

Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

Efecto de los incendios forestales en la respiración basal del suelo

Efecto dos incendios forestais na respiración basal do solo

Effect of forest fires on soil basal respiration

Claudia Esperanza Corredoira López

Curso: 2020 - 2021. Convocatoria: junio

Director 1: Eva Vidal Vázquez

Director 2: Marcos Lado Liñares

ÍNDICE

RESUMEN	1
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIAL Y MÉTODOS	6
3.1. Suelos estudiados	6
3.2. Análisis de las propiedades generales	7
3.2.1. Determinación de la textura	7
3.2.2. Determinación del pH	8
3.2.3. Determinación del carbono orgánico	8
3.3. Estimación de la respiración basal del suelo	9
3.4. Análisis estadístico	10
4. RESULTADOS	11
4.1. Textura del suelo	11
4.2. Niveles de pH	13
4.3. Carbono Orgánico	15
4.4. Respiración basal del suelo	17
5. DISCUSIÓN	21
6. CONCLUSIONES	23
7. CONCLUSIONS	23
8. BIBLIOGRAFÍA	24

RESUMEN

Los incendios forestales afectan al futuro de los biomas del planeta ya que modifican las estructuras vegetales y la fauna. En este trabajo se estudió el efecto de los incendios sobre varias propiedades del suelo (textura, pH, carbono orgánico y respiración basal). El objetivo principal fue analizar el efecto de los incendios forestales en la respiración basal del suelo y relacionarlos con las otras propiedades analizadas, en suelos de distinta procedencia. Se muestrearon suelos afectados por incendios forestales en Tenerife (Candelaria y Vilaflor) y Galicia (Santa Comba y Armada). En cada sitio se tomaron muestras del horizonte superficial tanto en suelos quemados como no quemados. En Galicia, se tomó una muestra del suelo quemado y una muestra de un suelo no quemado próximo al incendio en cada sitio; en Tenerife, se tomaron tres muestras de suelo dentro de la zona afectada por el fuego, y una en la zona no quemada de cada sitio, con el objetivo de comprobar el efecto de distintas severidades del fuego. Se analizaron las siguientes propiedades del suelo: textura, pH, carbono orgánico y respiración basal utilizando métodos estándar. Para el análisis de los resultados se empleó el análisis multivariante de una y dos vías y se estudiaron las posibles interacciones entre las propiedades del suelo y la respiración basal. Los resultados mostraron que el efecto del fuego varía según su severidad y la propiedad del suelo considerada. Por lo tanto, se puede concluir que los incendios forestales afectan a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en función de la severidad del incendio.

RESUMO

Os incendios forestais afectan ao futuro dos biomas do planeta xa que modifican as estruturas vexetais e a fauna. Neste traballo estudouse o efecto dos incendios sobre varias propiedades do solo (textura, pH, carbono orgánico e respiración basal). O obxectivo principal foi analizar os efectos dos incendios forestais na respiración basal do solo e relacionalos coas outras propiedades analizadas, en solos de diferentes orixes. Os solos afectados por incendios forestais proceden de Tenerife (Candelaria e Vilaflor) e Galicia (Santa Comba e Armada). En cada sitio tomáronse mostras do horizonte superficial tanto de solos queimados como de solos non queimados. En Galicia, tomouse unha mostra de solo queimado e unha mostra de solo sen queimar

preto do incendio en cada sitio; en Tenerife, tomáronse tres mostras de solo dentro da zona afectada polo lume e unha na zona non queimada de cada sitio, co obxectivo de verificar o efecto de diferentes gravidades do lume. Analizáronse as seguintes propiedades do solo: textura, pH, carbono orgánico e respiración basal mediante métodos estándar. Para a análise dos resultados, empregouse a análise multivariante dunha e de dúas vías e estudáronse as posibles interaccións entre as propiedades do solo e a respiración basal. Os resultados amosaron que o efecto do lume varía segundo a súa gravidade e a propiedade do solo considerada. Pódese concluír, polo tanto, que os incendios forestais afectan ás propiedades físicas, químicas e biolóxicas dos solos en función da gravidade do lume.

ABSTRACT

Forest fires affect the future of the planet's biomes by modifying plant structures and fauna. In this work, the effect of fires on several soil properties (texture, pH, organic carbon and basal respiration) was studied. The main objective of the study was to analyze the effects of forest fires on soil basal respiration in different soils, and to relate its changes to the other analyzed properties. Soils affected by forest fires were sampled in Tenerife (Candelaria and Vilaflor) and Galicia (Santa Comba and Armada). At each site, samples from the surface horizon (0-5 cm) were taken from both burnt and unburned soils. In Galicia, at each site, one sample was collected inside the burnt area, and one from an unburned soil nearby. In Tenerife, three soil samples were collected within the area affected by fire and one in the unburned area at each site, in order to analyze the effect of different fire severities on these properties. The following soil properties were analyzed using standard methods: texture, pH, organic carbon and basal respiration. One and two way multivariate analyses were used to analyze the results, and the interactions between basal respiration and the other soil properties were studied. The results showed that the effect of the fire varies according to its severity and the considered soil property. Therefore, it can be concluded that forest fires affect soil physical, chemical and biological properties depending on the severity of the fire.

Palabras clave: Impacto del fuego, propiedades de los suelos, respiración microbiana.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una fuerza evolutiva más en la sucesión de biomas del planeta, modificando las estructuras de las comunidades vegetales y, consecuentemente, de la fauna del ecosistema. Tras un incendio, la cubierta del suelo es total o parcialmente destruida, dependiendo de la severidad. Poco tiempo después, la recuperación de la vegetación es rápida, pero tiende a sufrir muchas modificaciones estructurales, aumentando la proporción de especies del tipo matorral y herbáceas y disminuyendo las arbóreas (Clarke *et al.*, 2013).

El fuego es un factor ecológico natural de los ecosistemas, pero en los últimos 50 años la periodicidad de los incendios y su severidad ha ido en aumento, lo que puede provocar la destrucción completa de algunos ecosistemas. La respuesta del suelo al incendio y su recuperación posterior dependerá de su severidad y de los restos vegetales que queden (Mataix-Solera & Cerdà, 2009; O'Loughlin *et al.*, 2020).

El cambio climático supone un gran problema, teniendo un impacto considerable tanto a nivel de ecosistema como humano. En relación a los incendios forestales, produce un aumento en su frecuencia e intensidad, ya que un clima más cálido y períodos de sequía crecientes transforman a la vegetación en un combustible ideal para el fuego (Brown *et al.*, 2004; Bond & Keeley, 2005; Nitschke & Innes, 2008). Además, el hombre ha contribuido a que los incendios tengan un impacto mucho más severo sobre el planeta, modificando sus frecuencias, intensidades, extensión del fuego, etc. (Pausas, 2012; Clarke *et al.*, 2013). Por lo tanto, la pérdida de biodiversidad amenaza a la multifuncionalidad y sostenibilidad de planeta, lo que puede tener consecuencias tanto ecológicas como económicas (Wagg *et al.*, 2014).

Las propiedades edáficas muestran diferentes comportamientos a los incendios en función de las características vegetales y edáficas anteriores al incendio. Todas las propiedades del suelo se ven afectadas en mayor o menor medida, pero aquellas más afectadas son la estructura, la textura, el pH y el contenido de nutrientes y materia orgánica del suelo, las cuales influyen a su vez en la respuesta de los organismos después del fuego. Las características propias de cada ecosistema hacen que las respuestas del suelo varíen, por lo que vamos a encontrar diferencias considerables dependiendo del territorio donde se estudie el efecto de los incendios. Por ejemplo, diferentes trabajos sobre la estructura han demostrado la existencia de

comportamientos diferentes ante un incendio: mientras que en algunos suelos aumenta la estabilidad de los agregados, en otros disminuye (Cerdà, 1993; Arcenegui *et al.*, 2008).

En el año 2019, Galicia registró más de 6800 hectáreas quemadas. La desaparición de la cubierta vegetal y las lluvias provocan que, al faltar la protección de la vegetación tras un incendio, se produzca una gran erosión del suelo, al no tener ninguna forma de evitar el impacto de las gotas de agua y las escorrentías. Otro efecto del fuego sobre la estructura del suelo es la pérdida de porosidad por el taponamiento de los poros finos por la ceniza y el encostramiento de la superficie (Mataix-Solera & Cerdà, 2009; Rodríguez Guitián & Ramil Rego, 2012). La destrucción de la vegetación provoca la degradación física, química y biológica del suelo, lo que conlleva la pérdida de biodiversidad y calidad, además de repercusiones económicas. La pérdida de biodiversidad se refleja en una reducción de la productividad y un aumento de la vulnerabilidad a las perturbaciones de este ecosistema (Wagg *et al.*, 2014; Parente & Pereira, 2016; Michael *et al.*, 2018).

Diferentes zonas van a mostrar distintas respuestas del suelo ante un incendio. La modificación de las características físicas y químicas afectará a las características biológicas. Una de las formas de evaluar el efecto del fuego en el suelo es comprobar la respiración basal, una variable que mide la actividad de los microorganismos del suelo y que, por tanto, sirve como indicador de cambios en las comunidades de la microbiota (Rozas *et al.*, 2011). La microbiota es, por tanto, un bioindicador de la calidad del suelo, informando de cambios de degradación o de la existencia de cambios físico-químicos (Díaz-Raviña *et al.*, 2010).

La microbiota edáfica está compuesta principalmente por bacterias, actinobacterias, hongos, algas, protozoos y la microfauna. Tienen gran importancia por su función en los ciclos del carbono y de los nutrientes. Diversos estudios afirman que la diversidad de la microbiota del suelo disminuye tras una quema y es complicada su recuperación. La temperatura alcanzada en un incendio es letal para los microorganismos, provocando la esterilización del suelo (Mataix-Solera *et al.*, 2009). Sin embargo, días después de un incendio se suele observar un aumento considerable de la actividad de microorganismos, fomentado por la liberación de nutrientes tras el incendio.

Aunque la densidad de microorganismos parezca recuperarse a lo largo del tiempo, es importante prestar atención a la composición del suelo tras la quema. Además, se deben considerar las variaciones de distribución y densidad, provocadas por cambios en variables como el pH, el contenido en materia orgánica o la disponibilidad de nutrientes. Como se ha mencionado anteriormente, la pérdida de biodiversidad tiene graves consecuencias para el ecosistema entre las que se incluyen mayor vulnerabilidad y menor productividad (Hamman *et al.*, 2007; Carballas Fernández *et al.*, 2009; Díaz-Raviña *et al.*, 2010; Wagg *et al.*, 2014).

2. OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es analizar los efectos de los incendios forestales en la respiración basal del suelo, como indicador de los cambios en las comunidades de la microbiota. Además, se busca relacionar estos cambios con los de otras propiedades del suelo como textura, pH, y contenido en carbono orgánico.

Este experimento trata de mostrar la incidencia del fuego sobre los microorganismos del suelo de dos maneras: una forma indirecta, con el estudio de las propiedades generales del suelo; y otra directa, estudiando la propia respiración basal del suelo. Se pretende, asimismo, estudiar si existen diferencias entre zonas y tratamientos, además de posibles interacciones entre los factores estudiados.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Suelos estudiados

Los suelos empleados en este estudio pertenecen a cuatro zonas diferentes: Candelaria y Vilaflor en Tenerife, y Santa Comba y Armada en Galicia. En la Figura 1 se muestra la localización de estos lugares. Las zonas de estudio elegidas permiten comparar las variables analizadas en diferentes tipos de suelo.

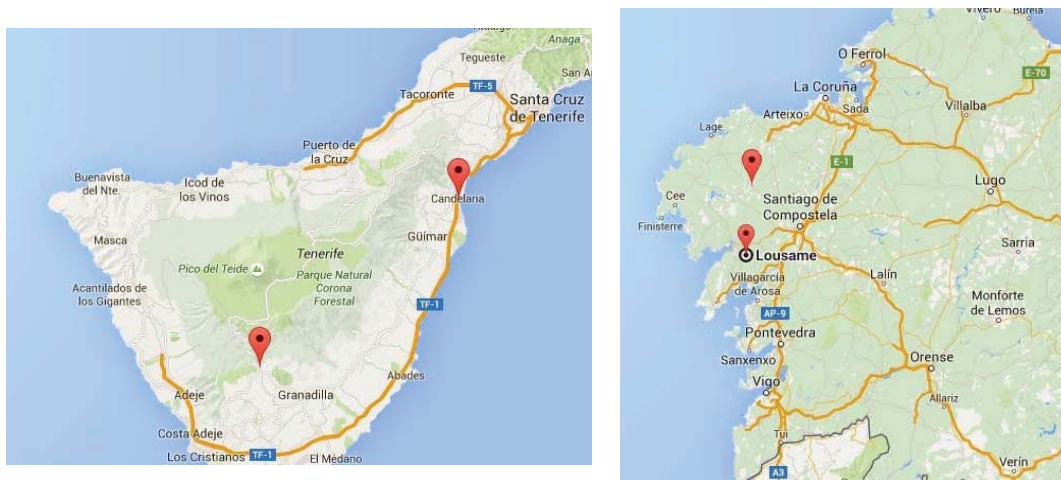


Figura 1. Zonas de muestreo. Izquierda: Tenerife (la marca superior corresponde a Candelaria y la inferior a Vilaflor). Derecha: Galicia (marca superior Santa Comba y marca inferior Armada). Fuente: google maps.

El suelo de Santa Comba posee propiedades ándicas y se formó sobre rocas básicas plutónicas. El suelo de Armada se ha formado sobre granito, por lo que se trata de un suelo ácido. Por otra parte, los suelos canarios de Candelaria y Vilaflor se formaron sobre materiales volcánicos y presentan propiedades ándicas. Los Andosoles son suelos oscuros y muy porosos, desarrollados a partir de cenizas y con un elevado contenido en materia orgánica.

En las cuatro zonas estudiadas, se tomaron muestras del horizonte más superficial del suelo (0-2 cm de profundidad) tanto en zonas quemadas como en zonas que no se habían quemado. Estas últimas se usaron como control. Se eligió esta profundidad de muestreo porque el horizonte superficial del suelo es la zona más afectada por el fuego (Cerdà & Jordán, 2010).

En el caso de los suelos gallegos, se recogió una muestra compuesta de suelo

quemado tanto en Armada como en Santa Comba. En el caso de los suelos de Canarias, se tomaron muestras de suelos quemados en tres puntos diferentes en Candelaria y Vilaflor. Por lo tanto, en total, se recogieron y analizaron 12 muestras de suelo diferentes.

Las muestras tomadas en el campo se trasladaron al laboratorio para su procesado. Se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm; de este modo, se obtuvo la fracción de "tierra fina" (cuyo diámetro de partículas es inferior a 2 mm), que es la utilizada para realizar los análisis posteriores.

3.2. Análisis de las propiedades generales

En este trabajo se ha determinado la textura (método de la pipeta), el pH (en agua y en KCl) y el contenido en carbono orgánico del suelo (método de oxidación por vía húmeda). Posteriormente, se comprueba si estas propiedades pueden verse afectadas por el fuego.

3.2.1. Determinación de la textura

Para analizar la textura, se tomaron 20 g de suelo seco y tamizado a 2 mm (tierra fina) al que se añadió agua oxigenada al 6% con el objetivo de eliminar la materia orgánica. A continuación, se añadieron 50 mL de HCl 1N para disolver los compuestos de hierro y aluminio, que podrían contribuir a la agregación de las partículas. Transcurridos unos 20 minutos, la muestra de suelo se filtró y se lavó con agua destilada. El contenido de los filtros se transfirió a botes de plástico de 1 L, se añadieron 20 mL de hexametáfosfato sódico (agente dispersante) y se agitó durante 2 horas en un agitador rotatorio. Posteriormente, las muestras se tamizaron en húmedo usando un tamiz de malla de 50 μm para separar la arena de las demás fracciones. El resto de material se transvasó a probetas de 1L, se homogeneizó y se tomaron alícuotas de 20 mL con la Pipeta Robinson a diferentes tiempos ($t_1 = 0''$, $t_2 = 4'48''$ y $t_3 = 8 \text{ h}$). Las alícuotas, recogidas en crisoles, se secaron a 110 °C en una estufa hasta alcanzar un peso constante.

La suma de las fracciones arena, limo y arcilla representa el total de las partículas minerales del suelo y debe ser próxima a la cantidad de suelo inicial (20 g). Los

resultados se expresaron en porcentaje sobre peso seco y se determinó el tipo de textura del suelo mediante el triángulo textural. Se realizó una repetición de cada una de las muestras obtenidas.

3.2.2. Determinación del pH

pH en agua

La medida del pH en agua permite conocer la concentración de protones existentes en la solución del suelo, lo que se conoce como acidez activa o actual del suelo. Para su determinación, se realizó una suspensión de suelo y agua. Se pesaron 10 g de suelo seco (previamente tamizado a 2 mm) y se colocaron en un vaso de precipitados de 100 mL. A continuación, se añadieron 25 mL de agua destilada, por lo que la relación suelo:solución fue de 1:2,5. Se agitó ocasionalmente con una varilla de vidrio y, al cabo de 10 minutos, se leyó el pH en un pHmetro de laboratorio modelo Crison micro pH 2000.

pH en KCl

La medida de pH en KCl nos informa de la acidez potencial o de cambio del suelo. Los cationes acidificantes se ven desplazados del complejo de cambio por el K^+ ; por ende, el pH en KCl es menor que el medido en agua. Para llevar a cabo esta determinación, se añadieron 25 mL de KCl 0,1 N a 10 g de suelo seco y tamizado a 2 mm (relación suelo:solución 1:2,5). La medida del pH se realizó después de un tiempo de espera de una hora, durante el cual se agitó la muestra de vez en cuando.

Se realizaron tres repeticiones de cada muestra tanto para el pH en agua como para el pH en KCl y posteriormente se calculó la media de las repeticiones.

3.2.3. Determinación del carbono orgánico

La medida del carbono orgánico del suelo se llevó a cabo mediante su determinación por vía húmeda usando el método de Walkley & Black (1934). Este procedimiento consiste en oxidar el carbono contenido en la materia orgánica con dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4). A mayor

contenido de materia orgánica, se consumirá mayor cantidad de oxidante. El oxidante consumido se determina a través de una valoración con sulfato ferroso amónico (Sal de Mohr).

Para el análisis, se tomaron 0,5 g de suelo seco y tamizado a 2 mm. Esa muestra de suelo se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se añadieron 50 mL de H₂SO₄ concentrado y 25 mL de K₂Cr₂O₇ de ataque. Se agitó bajo el grifo, para evitar un excesivo calentamiento. Al mismo tiempo, se preparó un blanco con las mismas cantidades de reactivos empleados, pero sin suelo.

A continuación, se introdujeron las muestras y el blanco en una estufa a 110°C durante una hora y media. Transcurrido este tiempo, se dejaron enfriar y se transvasó el contenido a matraces aforados de 250 mL, enrasando con agua destilada. Para la valoración del blanco y de las muestras se tomó una alícuota de 5 mL y, en un vaso de precipitados de 250 mL, se añadieron, además, 100 mL de agua destilada, 2 gotas de indicador (difenilamina) y dos gotas de H₃PO₄. La mezcla se valoró con Sal de Mohr, hasta viraje gris.

Finalmente, el porcentaje de carbono orgánico de la muestra se calculó usando la siguiente expresión:

$$CO\% = (Volumen\ blanco - Volumen\ muestra) * NMohr * 0,003 * \left(\frac{250}{5}\right) * (100/masa\ de\ suelo\ seco)$$

Se realizaron tres repeticiones de cada una de las muestras obtenidas de cada suelo.

3.3. Estimación de la respiración basal del suelo

El método utilizado para determinar la respiración basal se fundamenta en la estimación del CO₂ desprendido durante la incubación del suelo en un sistema cerrado. El CO₂ es atrapado en una disolución de NaOH que, posteriormente, es valorada con HCl. El método realizado es, en realidad, la adaptación de varios métodos existentes en la bibliografía, con el mismo fundamento y pequeñas variaciones (Alef, 1995).

En frascos de vidrio de 250 mL con cierre hermético, se colocaron 20 g de suelo

tamizado a 2 mm y humedecido al 60% de su capacidad de retención hídrica, junto con un matraz Erlenmeyer que contenía 10 mL de NaOH 0,1 N, sin que éste tocara directamente la superficie del suelo. El frasco se cerró herméticamente y se colocó en una cámara de incubación a 28 °C durante 24 horas. Igualmente, se preparó un blanco (control) que incluía el vial de NaOH, pero sin suelo. Todos los análisis se hicieron por triplicado.

Una vez transcurrido el tiempo de incubación, se retiraron los erlenmeyers que contenían la solución de NaOH y se les añadió, a cada uno de ellos, 2,5 mL de cloruro de bario (BaCl_2), a fin de precipitar todo el CO_2 absorbido, y unas gotas del indicador fenolftaleína. A continuación, se valoró con una disolución de HCl 0,1 N lentamente y con agitación hasta que se produjo el viraje de fucsia a incoloro. Se anotaron los mL de HCl consumidos en la valoración y mediante estequiometría se obtuvieron los valores de respiración, que se expresaron en $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ suelo seco día⁻¹.

Todos los análisis de esta variable se hicieron por triplicado.

3.4. Análisis estadístico

Para el estudio de las propiedades generales y la respiración basal del suelo se realizó un análisis de la varianza de dos vías (ANOVA 2), con la finalidad de comprobar la existencia de interacción entre los dos factores analizados: tratamiento (suelo quemado y suelo no quemado) y zona (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor). Para aquellas variables donde se observó interacción, se realizó el Test de Tukey, con el objetivo de estudiar las diferencias entre grupos.

En las variables donde no se observó interacción, se estudiaron los efectos principales mediante un análisis de la varianza de una vía (ANOVA 1).

Para todas las propiedades, se emplearon las gráficas de interacción y de medias para analizar los factores y el comportamiento de la variable estudiada. Además, se analizaron los residuos para comprobar la normalidad, heterocedasticidad, homogeneidad, aleatoriedad y sus atípicos.

El análisis estadístico se realizó usando el programa RCommander (Fox, 2005).

4. RESULTADOS

4.1. Textura del suelo

La variación de la textura tras un incendio tiene una importante influencia en la movilidad de los microorganismos en el suelo, al igual que los nutrientes, por lo que los organismos podrán acceder mejor o peor a la materia orgánica y así degradarla. Además, la porosidad afectará a la humedad y su fluctuación, que es clave en el desarrollo de los microorganismos en el suelo (Li *et al.*, 2020). Por otra parte, el carbono orgánico presenta una elevada afinidad por la arcilla y al estar agregado a esta, es degradado más lentamente, como también pasa con el nitrógeno. La remineralización de estos compuestos es más lenta en terrenos con una fracción arcillosa mayor (Ladd & Amato, 1980; Oades, 1988; González-Vila *et al.*, 2009; Tentu *et al.*, 2017). Los suelos de Candelaria, Vilaflor y Santa Comba poseen texturas bastante equilibradas, franco y franco limoso. Por el contrario, el suelo de Armada, granítico, presenta un mayor contenido de arenas (Tabla 1).

Tabla 1. Fracciones texturales de los suelos estudiados. Se diferencian las zonas (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor), el tratamiento (quemado o no quemado), el porcentaje de cada fracción (arena, limo y arcilla) y, finalmente, la textura.

		Fracciones texturales (%)			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
Armada	Quemado	80,54	8,34	11,12	Arenoso franco
	No quemado	72,51	13,75	13,74	Arenoso franco
Santa Comba	Quemado	48,48	37,96	13,56	Franco limoso
	No quemado	60,29	31,20	8,51	Franco arenoso
Candelaria	Quemado 1	57,51	31,16	11,33	Franco
	Quemado 2	57,13	37,51	5,36	Franco
	Quemado 3	54,88	39,81	5,31	Franco
	No quemado	45,51	41,52	12,97	Franco limoso
Vilaflor	Quemado 1	52,62	39,90	7,48	Franco
	Quemado 2	60,32	32,24	7,44	Franco
	Quemado 3	49,61	38,94	11,45	Franco
	No quemado	68,09	29,25	2,66	Franco arenoso

El fuego afecta, además, a las fracciones texturales, modificándolas y cambiando su proporción en el suelo. Por ejemplo, la arcilla a elevadas temperaturas forma agregados que reducen la microporosidad del suelo (Mataix-Solera & Cerdà, 2009). Por ello, se estudiaron los efectos de la zona y el fuego en los cambios de textura del suelo, prestando especial importancia a la arcilla, ya que es la fracción que va a interaccionar más estrechamente con los microorganismos. En la Tabla 1 se puede observar que existen variaciones entre los tratamientos. En los casos de Armada y Candelaria tras la quema, la proporción de arcillas disminuye, mientras que en el caso de Vilaflor y Santa Comba el contenido de arcillas aumenta.

La Figura 2 presenta la media del contenido en arcillas en los tratamientos no quemado y quemado, relacionándolo con las zonas.

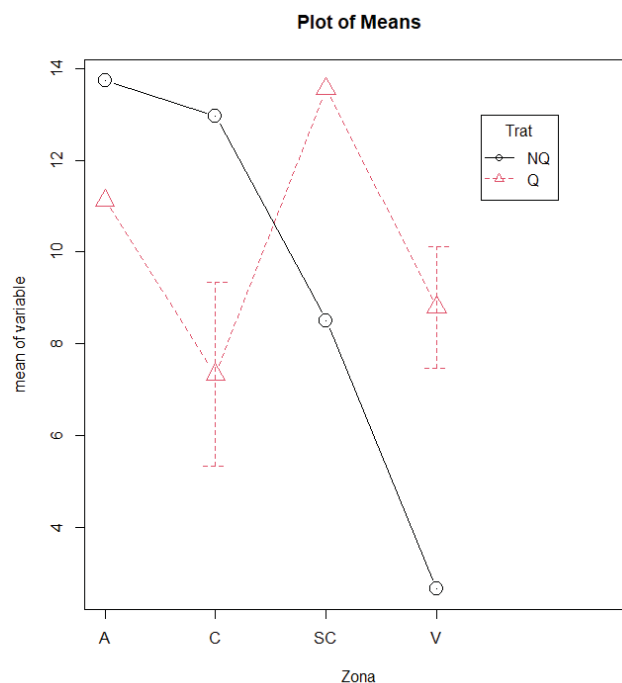


Figura 2. Porcentaje de arcilla. Gráfica de medias de tratamiento (Q: quemado, NQ: no quemado) y zonas (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflor).

En la Figura 2 se observa lo que se comentó con anterioridad: en Armada y Candelaria el contenido en arcilla es mayor en suelos no quemados que en los quemados, mientras que en Santa Comba y Vilaflor ocurre lo contrario. Podemos diferenciar dos grupos: uno en el que las arcillas aumentan tras la quema, caso de Vilaflor y Santa Comba; y otro grupo donde disminuyen, en el que se incluyen Candelaria y Armada. Estas diferencias pueden deberse a la variabilidad en la intensidad y severidad del fuego. En los suelos donde el efecto del fuego es una

reducción de las arcillas, esto puede deberse a su destrucción o la formación de agregados y un aumento de la hidrofobicidad (Mataix-Solera & Cerdà, 2009).

Ante la formación de agregados, la arcilla no formará complejos con los nutrientes del suelo, por lo que la degradación de los componentes será más lenta, en especial la del carbono y la del nitrógeno, los cuales tardarán más tiempo en estar biodisponibles (Ladd & Amato, 1980; Oades, 1988; González-Vila *et al.*, 2009; Tentu *et al.*, 2017).

4.2. Niveles de pH

En la Tabla 2 se presentan los valores de pH en agua y pH en KCl de los suelos estudiados. La medida del pH en agua indica la acidez activa, mientras que el pH en KCl indica la acidez potencial del suelo. Los suelos más ácidos son los gallegos, mientras que los suelos de Vilaflor y Candelaria son moderadamente ácidos.

Tabla 2. Valores de pH en agua y pH en KCl de los suelos estudiados. Se diferenciaron las zonas (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor), y los tratamientos (quemado y no quemado).

		Evaluación	pH	
			H ₂ O	KCl
Armada	Quemado	Neutro	6,86	6,46
	No quemado	Muy fuertemente ácido	4,48	3,80
Santa Comba	Quemado	Fuertemente ácido	5,41	4,70
	No quemado	Muy fuertemente ácido	4,71	4,14
Candelaria	Quemado 1	Ligeramente ácido	6,39	5,80
	Quemado 2	Neutro	7,22	6,97
	Quemado 3	Moderadamente básico	7,58	7,24
	No quemado	Moderadamente ácido	5,81	5,31
Vilaflor	Quemado 1	Neutro	6,56	6,27
	Quemado 2	Neutro	6,71	6,18
	Quemado 3	Neutro	7,18	6,84
	No quemado	Moderadamente ácido	5,71	4,58

Tras un incendio, se incrementa de manera significativa el pH del suelo en todos los casos. En el caso de Armada, pasa de ser muy fuertemente ácido a neutro. En Santa Comba el pH aumenta levemente. En las muestras de Candelaria y Vilaflor,

observamos un espectro de pH más amplio tras el incendio, pero siempre con un aumento de pH tras el fuego. Las diferencias entre las distintas muestras quemadas pueden deberse a que el fuego no fue igual en toda el área, y afectó más a unas zonas que a otras.

El pH en KCl muestra, como era de esperar, valores más bajos el pH en agua. Los valores de pH medido en KCl también aumentan después del fuego, lo que indica que el aumento de pH no se produce solo en la acidez activa, sino también se reduce la cantidad de cationes ácidos en el complejo de cambio. Se realizó un análisis estadístico del pH en agua y en KCl, cuya finalidad fue comprobar si las diferencias entre los tratamientos quemado y no quemado eran significativas y si existía alguna interacción entre las variables. Para observar mejor las diferencias, se realizó una gráfica de medias. Para corroborar la existencia de interacciones se empleó un diagrama de efectos principales e interacciones. En la Figura 3 se observan claramente las diferencias entre tratamientos y puede apreciarse que, tras el fuego, el pH en agua aumenta.

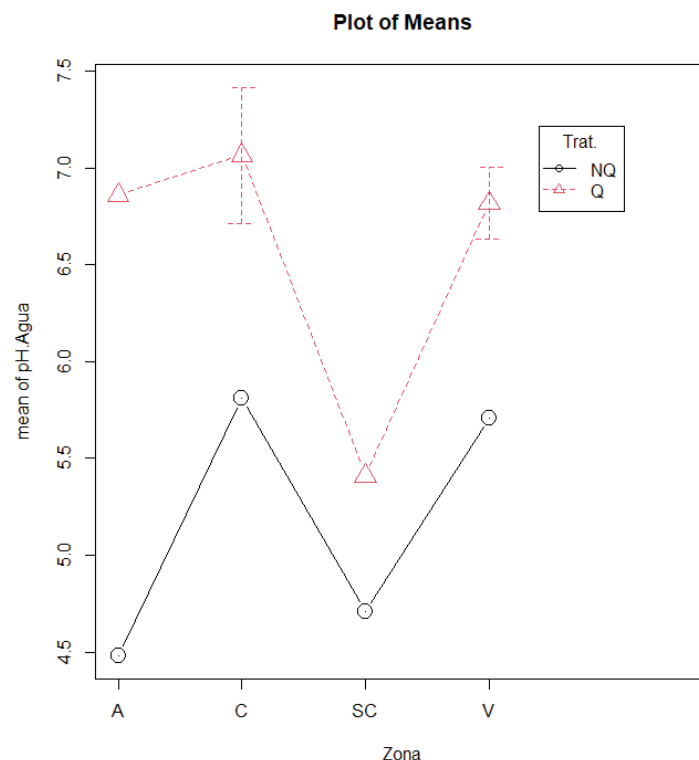


Figura 3. pH en agua. Efecto en las medias del tratamiento (Q: quemado, NQ: no quemado) y zonas (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflor).

En la Figura 3 puede observarse, además, la ratio de variación entre las zonas. Mientras que en Armada y en Candelaria el aumento fue considerable, en Santa

Comba y Vilaflor el aumento existió, pero fue más moderado. Todos los suelos, tras la quema, se acercaron más a un pH neutro, por el aumento del pH. Esto es debido a la presencia de cenizas, que además aportan nutrientes fácilmente asimilables, provocando, consecuentemente, un aumento de la actividad de los microorganismos (González-Vila *et al.*, 2009; Mataix-Solera *et al.*, 2009; Ying *et al.*, 2017).

4.3. Carbono orgánico

Cuando el suelo es sometido a una quema, el carbono va a sufrir modificaciones tanto en su estructura como en su disponibilidad y cantidad. La utilización de este carbono por parte de los microorganismos va a depender, por tanto, de la cantidad y el tipo de carbono que esté presente en el suelo.

En la Tabla 3 se observa que, tras la quema, en todos los suelos, salvo en Vilaflor y una de las muestras de Candelaria, el porcentaje de carbono orgánico aumenta.

Tabla 3. Carbono orgánico (expresado en porcentaje) para las distintas zonas (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor) y tratamientos (quemado y no quemado).

		CO (%)
Armada	Quemado	11,08
	No quemado	3,84
Santa Comba	Quemado	8,05
	No quemado	7,08
Candelaria	Quemado 1	8,99
	Quemado 2	5,93
	Quemado 3	4,84
	No quemado	5,81
Vilaflor	Quemado 1	5,29
	Quemado 2	2,24
	Quemado 3	1,22
	No quemado	5,41

En el caso de Candelaria y Vilaflor se aprecia que el efecto del fuego es distinto en las tres muestras quemadas. Esto está relacionado con la diferente severidad del incendio, al igual que sucedía con el pH. En Candelaria, el efecto del fuego parece ser mayor en el orden Quemado 1<Quemado 2<Quemado 3, ya que se pasa de un

aumento de C en la primera muestra a un valor por debajo del no quemado en la última. Este orden es el mismo que se veía en los valores de pH. En Vilaflor también el orden de menos a más afectado es Quemado 1<Quemado 2<Quemado 3, por lo que el orden del descenso en C es inverso al observado para el pH. Mediante el análisis estadístico se comprobó la existencia de diferencias entre suelos quemados y no quemados.

En la Figura 4 podemos observar la gráfica de medias para los valores de carbono orgánico, que nos relaciona las medias de los tratamientos con las zonas. En todas las áreas, salvo en Vilaflor, hay un aumento del carbono orgánico tras el incendio. En Candelaria y Santa Comba la variación es leve, aunque también se aprecia un aumento.

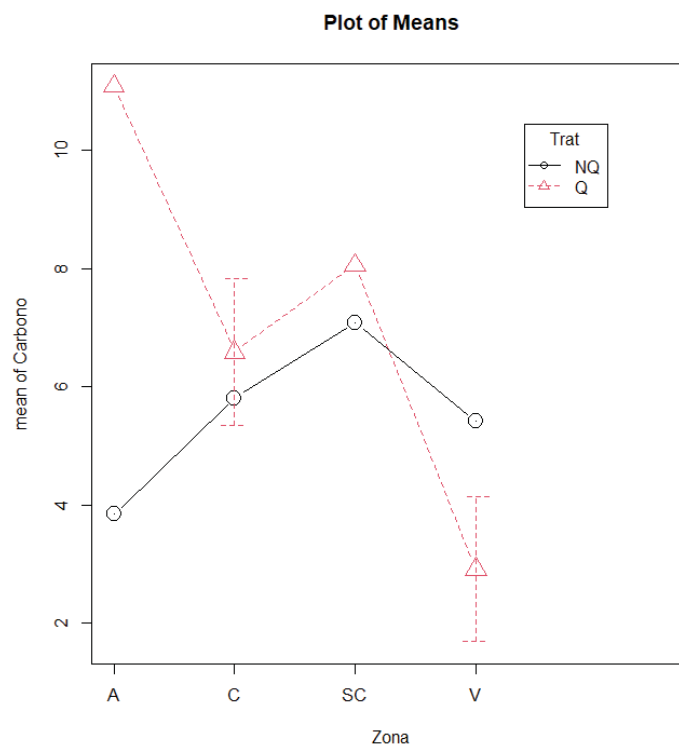


Figura 4. Porcentaje de carbono. Efecto en las medias del tratamiento (Q: quemado, NQ: no quemado) y zonas (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflor).

En la Figura 5 se muestran los efectos principales e interacciones. Salvo en Vilaflor, donde el porcentaje de carbono orgánico desciende, en el resto de las zonas analizadas este valor aumenta.

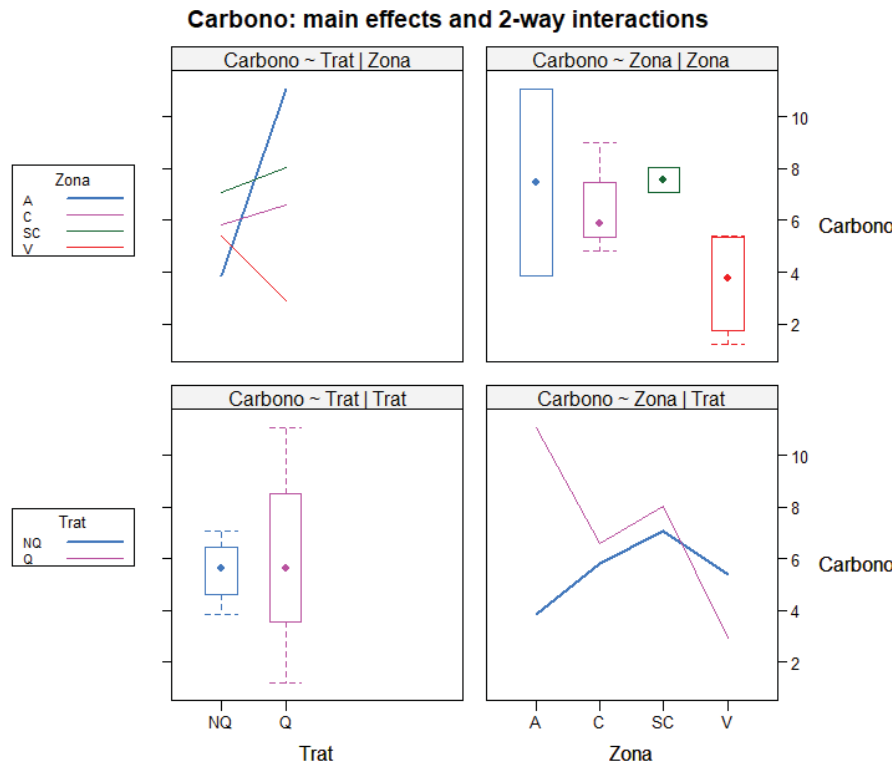


Figura 5. Porcentaje de carbono. Efectos principales e interacciones entre tratamientos (quemado y no quemado) y zonas (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Villaflor).

Por consiguiente, un incendio severo conlleva una degradación muy elevada de la materia orgánica. Por otra parte, si el incendio no es muy severo, existe un mayor aporte de restos de vegetación no consumidos por el fuego, constituidos por formas de carbono estables frente a la degradación. Además, la deposición de las cenizas también puede ser un problema, ya que puede impedir la recirculación de nutrientes a capas más profundas (González-Vila *et al.*, 2009; Stirling *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020).

4.4. Respiración basal del suelo

La respiración basal del suelo contabiliza los mg de CO₂ que emite un suelo sin tener en cuenta la producción vegetal. Es decir, se considera la actividad microbiana en función de la emisión de CO₂. Este proceso forma parte del flujo de carbono entre la biosfera y la atmósfera, por lo que es de vital importancia para la sostenibilidad de los ecosistemas. La modificación de cualquier característica del suelo, tanto física, como química o biológica, acarrearán cambios en las comunidades del suelo y en el balance de carbono del suelo. Por lo tanto, conocer la intensidad y la

extensión de los incendios es muy importante para la gestión de los ecosistemas y su posterior recuperación (Mataix-Solera *et al.*, 2009; Richards *et al.*, 2012; Knelman *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2020).

La Tabla 4 muestra los resultados de la estimación de la respiración basal del suelo en $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo seco día}^{-1}$ para los diferentes tratamientos (quemado y no quemado) y zonas de estudio (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor).

Tabla 4. Respiración basal del suelo, expresado en $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo seco día}^{-1}$, para las distintas zonas (Armada, Santa Comba, Candelaria y Vilaflor) y tratamientos (quemado y no quemado).

		Respiración basal, ($\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo seco día}^{-1}$)
Armada	Quemado	1,740
	No quemado	0,710
Santa Comba	Quemado	0,460
	No quemado	0,860
Candelaria	Quemado 1	1,368
	Quemado 2	1,408
	Quemado 3	1,258
	No quemado	1,357
Vilaflor	Quemado 1	0,704
	Quemado 2	0,630
	Quemado 3	0,827
	No quemado	0,937

Se observa que en las zonas de Santa Comba y Vilaflor hay un descenso claro de la respiración basal como consecuencia del fuego. Por el contrario, Armada muestra un claro incremento. En el caso de Candelaria, la respiración basal aumenta salvo en la muestra Quemado 3 que, como se ha dicho anteriormente, fue la más afectada por el fuego.

Mediante el análisis estadístico se comprobó la existencia de diferencias entre tratamientos y por zonas. Además, se estudió si existía interacción entre ambos factores y efectivamente sí existía dicha interacción. La Figura 6 muestra los efectos principales de los diferentes tratamientos y zonas y en la Figura 7 se presenta la gráfica de medias para los valores de respiración basal, que relaciona las medias de los tratamientos con las zonas. Como se comentó anteriormente, Armada presentó un

incremento considerable, mientras que Santa Comba y Vilaflor mostraron un descenso de la tasa de respiración basal tras el incendio. Candelaria muestra una línea casi recta que nos da a entender que no existen diferencias entre los valores medios de suelos quemados y los no quemados en el análisis estadístico. Si nos fijamos en la Tabla 4, vemos que sí existen diferencias, pero en función de la severidad de los fuegos, es decir, estudiando cada tratamiento de forma individual. El incendio en la zona de Armada fue más suave, mientras que el de Santa Comba fue mucho más severo.

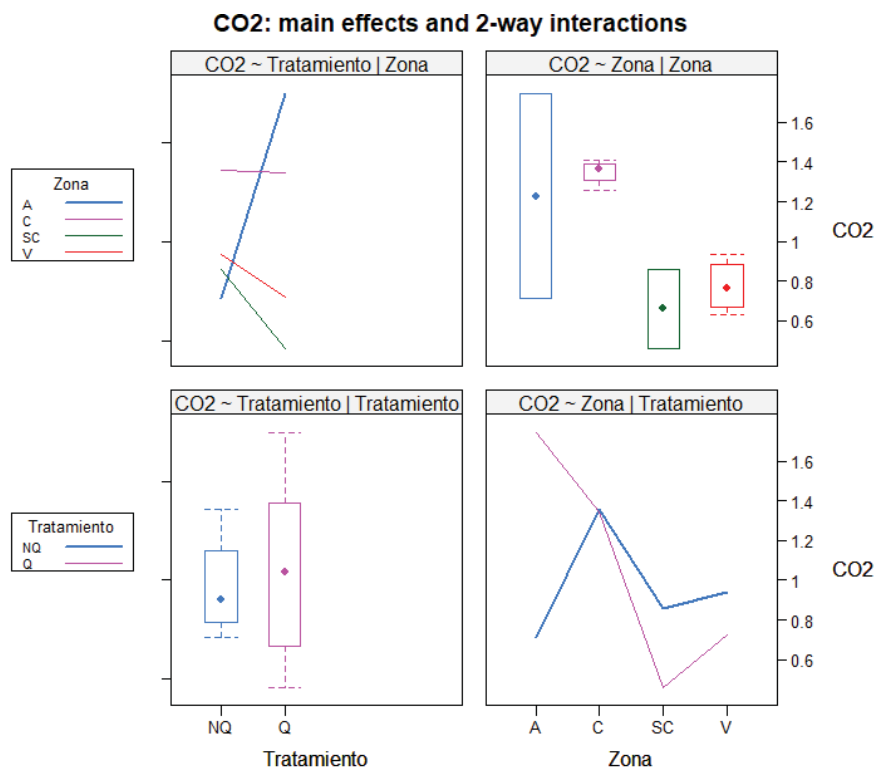


Figura 6. Respiración basal. Efectos principales e interacciones entre tratamientos (quemado y no quemado) y zonas (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflor).

Las quemas de Candelaria, fueron mucho menos severas que en la zona de Vilaflor, donde sí se observó una disminución de la respiración basal. En Candelaria la muestra "Quemado 1" fue la que presentó un leve aumento de la respiración basal, al igual que "Quemado 2". Se trataba de fuegos someros, donde no hubo una incineración total de la materia orgánica. Sin embargo, en "Quemado 3" se observa una disminución, atribuible a una mayor severidad. Por lo tanto, cuando se hace la media de las tres muestras de suelo quemado, resulta que no se aprecian diferencias

significativas, aunque cuando los observamos por separado, sí se detectan estas diferencias.

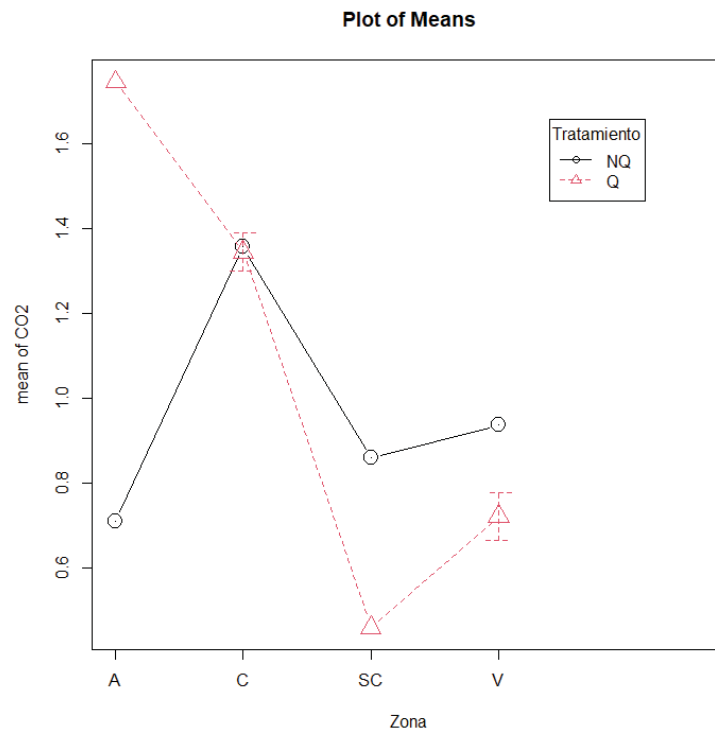


Figura 7. Respiración basal. Efecto en las medias del tratamiento (quemado y no quemado) y la zona (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflo).r).

Tras el análisis estadístico presentado, se procedió a estudiar las interacciones entre los factores. El modelo lineal confirmó la existencia de interacciones, por lo que se realizó el test de Tukey para analizarlas (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados del Test de Tukey para los valores de respiración basal del suelo. La formación de grupos permite visualizar las interacciones entre los tratamientos (quemado y no quemado) y las diferentes zonas de estudio (A=Armada, C=Candelaria, SC=Santa Comba, V=Vilaflo).r).

A*NQ	A*Q	C*NQ	C*Q	SC*NQ	SC*Q	V*NQ	V*Q
a	c	bc	bc	ab	a	ab	a

El test de Tukey arrojó diferentes grupos, que se interpretan del siguiente modo:

- Grupo con emisiones más bajas: corresponde al grupo “a”, que conforman Armada No Quemado, Santa Comba Quemado y Vilaflo Quemado.
- Grupo con emisiones intermedias: es el grupo “ab” Santa Comba No Quemado y Vilaflo No Quemado; y el grupo “bc”, Candelaria Quemado. Mostraron unas

emisiones intermedias entre los grupos con mayores emisiones y los grupos con menores emisiones.

- Grupo con emisiones mayores: corresponde al grupo “c”, Armada Quemado. Es el grupo que presentó las mayores emisiones en comparación con el resto.

El test de Tuckey indicó que existe una interacción entre los tratamientos de Quemado y No Quemado y las diferentes zonas, por ello existe una diferenciación en distintos grupos.

La relación entre la respiración basal y otras propiedades puede aportar mucha información de cómo ha reaccionado el suelo ante su quema y cómo puede ser su recuperación posterior.

5. DISCUSIÓN

En las cuatro zonas estudiadas, se observó un aumento de pH que favorecerá el desarrollo de los microorganismos del suelo, por lo que se esperaría un aumento de la respiración basal (González-Pérez *et al.*, 2004). Un elevado pH favorece el establecimiento y la captación de nutrientes dentro de los complejos húmicos con la arcilla, además de los grandes aportes de materia orgánica que traen consigo las cenizas. Promueven el aumento de la respiración basal y aumenta los primeros días tras los incendios (Mataix-Solera *et al.*, 2009; Whitman *et al.*, 2019), pero todo ello dependerá de la condición inicial del suelo y de la severidad del incendio. Tras el estudio de los resultados de las zonas, se concluyó que la severidad de los incendios influyó en los mismos.

La zona de Armada destacó por una disminución de las arcillas tras la quema, el aumento del pH y el aumento del carbono orgánico. Todas estas características dieron lugar a un aumento de la respiración basal. El aumento del pH del suelo es provocado por el aporte de cationes tras la combustión de la materia orgánica (González-Vila *et al.*, 2009). El aumento de la materia orgánica es debido a que, posiblemente, el incendio de la zona de Armada haya sido poco severo, lo que provocó la acumulación de materia orgánica de restos de la vegetación desprendida durante el incendio. Esta materia orgánica estaría disponible para los microorganismos, a lo que se uniría un aumento de nutrientes disponibles N y P, común tras un incendio (Baath *et al.*, 1992).

La combinación de estos factores sería responsable del pico de respiración basal que se observa en Armada tras el incendio.

En Santa Comba, se observó un aumento de las arcillas, del pH y del carbono y, por tanto, se puede considerar que el fuego de Santa Comba fue poco severo. A diferencia de Armada, se observó una disminución de la respiración basal del suelo. La razón por la cual existe este descenso de la respiración basal no se puede identificar con los datos disponibles, aunque puede ser debido al distinto comportamiento de los nutrientes con el fuego en este suelo.

El suelo de Candelaria mostró un comportamiento parecido al de Armada, por el aumento de pH y carbono, pero una disminución de las arcillas después del fuego. Puede apreciarse que la respiración del suelo varía en función de la intensidad del fuego: las muestras Quemado 1 y 2, en las que hay un aumento del carbono orgánico después del fuego, tienen una respiración mayor que la muestra no quemada, mientras que la muestra Quemado 3, en la que desciende el carbono tras el fuego, tienen una respiración menor.

Al igual que Santa Comba, Vilaflor también presenta un aumento de la proporción de arcilla y del pH, pero en este caso hay un descenso del carbono. Este descenso estará unido a una disminución de los nutrientes en el suelo, y como consecuencia, la respiración basal se vio reducida.

Con estos resultados, se puede afirmar que los incendios afectaron a la microbiota del suelo en todas las zonas estudiadas. El efecto dependió de la intensidad del fuego. En general, cuando el fuego fue de baja intensidad, aumentó la respiración por un mayor pH, contenido en materia orgánica y posiblemente nutrientes disponibles. Si el incendio era de gran intensidad, la respiración descendía por el efecto directo del fuego eliminando la microbiota (Richards *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2020) y por una disminución de los aportes de carbono orgánico. Es importante recalcar la importancia del pH y los aportes de materia orgánica en la recuperación de los suelos (Knelman *et al.*, 2015; Lucas-Borja *et al.*, 2019), ya que va a ser el sustento de las primeras comunidades que se establezcan

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que, tras un incendio, puede producirse la agregación de arcillas, un aumento del pH, y cambios en el carbono del suelo que dependen de la severidad del fuego, lo cual afecta también al desarrollo de la microbiota. Esto se ha visto reflejado en un aumento de la respiración basal del suelo estudiado. Debe tenerse en cuenta, por lo tanto, la importancia de la severidad del incendio a la hora de estudiar los efectos del mismo, ya que como se refleja en este estudio, un fuego de gran severidad va a consumir los restos orgánicos del bosque y la microbiota. Cabría esperar que, ante este tipo de incendios, el carbono orgánico pueda disminuir al igual que la respiración basal. Por el contrario, un fuego controlado y moderado incorporará nutrientes esenciales al suelo, aumentando la respiración basal. No obstante, aunque haya un aumento de la respiración basal en un primer momento después del incendio, este efecto puede desaparecer rápidamente, ya que tras la quema el suelo albergará menos diversidad y estará más expuesto a la acción de la lluvia, lo que puede acarrear graves consecuencias medioambientales como la aparición de fenómenos erosivos en la superficie.

7. CONCLUSIONS

The results obtained in this study showed that, as a result of fire, soil clay particles can be aggregated, pH can increase, and soil organic carbon content can vary depending on the severity of the fire, which also affects the development of the microbiota. These changes were reflected in an increase or decrease in basal respiration of the studied soils according to fire severity. Therefore, fire severity should be taken into account when studying the effects of fire: a severe fire will consume most of plants and microbiota organic remains. Thus, organic carbon could be expected to decrease, just like basal respiration. On the contrary, a controlled and moderate fire can incorporate essential nutrients into the soil, increasing basal respiration. However, even if basal respiration increases at a first stage after the fire, this effect can quickly disappear because of a decrease on soil biodiversity, and in addition it will be more exposed to rain with serious environmental implications, such as surface erosion.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alef, K. (1995). Soil Respiration. En: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, New York, pp. 214-222.
- Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Zornoza, R., Mataix-Beneyto, J., & García-Orenes, F. (2008). Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena*, 74(3), 219–226.
- Baath, E., Frostegard, A., & Fritze, H. (1992). Soil bacterial biomass, activity, phospholipid fatty acid pattern, and pH tolerance in an area polluted with alkaline dust deposition. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(12), 4026–4031.
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(7), 387–394.
- Brown, T. J., Hall, B., & Westerling, A. (2004). The Impact of Twenty-First Century Climate Change on Wildland Fire Danger in the Western United *Climatic Change*, 62, 365–388.
- Cerda, A. (1993). *Suelos Del Pais Espacio- Temporales*.
- Clarke, H., Lucas, C., & Smith, P. (2013). Changes in Australian fire weather between 1973 and 2010. *International Journal of Climatology*, 33(4), 931–944.
- Fox, J. (2005). The R Commander. *Journal of Statistical Software*, 14(9), 1–42.
- González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., Almendros, G., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter - A review. *Environment International*, 30(6), 855–870.
- González-Vila, F. J., Almendros, G., González-Pérez, J. A., Knicker, H., Gonzalez-Vazquez, R., Hernandez, Z., Piedra-Buena, A., & De la Rosa, J. M. (2009). Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. *Efectos de Los incendios Forestales Sobre Los Suelos En España, C*, 220–267.
- Hamman, S. T., Burke, I. C., & Stromberger, M. E. (2007). Relationships between microbial community structure and soil environmental conditions in a recently burned system. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7), 1703–1711.

- Hu, M., Song, J., Li, S., Li, Z., Hao, Y., Di, M., & Wan, S. (2020). Understanding the effects of fire and nitrogen addition on soil respiration of a field study by combining observations with a meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292–293(July).
- Knelman, J. E., Graham, E. B., Trahan, N. A., Schmidt, S. K., & Nemergut, D. R. (2015). Fire severity shapes plant colonization effects on bacterial community structure, microbial biomass, and soil enzyme activity in secondary succession of a burned forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 90, 161–168.
- Ladd, J. N., & Amato, M. (1980). Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils-IV. Changes in the organic nitrogen of light and heavy subfractions of silt- and fine clay-size particles during nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 12(2), 185–189.
- Li, H., Van den Bulcke, J., Wang, X., Gebremikael, M. T., Hagan, J., De Neve, S., & Sleutel, S. (2020). Soil texture strongly controls exogenous organic matter mineralization indirectly via moisture upon progressive drying — Evidence from incubation experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 151(May), 108051.
- Li, X., Jin, H., Wang, H., Wu, X., Huang, Y., He, R., Luo, D., & Jin, X. (2020). Distributive features of soil carbon and nutrients in permafrost regions affected by forest fires in northern Da Xing'anling (Hinggan) Mountains, NE China. *Catena*, 185(November 2019), 104304.
- Lucas-Borja, M. E., Miralles, I., Ortega, R., Plaza-Álvarez, P. A., Gonzalez-Romero, J., Sagra, J., Soriano-Rodríguez, M., Certini, G., Moya, D., & Heras, J. (2019). Immediate fire-induced changes in soil microbial community composition in an outdoor experimental controlled system. *Science of the Total Environment*, 696.
- María Tarsy Carballas Fernández, Jiménez, A. M., & Raviña, M. D. (2009). Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia. *Efectos de Los Incendios Forestales Sobre Los Suelos En España: El Estado de La Cuestión Visto Por Los Científicos Españoles*, 269–302.
- Mataix-Solera, J., & Cerdà, A. (2009). Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. *Efectos de Los Incendios Forestales Sobre Los Suelos En España, July 2015*, 493–529.

- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Bárcenas, G. M., & Torres, M. P. (2009). Forest fire effects on soil microbiology. In *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies* (Issue January).
- Michael, Y., Lensky, I. M., Brenner, S., Tchetchik, A., Tessler, N., & Helman, D. (2018). Economic assessment of fire damage to urban forest in the wildland-urban interface using planet satellites constellation images. *Remote Sensing*, *10*(9).
- Nitschke, C. R., & Innes, J. L. (2008). Climatic change and fire potential in South-Central British Columbia, Canada. *Global Change Biology*, *14*(4), 841–855.
- O'Loughlin, C., Courtney Jones, S., Jenkins, M., & Gordon, C. E. (2020). The effects of inter-fire interval on flora-fauna interactions in a sub-alpine landscape. *Forest Ecology and Management*, *473*(June), 118316.
- Oades, J. M. (1988). The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, *5*(1),
- Parente, J., & Pereira, M. G. (2016). Structural fire risk: The case of Portugal. *Science of the Total Environment*, *573*, 883–893.
- Pausas, J. (2012). *Incendios Forestales*. CSIC.
- Richards, A. E., Dathe, J., & Cook, G. D. (2012). Fire interacts with season to influence soil respiration in tropical savannas. *Soil Biology and Biochemistry*, *53*, 90–98.
- Rodríguez Guitián, M. A., & Ramil Rego, P. (2012). *Clasificaciones climáticas aplicadas a Galicia: revisión desde una perspectiva biogeográfica*. *1*, 31–53.
- Rozas, V., Pérez-de-Lis, G., García-González, I., & Arévalo, J. R. (2011). Contrasting effects of wildfire and climate on radial growth of *Pinus canariensis* on windward and leeward slopes on Tenerife, Canary Islands. *Trees - Structure and Function*, *25*(5), 895–905.
- Stirling, E., Smernik, R. J., Macdonald, L. M., & Cavagnaro, T. R. (2019). Fire influences needle decomposition: Tipping point in *Pinus radiata* carbon chemistry and soil nitrogen transformations. *Soil Biology and Biochemistry*, *135*(May), 361–368.
- Tentu, N. R., Botsa, P., Tentu, M. N., & Apparao, K. (2017). Soil microorganisms nitrogen transformation test for abamectin 3.6 g/L EC (w/v) in loamy sand soil. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, *37*(2), 115–119.

- Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(14), 5266–5270.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. In *Soil Science* (Vol. 37, Issue 1, pp. 29–38).
- Whitman, T., Whitman, E., Woolet, J., Flannigan, M. D., Thompson, D. K., & Parisien, M. A. (2019). Soil bacterial and fungal response to wildfires in the Canadian boreal forest across a burn severity gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 138(April), 107571.
- Ying, J., Li, X., Wang, N., Lan, Z., He, J., & Bai, Y. (2017). Contrasting effects of nitrogen forms and soil pH on ammonia oxidizing microorganisms and their responses to long-term nitrogen fertilization in a typical steppe ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 107, 10–18.