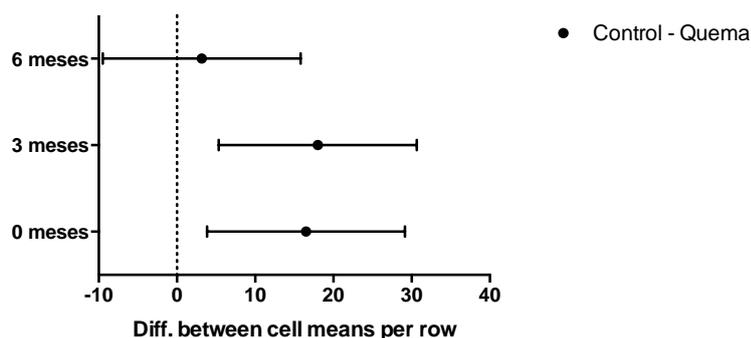


Figura 32.- Diferencias entre los grupos de control y quema en t = 0, 3 y 6 meses para el %SAT (eje X, porcentaje). Las barras de error corresponden a un intervalo de confianza del 95% (ver texto).

Parámetro	95% confianza	99% confianza	95% conf (norm.).
pH	(-0.9892,-0.07751) *	(-1.107,0.03988)	(-0.14,-0.01) *
%MO	(-1.387,4.720)	(-2.173,5.506)	(-0.20,0.67)
%N	(-0.2445,0.2045)	(-0.3023,0.2623)	(-0.92,0.77)
Ca ²⁺	(-9.8969,0.063552)	(-11.18,1.346)	(-0.63, 0.00)
ppm P	(-11.66,8.326)	(-14.23,10.90)	(-0.47,0.33)
Mg ²⁺	(-4.693,2.360)	(-5.601,3.268)	(-0.69,0.35)
K ⁺	(-0.8046,0.2646)	(-1.010,0.4100)	(-0.76,0.25)
Na ⁺	(-0.1485,0.5152)	(-0.2340,0.6007)	(-0.23,0.81)
CE	(-1.411,0.2612)	(-1.627,0.4765)	(-1.64,0.30)
%SAT	(-9.489,15.82)	(-12.75,19.08)	(-0.17,0.29)

Tabla 4: intervalos de confianza para las diferencias (c6 – q6). Ver texto.

El principal resultado de la Tabla 4 es que, para t = 6 meses, no se han encontrado diferencias significativas entre los valores de los parámetros en las muestras de control y quema (salvo para el pH al 95% de confianza).

3.2.8. Intervalos de confianza normalizados a las medias.

Para la mayor parte de los parámetros, los resultados estadísticos de las secciones anteriores no descartan las hipótesis nulas: “no hay diferencia entre las medias de las poblaciones de los grupos q0 (quema a t = 0) y q6 (quema a t = 6)” y “no hay diferencia entre las medias de las poblaciones de los grupos q6 y c6 (control a t = 6)”. Sin embargo, esto no quiere decir que las poblaciones de los grupos q0 y q6 (o q6 y c6, en su caso) tengan las mismas medias (la hipótesis nula no se puede demostrar). Sin embargo, si podemos decir qué

diferencias entre las medias (fuera de los intervalos de confianza) quedan descartadas al 95% de nivel de significación.

Normalizando un intervalo de confianza a la media podemos ver qué variación relativa de la media es posible dentro de ese intervalo de confianza. Cuando se hace esto con los datos de la Tabla 3 (ver 3ª columna) se obtiene que para un nivel de significación del 95%, quedan excluidas en casi todos los casos, diferencias mayores del 50% entre las medias de las poblaciones de q_0 y q_6 (en el caso de q_6 y c_6 , columna 3ª de la Tabla 4, el margen es substancialmente mayor). Si estas variaciones fueran aceptables desde un punto de vista experimental, se podría concluir que los grupos son equivalentes al 95% de confianza. Si no lo fueran, solo se puede decir que nuestros resultados apoyan la hipótesis nula y que variaciones fuera de los intervalos de confianza quedan descartadas al 95% de nivel de significación.

4. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

Hemos estudiado el impacto en los nutrientes del suelo de la quema controlada en un grupo de parcelas situadas en el pinar de las lomas de Cuevas del Caballero (Gran Canaria). Hemos comparado los valores de 10 parámetros del suelo en parcelas de quema y control en tres épocas diferentes: antes de la quema, 3 meses después de la quema y 6 meses después de la quema. Los resultados más relevantes de un test estadístico de análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores (tratamiento y tiempo) son los siguientes:

1 – Para 7 de los 10 parámetros bajo estudio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , %N, ppm P, CE), no se han encontrado diferencias significativas entre el valor inicial y el valor transcurridos 6 meses (los intervalos de confianza al 95% excluyen, a este nivel de significación, diferencias entre las medias mayores del 50% para todos estos parámetros excepto en el caso del %N para el que quedan excluidas diferencias mayores del 78%). 3 de ellos (%N, ppm P, CE) mostraron cambios significativos tras la quema pero se recuperaron posteriormente.

2 – El valor del %MO disminuye tras la quema y después permanece constante. El valor del pH no varía tras la quema pero experimenta una subida notable de 3 a 6 meses lo que podría explicarse como consecuencia retardada de la quema. Una repetición del estudio en una época posterior podría aclarar si el %MO y el pH recuperan posteriormente los valores iniciales.

3 – En cualquier caso, a $t = 6$ meses no se han encontrado diferencias significativas entre los parámetros del grupo de control y del grupo de quema, lo que apoyaría la hipótesis alternativa de que los cambios se deben a factores desconocidos que afectan por igual a ambos tratamientos.

4 – Hemos comparado los resultados que se obtienen teniendo en cuenta que estamos comparando 10 parámetros (nivel de significación 0.005 en ANOVA y 0.01 en post-hoc) y sin tenerlo en cuenta (nivel de significación 0.05). Los resultados son, en general, poco o nada dependientes del nivel de significación adoptado.

En conclusión, de acuerdo con los resultados de este estudio, transcurridos 6 meses tras la aplicación controlada del fuego no se han encontrado diferencias significativas en los nutrientes del suelo que puedan atribuirse exclusivamente a la quema controlada. Podemos decir que los resultados apoyan el método de quema controlada aplicado en este estudio.

Como posibles mejoras al experimento motivadas por nuestro estudio y resultados (que habría que evaluar también en el contexto del esfuerzo adicional necesario) mencionamos las siguientes:

1 – Medir en nuevas épocas para estudiar la evolución de algunos parámetros que no habían vuelto a sus valores iniciales en $t = 6$ meses.

2 – Aumentar el número de datos de las muestras para obtener límites más restrictivos sobre la variación de los parámetros.

3 – Buscar un modelo para describir la evolución de los parámetros del suelo con el tiempo tras la quema (posiblemente harían falta nuevas épocas de medición de los parámetros para llevar a cabo esta tarea).

We have studied the impact of controlled burning on soil nutrients in a group of plots located at the pinar de las lomas de Cuevas del Caballero (Gran Canaria). We have compared the values of 10 parameters representative of soil properties in burning and control plots at three different epochs: before burning, three months after burning and six months after burning. The most relevant results of a statistical test of analysis of variance (ANOVA) of two factors (treatment and time) are:

1 - For 7 of the 10 parameters under study (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , % N, ppm P, CE) we have not found significant differences between the initial and after six months values (confidence intervals at 95% exclude differences between means greater than 50% for all these parameters except the %N for which differences greater than 78% are excluded). 3 of them (% N, ppm P, CE) show significant changes after burning before the recovery at 6 months.

2 - The value of %MO decreases after burning and then remains constant. The pH does not change after burning but experienced a noticeable increase from 3 to 6 months, which could be explained as a delayed result of burning. New measurements at a later epoch could clarify whether %MO and pH will recover the initial values or not.

3 - In any case, at $t = 6$ months we found no significant differences between the parameters of the control and burning groups. This would support the alternative hypothesis that unknown factors are equally affecting to both treatments.

4 - We have compared the results having into account that we are considering 10 parameters (0.005 in significance level 0.01 ANOVA and post-hoc) and ignoring this

consideration (0.05 significance level). There is a weak dependence of the results with the adopted level of significance.

In conclusion, according to the results of this work, 6 months after the controlled application of fire, no significant differences in soil nutrients that can be attributed solely to controlled burning have been measured. We can say that the results support the controlled burning method applied in the study.

Possible improvements to the experiment motivated by our study and results (which should also be evaluated in the context of the additional effort required) are the following:

1 – New measures at later epochs to study the evolution of some parameters that had not returned to their initial values at $t = 6$ months.

2 - Increase the size of the samples to obtain more restrictive limits on the variation of the parameters.

3 - Look for a model to describe the evolution of soil parameters with time after burning (possibly new epochs of measurement will be needed to perform this task).

5. BIBLIOGRAFIA

- Agee, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems. Ecology and Biogeography of Pinus. Ed. DM Richardson pp. 193-218. Cambridge University Press. Cambridge UK.
- Amo, S.F. y Allison-Bunnell, S. 2002. Flames in Our Forest: Disaster or Renewal?. *Island Press: Washington, DC*.
- Arévalo, J.R., Fernández-Lugo, S., García-Domínguez, C., Naranjo-Cigala, N., Grillo, F. y Calvo, L. 2014. Prescribed Burning and Clear-Cutting Effects on Understorey Vegetation in a *Pinus canariensis* Stand (Gran Canaria). *The Scientific World Journal*. 2014.
- Arévalo, J.R., Fernández-Lugo, S., Naranjo-Cigala, A., Salas, M., Ruíz, R., Ramos, R. y Moreno, M. 2014. Post-fire recovery of an endemic Canarian pine forest. *International Journal of Wildland Fire*. 23:403-409.
- Drury, S.A. y Veblen, T.T. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology*: 197:299-316
- Dunn, O. J., 1959, "Estimation of the Medians for Dependent Variables". *Annals of Mathematical Statistics* 30 (1): 192-197.
- Durán, J., Rodríguez, A., Fernández-Palacios, J.M. y Gallardo, A. 2010. Long-term decrease of organic and inorganic nitrogen concentrations due to pine forest wildfire. *Annals of Forest Science*. 67:207.
- Durán, J., Rodríguez, A., Fernández-Palacios, J.M. y Gallardo, A. 2009. Changes in soil N and P availability in a *Pinus canariensis* fire chronosequence. *Forest Ecology and Management*. 256:384-387
- Frazer, J.G. 1967. Mythes sur l'origine du feu. Éditions Payot, París.
- Hernández, A., Rodríguez, N., Notario, J., Arbelo, C.D. y Rodríguez-Rodríguez, A. 2013. Evaluation of changes in soil in the short and medium term due to a forest fire in the pine forest of Tenerife (Canary Islands, Spain). *FLAMMA*. 4:166-170.
- Höllerman, P. 2000. The impact of fire in Canarian ecosystems 1983-1998. *Erdkunde*. 54:70-75.
- Komas, K. 1958. Succession regressiva de la vegetation des garrigues sur calcaires compacts dans la Montagne de la Gardiole. *Pres de Montp lier. Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 27:563-596.
- Kutiel, P. y Naveh, Z. 1987. The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant and Soil*. 104:269-274
- Lix, L.M., Keselman, J.C., Keselman, H.J., 1996, Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance "F" Test, *Review of Educational Research*, Vol. 66, No. 4 (Winter, 1996), pp. 579-619
- Molina-Terrén, D.M., Grillo, F. y García-Marco, D. 2006. Uso del fuego prescrito para la creación de rodales cortafuegos: estudio del caso "Las mesas de Ana López", Vega de San Mateo, Gran Canaria, España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 15:271-276
- Moore, D.S., 2005, Estadística Aplicada Básica, Ed. Antoni Bosch, Barcelona.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M et al. 2011. Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*. 92:2389-2402.
- Notario, J.S., Afonso, D.M. y Díaz, R. 2004. Effect of a wildfire on volcanic soils under pine forest and broom scrub in Tenerife (Canary Islands). *Proceedings of the 13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, Australia*. Paper 739.
- Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney, D.R. (eds) 1982. Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Series No 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.

- Payton, M., E., Greenstone, M.H., Schenker, N., 2003, Overlapping confidence intervals or standard error intervals: What do they mean in terms of statistical significance?, *J Insect Sci*; 3: 34.
- Rau, B.M., Chambers, J.C., Blank, R.R. y Johnson, W. 2008. Prescribed fire, soil, and plants: burn effects and interactions in the central Great Basin. *Rangeland Ecology & Management*. 61:169-181.
- Rodríguez, A., Durán, J., Fernández-Palacios, J.M. y Gallardo, A. 2009. Wildfire changes the spatial pattern of soil nutrient availability in *Pinus canariensis* forests. *Annals of Forest Science*. 66:210.
- Scott, A.C. y Glasspool, I.J. 2006. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuation in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 103:10861-10865.
- Tukey, J., 1949, Comparing Individual Means in the Analysis of Variance, *Biometrics* 5 (2): 99–114.
- Úbeda, X., Lorca, M., Outeiro, L.R., Bernia, S. y Castellnou, M. 2005. Effects of prescribed fire on soil quality in Mediterranean grassland (Prades Mountains, north-east Spain). *International Journal of Wildland Fire*. 14:379:384.
- Whelan, R.J. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Yermakov, Z. y Rothstein, D.E. 2006. Changes in soil carbon and nitrogen cycling along a 72-years wildfire chronosequence in Michigan jack pine forests. *Oecologia*. 149:690-700.