

EFECTO DE LA QUEMA EN CULTIVOS DE HORTALIZAS EN VILLA DEL ROSARIO, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA, SOBRE LAS MICORRIZAS Y PROPIEDADES DEL SUELO

Camilo Parada-Rojas¹, Sandra Rueda-Díaz¹, Carol Carrero-Becerra¹,
Natalia Quintero-Pacheco¹ y Diana Cárdenas-Caro²

RESUMEN

La quema de cascarilla de arroz es una práctica frecuente en la preparación de terrenos para una producción a corto plazo de cultivos de hortalizas en el municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia. Con el objeto de determinar el efecto de esta práctica se realizó un estudio para evaluar el efecto de la quema de cascarilla de arroz en el suelo sobre la población de hongos formadores de micorrizas arbusculares, mediante el recuento de esporas y determinación del porcentaje de colonización por estos hongos en raíces de hortalizas antes y después de la quema durante cuatro períodos de cultivos. Además, se determinó el carbono orgánico, fósforo disponible, nitrógeno y pH del suelo. Se evaluaron dos secuencias de cultivos simultáneas en tres fincas donde se realiza rotación de cultivos y se alterna la producción de diferentes hortalizas con el cultivo de cilantro. Se realizó un análisis de varianza, comparación de medias según la prueba de Tukey y un análisis de componentes principales. Los resultados mostraron un efecto significativo en la reducción de esporas y la colonización de hongos de micorriza arbuscular después de la quema y una recuperación gradual hacia el cuarto cultivo en cada finca. En las variables de pH y carbono orgánico se encontró un aumento en el período inmediatamente después de la quema, con aumento también del contenido de fósforo. El efecto negativo sobre las micorrizas demuestra la necesidad de modificar la utilización de esta práctica en la preparación del suelo con el objeto de conservar la población de esporas de estos hongos y su interacción con las raíces de las plantas cultivadas.

Palabras clave adicionales: Carbono orgánico, fósforo disponible, quema controlada

ABSTRACT

Effect of burning in vegetable crops from Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia, on mycorrhizal fungi and soil properties

The burning of rice husk is an usual practice in land preparation for short-term production of vegetable crops in Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia. To determine the effect of this practice, we calculated the number of mycorrhizal spores and their root colonization percentage in coriander crops before the burning, and during four periods after. Also, organic carbon, available phosphorus, nitrogen, and pH were determined. The study involved two crops sequences on three farms of the zone where crop rotation is practiced and production of different vegetable alternates with coriander. The data was analyzed using Anova and Tukey test, along with an analysis of principal components. A significant effect was observed on the reduction of mycorrhizal fungi spores and root colonization immediately after the burning, and a gradual recovery of both of them was observed towards the fourth cultivation. Organic carbon and pH also increased after the burning, with increases of available phosphorus. The negative effect on mycorrhizal fungi shows the necessity to modify the use of this agricultural practice for land preparation, with the aim to preserve the community of mycorrhizal spores and their interaction with the roots of cultivated plants.

Additional key words: Available phosphorus, organic carbon, prescribed burning

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario de Colombia ocupa un

3,3 % del producto interno bruto (PIB) y la producción de frutas y hortalizas es un importante componente de esta actividad económica. Uno de

Recibido: Octubre 12, 2015

Aceptado: Mayo 3, 2016

¹ Semillero de Investigación en Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación, SIBAA. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Francisco de Paula Santander.

² Dpto. de Biología, Semillero de Investigación en Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación, SIBAA. Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas "Majumba". Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. e-mail: diana.cardenascaro@hotmail.com

los departamentos con alta producción hortícola es Norte de Santander donde se cultivan diferentes especies de hortalizas (MCIT, 2013). Particularmente en Villa del Rosario, municipio de este departamento, la actividad hortícola es altamente representativa y es común la práctica de la quema de material vegetal como la cascarilla de arroz en el manejo fitosanitario en la preparación del suelo previo al establecimiento del cultivo de cilantro. Esto ocurre en intervalos de cada 4 o hasta 10 meses, con lo cual comienza el ciclo de producción de otras hortalizas como perejil, cimarrón, lechuga, espinaca, acelga y hierbas aromáticas (Carrillo et al., 2015).

La quema de la cascarilla es un proceso que ocasiona la degradación de las comunidades de plantas y microorganismos del suelo (Dias et al., 2010); sin embargo, frecuentemente es utilizada en algunos cultivos para diferentes propósitos como la eliminación de especies vegetales no requeridas, organismos patógenos y remoción de material vegetal de residuo (Trusty y Cripps, 2011; Scharenbroch et al., 2012). Según Rosero y Osorio (2013), los efectos más relevantes producidos por el fuego incluyen modificaciones en las propiedades químicas y alteraciones biológicas en el suelo.

Dado que la diversidad biológica es uno de los factores afectados, se han hecho investigaciones para estimar el nivel de este efecto y obtenido diferentes resultados que varían en función de la temperatura alcanzada, humedad del suelo, duración del fuego, material orgánico, condiciones climáticas y combustible utilizado (Williams et al., 2012). Uno de los grupos microbianos más importantes en la rizósfera de cultivos agrícolas son los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) debido a sus diversos efectos benéficos como la absorción de agua y nutrientes, incremento de la exploración radical y del rendimiento de los cultivos (Pérez et al., 2011; Cuadros et al., 2011). Al mismo tiempo dicha asociación desempeña un papel importante sobre las características físicas del suelo, al incrementar la agregación de partículas y estabilidad del suelo (Parodi y Pezzani, 2011). Sin embargo, las perturbaciones ocasionadas por los incendios forestales y las quemadas controladas pueden afectar a las micorrizas, tal como lo han registrado Longo et al. (2014) y Chimal et al. (2015), quienes reportaron un efecto negativo sobre la población y

diversidad de los HFMA.

Estudios en suelos cultivados con hortalizas en Villa del Rosario, donde se realiza la quema de cascarilla de arroz, podrían ser un referente para replantear su utilización con miras a encontrar alternativas adecuadas en estos cultivos de importancia económica en la región. El objetivo fue evaluar el efecto de la quema de este material vegetal sobre la población de HFMA y sobre algunos componentes del suelo, para de esta forma tener resultados que permitan socializar con los agricultores sobre los efectos negativos de la quema para que se evite el uso de esta práctica común en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio se encuentra localizado en el municipio de Villa del Rosario en la subregión oriental del departamento de Norte de Santander, con un clima cálido seco, caracterizado por una temperatura media de 28 °C y una precipitación de 1000 mm, el cual corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical. La unidad está integrada por suelos Fluventic Haplustepts y Typic Haplustepts, pertenecientes al orden de los Inceptisoles (IGAC, 2006).

El procedimiento metodológico consistió en un muestreo no probabilístico para lo cual se seleccionaron las siguientes tres fincas:

- Finca 1, Quinta Guerrero, ubicada en 7° 48' N, 72° 28' W, 444 msnm.
- Finca 2, del Instituto Técnico Agropecuario Juan Frío, ubicada en 7° 47' N, 72° 28' W, 476 msnm.
- Finca 3, hacienda Coronado, ubicada en 7° 47' N, 72° 28' W, 448 msnm.

En estas fincas existían cultivos de hortalizas antes de la quema de la cascarilla realizada durante la preparación del suelo, y en ellas se continuó la recolección de muestras durante cuatro cultivos posteriores. En cada caso se colectó una muestra compuesta de 5 kg en 20 sitios siguiendo un transecto en forma de X hasta una profundidad de 20 cm. Los períodos evaluados fueron los siguientes:

- Antes de quema (AQ): Corresponde al suelo y plantas del cultivo que se encontraban 15 días antes de la quema de cascarilla de arroz (práctica que los agricultores realizan previo a la siembra del cilantro). Representa la recuperación que ha tenido la población de HFMA durante 6 a 12

- meses sin perturbación por quema de la cascarilla.
- Después de quema 1 (DQ_1): Representa el suelo y plantas de cilantro cultivadas después de la quema de cascarilla de arroz, a los 40 días después de germinación (ddg). Este corresponde a 65 días después de la toma de muestras en el período AQ y 50 días después de la quema.
 - Después de quema 2 (DQ_2): Representa el suelo y plantas del segundo cultivo de cilantro después de la quema de cascarilla de arroz, a los 40 ddg. Este corresponde a 120 días después de la quema.
 - Después de quema 3 (DQ_3): Representa el suelo y plantas del tercer cultivo después de la quema de cascarilla de arroz, a los 40 ddg. Este corresponde a 170 días después de la quema. El cultivo correspondió a cilantro y perejil en la finca 1, lechuga y espinaca en la finca 2, y acelga y cimarrón en la finca 3 (Cuadro 1).
 - Después de quema 4 (DQ_4): Representa el suelo y plantas del cuarto cultivo a los 40 ddg. Este corresponde a 220 días después de la quema.

El cultivo correspondió a perejil y cimarrón en la finca 1, perejil y espinaca en la finca 2, y cimarrón y acelga en la finca 3 (Cuadro 1).

Se recolectaron muestras de cada cultivo de forma independiente en dos parcelas de 400 a 700 m² en cada una de las tres fincas. En cada parcela se realizó una secuencia de cultivos diferente a las cuales se les denominó Secuencia 1 y Secuencia 2 (Cuadro 1), las cuales fueron establecidas simultáneamente en el mismo período de tiempo. Se observa en el cuadro que el cilantro siempre fue la hortaliza que se cultivó luego de la quema.

El suelo recolectado se transportó hasta el Laboratorio de Investigaciones en Biología Aplicada de la Universidad Francisco de Paula Santander para la determinación de pH, nitrógeno, carbono orgánico y fósforo disponible en el suelo, así como los análisis microbiológicos para evaluar la población de HFMA y su colonización en raíces.

Cuadro 1. Secuencia de cultivos en las tres fincas estudiadas en Villa del Rosario, Norte de Santander

	Secuencia	AQ*	DQ_1	DQ_2	DQ_3	DQ_4
Finca 1	1	Acelga**	Cilantro	Cilantro	Cilantro	Perejil
	2	Cimarrón	Cilantro	Cilantro	Perejil	Cimarrón
Finca 2	1	Acelga	Cilantro	Cilantro	Lechuga	Perejil
	2	Perejil	Cilantro	Cilantro	Espinaca	Espinaca
Finca 3	1	Tilo	Cilantro	Cilantro	Acelga	Cimarrón
	2	Yerbabuena	Cilantro	Cilantro	Cimarrón	Acelga

*Antes de quema (AQ), Después de quema 1 (DQ_1), Después de quema 2 (DQ_2), Después de quema 3 (DQ_3), Después de quema 4 (DQ_4) ** Acelga: *Beta vulgaris*; Cimarrón: *Eryngium foetidum*; Perejil: *Petroselinum crispum*; Cilantro: *Coriandrum sativum*; Espinaca: *Spinacia oleracea*; Yerbabuena: *Mentha spicata*

A las muestras de suelo rizosférico y raíces de las plantas se le realizaron los siguientes análisis:

Cuantificación de esporas de HFMA asociados al cultivo. Se realizó el aislamiento y cuantificación de esporas mediante la combinación del método de tamizado y centrifugado en sacarosa. Se pesaron 50 g de suelo rizosférico y se agitaron en 200 mL de solución salina. La mezcla se hizo pasar por una serie de tamices (600 µm, 450 µm y 38 µm) lavando con agua corriente. A la muestra que quedó en el tamiz de menor tamaño se le adicionó solución de sacarosa (60 %) y se sometió a centrifugación de 3500 rpm durante 4 min. Luego se separaron las

esporas pasando el volumen de la fase intermedia a través de papel filtro y se realizó su recuento con ayuda de un estereoscopio.

Tinción de raíces y determinación del porcentaje de colonización. La tinción de raíces se realizó a través de los pasos de aclareo, blanqueo, acidificación, tinción y decoloración. Para el aclareo se seleccionaron las raíces más finas, se cubrieron con KOH al 10 % durante 60 minutos a 28 °C, luego se llevaron a baño serológico a 70 °C durante 15 minutos. Se retiró el KOH, se lavaron con agua destilada, se adicionó H₂O₂ por 15 minutos a 28 °C. Transcurrido este tiempo se lavaron repetidamente con agua destilada y se adicionó HCl al 10 % por

15 minutos a 28 °C. Finalmente se retiró el ácido, se adicionó el azul de tripán y se dejó actuar por 15 minutos en baño serológico (70 °C). Luego de retirar el azul de tripán con agua destilada las raíces fueron colocadas en una caja de Petri. El porcentaje de colonización se midió a partir de 10 fragmentos de raíz de aproximadamente 1 cm de longitud, seleccionadas al azar y extendidas sobre un portaobjetos con 30 cuadrículas. La presencia de estructuras propias de los hongos micorrizógenos como vesículas, hifas, esporas o arbusculos se cuantificó como colonización utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Colonización (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cuadrículas micorrizadas}}{\text{N}^\circ \text{ de cuadrículas observadas (30)}} \times 100$$

Para el análisis químico las muestras de suelo se secaron al aire, se maceraron y se tamizaron.

pH. Se midió en una suspensión de suelo y agua destilada en una relación 1:2 p/p.

Fósforo disponible. Se utilizó el método de Bray II. A partir de la muestra de suelo seco se adicionó la solución extractora, y luego de procesos de agitación y filtrado, se adicionó la solución coloreadora y se realizó la lectura en espectrofotómetro a una longitud de onda de 665 nm.

Carbono orgánico. Se determinó utilizando el método indirecto de Walkley-Black. La muestra de suelo fue procesada empleando los reactivos dicromato de potasio 2N y ácido sulfúrico concentrado para finalmente ser analizadas en el espectrofotómetro a 585 nm. Esta absorbancia permitió obtener el porcentaje de materia orgánica (MO) según la ecuación: $\text{MO (\%)} = 45,54 \times \text{Abs}$.

Este porcentaje de MO se dividió entre 1,724 (factor de Van Bernmelen) para obtener el porcentaje de carbono.

Nitrógeno total. Se estimó a partir del porcentaje de materia orgánica según la ecuación $\text{N (\%)} = 0,014497 + 0,044757 (\% \text{MO}) - 0,0000597 (\% \text{MO})^2$ (Apráez y Moncayo, 2006).

Los datos obtenidos en el porcentaje de colonización y carbono orgánico, se transformaron según la función del arcoseno \sqrt{x} y a la población de esporas se le realizó una transformación logarítmica para asegurar la distribución normal de los datos. Se determinaron los supuestos en los residuales del modelo, normalidad, homogeneidad de varianzas y aleatoriedad. Se realizó el análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de

Tukey, utilizando los períodos (secuencias) y las fincas como repeticiones. Además, un análisis de componentes principales como técnica de reducción de dimensiones para la interpretación de la correlación de las variables de respuesta de la población de esporas de HFMA, porcentaje de colonización de raíces, pH, fósforo disponible y carbono orgánico en el suelo con el objeto de analizar la influencia de la quema de cascarilla de arroz en la preparación de suelos. Se utilizó el programa estadístico SPSS Statistics 22.

RESULTADOS

Efecto sobre las poblaciones de HFMA y características químicas del suelo. El análisis de varianza registró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en todas las variables evaluadas antes y después de quema en las tres fincas del municipio de Villa del Rosario. La única excepción la representó la colonización de raíces entre las fincas (Cuadro 2).

La población de HFMA mostró una disminución desde 135 esporas en 50 g del suelo cultivado antes de la quema de cascarilla, hasta 100 esporas en 50 g en el suelo rizosférico del cultivo de cilantro (DQ_1). La población de esporas continuó disminuyendo significativamente hasta el segundo período (DQ_2). Luego aumentó en el tercer período (DQ_3) hasta alcanzar un notorio incremento en el último período evaluado (DQ_4) con un recuento de 190 esporas en 50 g de suelo (Figura 1a). También se observó una fuerte reducción en la colonización de raíces en el cultivo de cilantro desde 25 % antes de la quema de cascarilla de arroz hasta sólo 1,48 %, posterior a la quema (Figura 1b). A partir de este período se registró una recuperación en la actividad biológica de los HFMA hasta alcanzar en el cuarto período un aumento de la colonización de raíces hasta de 40,74 % en la secuencia de cultivos, el cual representó el mayor valor registrado, con diferencias significativas respecto a los demás períodos evaluados.

El porcentaje de carbono orgánico registró diferencias en las evaluaciones hechas antes e inmediatamente después de la quema, al pasar de 4,24 a 5,42 % entre estos períodos (Figura 2). En el período DQ_2 se registró una disminución significativa de 3,76 %. Los dos últimos períodos

(DQ_3 y DQ_4) presentaron valores similares a los del período antes de la quema. El nitrógeno total, cuyo valor, al igual al carbono orgánico fue obtenido a partir del contenido de materia orgánica, tuvo un comportamiento similar a éste.

Por su parte, el fósforo disponible en el suelo registró diferencias significativas entre los períodos AQ y D_Q1, con un incremento desde 185 hasta 290 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ entre ambos períodos, respectivamente. Posterior a ello, se registró una disminución significativa en el período DQ_2 y una tendencia general a disminuir hacia los

períodos finales (Figura 3a). El pH presentó un aumento significativo en el cultivo inmediatamente posterior a la quema, con un incremento de 5,5 a 6,3. Posteriormente, disminuyó de forma gradual a través de los períodos evaluados (Figura 3b). Al comparar las tendencias seguidas por el fósforo disponible y el pH del suelo se observa bastante similitud entre ambas variables.

Es de destacar que la finca 2, perteneciente al Instituto Técnico Agropecuario Juan Frío, registró los mayores valores en todas las variables químicas y biológicas evaluadas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Cuadros medios y significancia estadística de las variables químicas y biológicas del suelo antes y después de quema de cascarilla de arroz, en función de la época y la finca estudiada

	Origen	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Época	Colonización de Raíces	4979,436	89,99	0,00
	Población de esporas	28402,711	13,51	0,00
	Carbono Orgánico	7,390	26,81	0,00
	Fósforo disponible	29034,801	154,38	0,00
	Nitrógeno total	0,075	26,75	0,00
	pH	2,163	46,94	0,00
Finca	Colonización de Raíces	119,370	2,16	0,12
	Población de esporas	40757,478	19,38	0,00
	Carbono Orgánico	34,466	125,05	0,00
	Fósforo disponible	237783,314	1264,31	0,00
	Nitrógeno total	0,348	125,07	0,00
	pH	3,535	76,73	0,00

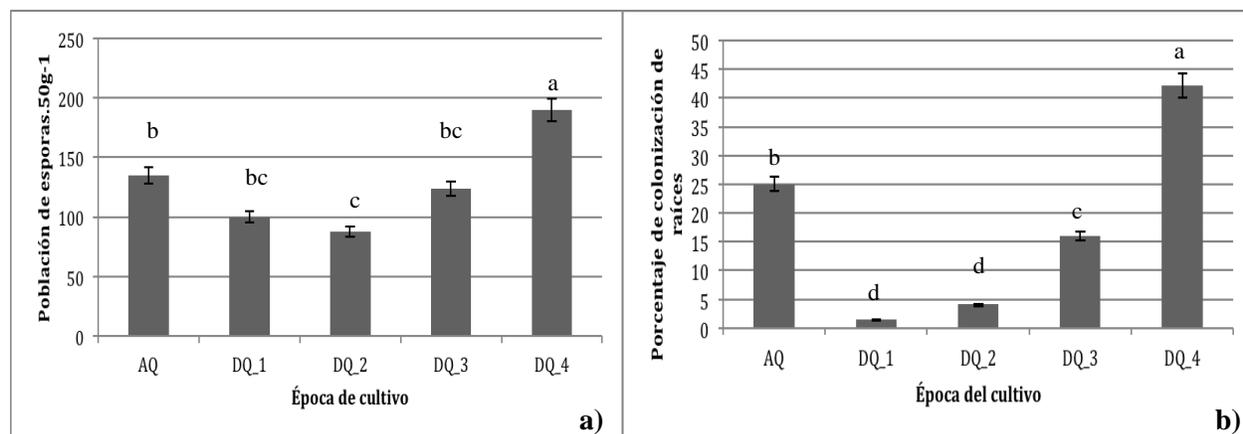


Figura 1. Hongos Formadores de Micorrizas durante los períodos antes y después de quema de cascarilla de arroz. a) Número de esporas de HFMA por 50 g de suelo b) Porcentaje de colonización de raíces. AQ: antes de quema; DQ_1,2,3,4: después de quema en períodos consecutivos. Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

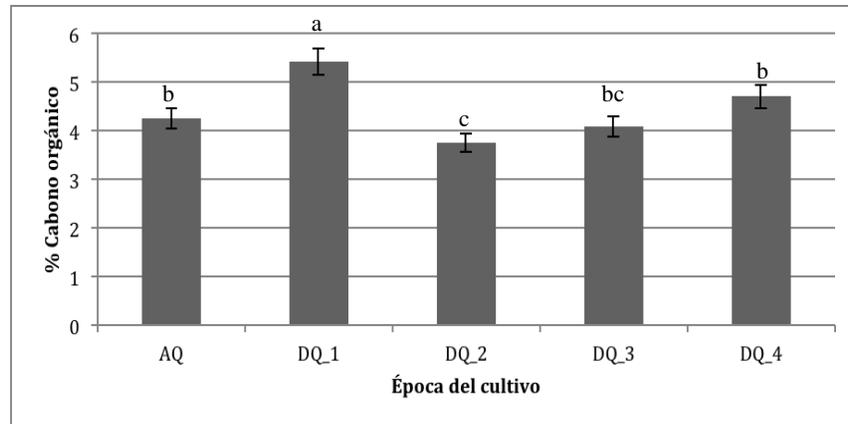


Figura 2. Porcentaje de carbono orgánico en los períodos antes y después de quema de cascarilla de arroz. AQ: antes de quema; DQ_1,2,3,4: después de quema en períodos consecutivos. Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

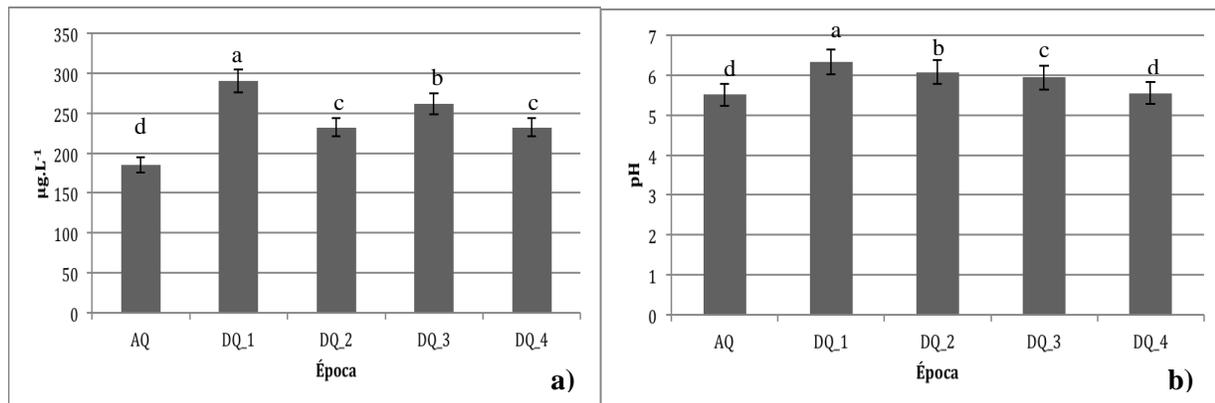


Figura 3. Fósforo disponible y pH en los períodos antes y después de quema de cascarilla de arroz. a) Fósforo disponible b) pH. AQ: antes de quema; DQ_1,2,3,4: después de quema en períodos consecutivos. Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 3. Promedios de las variables químicas y biológicas en las tres fincas estudiadas en Villa del Rosario, Norte de Santander

	Población de esporas (esporas 50·g ⁻¹)	Colonización de raíces (%)	Carbono Orgánico (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo disponible (µg·mL ⁻¹)	pH
Finca 1	113,23 b	15,22 c	5,71 c	0,34 c	174,13 c	6,09 a
Finca 2	169,33 a	19,00 a	9,40 a	0,55 a	346,30 a	6,06 a
Finca 3	99,87 c	17,59 b	7,85 b	0,46 b	220,88 b	5,48 b

Medias seguidas con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Variables químicas y biológicas del suelo antes y después de quema. El análisis multivariado explicó el 98,59 % de la variabilidad del experimento. Este análisis permitió correlacionar

la primera componente principal (PC1) y se denominó factores intervinientes en la actividad biológica de los HFMA y explica por sí sola el 64,21 % de la variabilidad del experimento

(Cuadro 4). Tres variables quedaron incluidas en esta componente y correspondieron al carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible, éste último con una influencia negativa. La segunda componente (PC2) contiene las otras tres variables y se denominó factores determinantes en la actividad biológica de los HFMA y explica el 34,38 % de la variabilidad del experimento; incluyó la población total de esporas, el porcentaje de colonización de raíces por los HFMA y el pH, este último también con una influencia negativa.

Cuadro 4. Análisis de componentes principales-ACP del efecto de quema de cascarilla de arroz en la población de HFMA y variables químicas del suelo

	Componente	
	1	2
Fracción de la varianza (%)	64,21	34,39
Fracción acumulada (%)	64,21	98,59
Nitrógeno total	0,969	-0,009
Carbono orgánico	0,968	-0,009
Fósforo disponible	-0,506	-0,016
Colonización de raíces	-0,026	0,841
pH	-0,176	-0,644
Población de esporas	-0,111	0,558

De acuerdo al diagrama de dispersión de los componentes principales (Figura 4), las variables de colonización de raíces, población de esporas y pH en AQ y DQ4 presentan diferencias con relación a los otros períodos. Se observa que el período antes de quema se ubicó hacia el lado positivo de la componente PC2, lo cual significa que la población total de esporas y su porcentaje de colonización de raíces presentó los mayores valores en el cultivo del período antes de la quema y se vieron afectados negativamente en períodos posteriores, los que quedaron ubicados hacia el lado negativo de esta componente PC2. El período DQ_4 se ubicó en el lado positivo de la PC2, lo que sugiere la recuperación en los valores de la población de esporas de los HFMA y su colonización en las raíces de las plantas hacia el final del período de transición entre dos quemas de cascarilla de arroz.

Por su parte, el pH presentó una influencia contraria a las otras dos variables de la componente PC2, ya que su valor aumentó luego

de a la quema de la cascarilla para luego disminuir en el período DQ_4, tal como se observó en la Figura 3b.

En cuanto a las variables de la componente PC1 se observa que las variables más discriminantes fueron nitrógeno y carbono, en las que no se logró una ordenación determinada entre tratamientos, por lo que se concluye que no hay valores característicos de estas dos variables para algún tratamiento; es decir, los valores dentro de cada tratamiento fueron similares a los valores entre tratamientos.

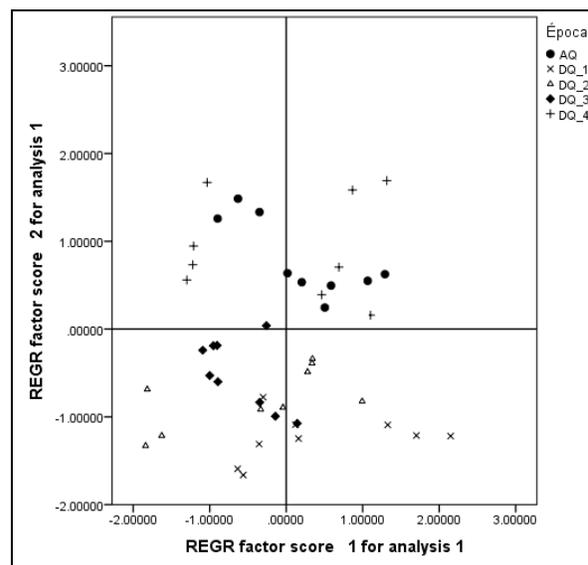


Figura 4. Diagrama dispersión de componentes principales PC1 y PC2 del efecto de quema de cascarilla de arroz. Antes de quema (AQ), Después de quema 1 (DQ_1), Después de quema 2 (DQ_2), Después de quema 3 (DQ_3), Después de quema 4 (DQ_4)

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron que existe una influencia negativa de la quema del material vegetal como la cascarilla de arroz, sobre la población de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares y su porcentaje de colonización en las raíces de las plantas cultivadas. Esta disminución en el período después de la quema coincide con los resultados de investigaciones donde se ha evaluado la población de microorganismos bajo el efecto del fuego, bien sea por incendio forestal (Longo et al., 2014) o quema prescrita (Bárceñas y Bååth,

2009). Los resultados pueden ser atribuidos a efectos directos ocasionados por las altas temperaturas que pueden alcanzarse durante la quema, sobre la viabilidad de las esporas de los HFMA (Hebel et al., 2009) debido a la exposición directa a las llamas de la combustión, a los gases calientes atrapados en el suelo, en donde el calor es suficiente para elevar la temperatura del organismo hasta dañarlo severamente (Rosero y Osorio, 2013). Sin embargo, otros aspectos indirectos también pudieron afectar la población de hongos formadores de micorriza arbuscular y su recuperación en este período de tiempo evaluado, como fueron los cambios químicos en los minerales, materia orgánica y pH del suelo. Estos cambios químicos fueron muy evidentes en los valores de pH, los cuales presentaron una variación significativa entre los diferentes períodos evaluados, especialmente antes e inmediatamente después de la quema (incremento de 5,5 a 6,3). Este cambio puede atribuirse a los procesos de oxidación de la materia orgánica que por las altas temperaturas liberan cationes básicos en el suelo lo que ocasiona un incremento en el pH, así como también, en la actividad de mineralización del carbono y el fósforo asociado a la materia orgánica (Scharenbroch et al., 2012; Rosero y Osorio, 2013).

Se observó similitud en las tendencias del fósforo disponible y el pH en el período previo e inmediatamente después de la quema, ya que al inicio el bajo valor de pH (5,5) habría favorecido la fijación de los fosfatos en complejos de aluminio y hierro, haciéndolo no asimilable por las plantas (Paredes y Espinosa, 2010; Lozano et al., 2012); en el período posterior a la quema, se registraron incrementos simultáneos del valor de pH y del fósforo disponible. Resultados similares fueron reportados por Switzer et al. (2012) en suelos forestales afectados por quema prescrita con respecto a suelos sin quema de material orgánico. Asimismo, Urretavizcaya (2010) indicó que durante el proceso de fuego, la materia orgánica está sujeta a un calentamiento severo y sometida a transformaciones irreversibles que hacen disponibles algunos nutrientes mientras que otros son volatilizados.

El incremento en el valor del fósforo disponible, registrado en el período posterior a la quema (DQ_1) puede estar asociado a que este

nutriente no se volatiliza como el nitrógeno sino que, por el contrario, se deposita en las cenizas, y luego por efecto del aumento del pH comience a aumentar su solubilidad (Lozano et al., 2012).

El porcentaje de carbono orgánico registró un aumento en el período siguiente a la quema, similar a lo registrado por Zhao et al. (2012), quienes indicaron que este incremento podría ser efecto de la acumulación de la biomasa vegetal superficial y de una gran masa de finas raíces que quedaron después del fuego y que pueden contribuir al contenido de carbono orgánico. Este incremento también podría atribuirse al hecho que los agricultores incorporan virutas de madera para proteger la semilla de cilantro el cual es un material con alto contenido de materia orgánica que podría ser lentamente degradado en el suelo (Urretavizcaya, 2010).

Un comportamiento similar también fue registrado por Scharenbroch et al. (2012) en suelos afectados por fuego prescrito en áreas forestales, donde a través del tiempo se va incorporando material orgánico particulado debido a la baja severidad del fuego e inclusión de hojarasca, raíces y macroinvertebrados posteriores a la quema. Pese a este aumento en la cantidad de carbono orgánico en el suelo, la población de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares y su porcentaje de colonización en las raíces tuvo una disminución en el período siguiente a la quema atribuido a que el tiempo de 50 días transcurridos para esta evaluación no habrían sido suficientes para la recuperación de la población de estos microorganismos.

En los períodos DQ_3 y DQ_4 de cultivo, la población de HMA y su colonización de raíces presentaron un incremento, a su vez que el valor del pH disminuyó y el fósforo disponible también redujo su valor con respecto al período inmediato después de la quema (DQ_1). Sin embargo, los valores de fósforo, no resultaron críticos para el desarrollo de la actividad biológica de los HFMA, y esto favoreció la colonización de raíces de los cultivos de hortalizas, especialmente en lechuga, espinaca, acelga y perejil, tal como lo indicaron Cuadros et al. (2011) cuando evaluaron la actividad de HMA en plantas de cacao con diferentes niveles de disponibilidad de fósforo.

Todos los resultados demostraron que existe una variabilidad durante el período de cultivos de hortalizas entre una quema de cascarilla de arroz y

otra, el cual oscila entre 6 y 10 meses, dependiendo del agricultor. En este estudio se evaluó la asociación micorrícica durante 8 meses, entre los cuales los agricultores obtuvieron 4 cosechas antes de la próxima quema de cascarilla de arroz. Por esta razón, los efectos benéficos de la asociación micorrícica podrían no ser tan evidentes en la productividad de los cultivos, debido a la dinámica de las condiciones químicas que se presentan en los suelos como pH, disponibilidad de fósforo y otros nutrientes (Pérez et al., 2011) que podrían presentar fluctuaciones. De acuerdo a esto, es importante reconocer la necesidad de replantear la práctica de la quema de cascarilla de arroz en la preparación del suelo para el establecimiento del cultivo de hortalizas, con el objetivo de mantener viable la población de esporas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares y contribuir con su actividad biológica ejercida por la colonización de las raíces, la cual se ve afectada por el efecto del fuego y los cambios de pH en estos suelos. Podría, además, recomendarse un restablecimiento de la población de esporas de HMA en los cultivos de hortalizas posterior al cultivo de cilantro y la sustitución de la quema por la incorporación de abonos orgánicos como acondicionadores de propiedades químicas del suelo, teniendo en cuenta que la finca 2 correspondiente a un instituto educativo en el cual se realizan prácticas de incorporación de este tipo de abono por los estudiantes, mostró resultados favorables en todas las variables evaluadas en los suelos de este predio.

CONCLUSIONES

La quema de cascarilla de arroz en la preparación de suelos para el establecimiento de cultivos de hortalizas, mostró un efecto negativo sobre la población de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares y el porcentaje colonización de raíces, lo cual demuestra que es una práctica agronómica inadecuada que afecta la supervivencia de estos microorganismos benéficos.

La asociación micorrícica resultó influenciada negativamente por el pH del suelo, el cual a su vez fue afectado por la materia orgánica e incidió en la disponibilidad de fósforo inorgánico, lo que indica que la dinámica de estos factores fisicoquímicos

durante los períodos cultivados antes y después de la quema también son también afectados significativamente por el efecto de la quema del material vegetal.

AGRADECIMIENTO

Al Fondo de Investigaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander (FINU), por el financiamiento del proyecto 008-2012 y a los agricultores propietarios de las fincas del municipio de Villa del Rosario por permitir el desarrollo de la investigación en sus predios.

LITERATURA CITADA

1. Apráez, E. y O.A. Moncayo. 2006. Laboreo y fertilización del kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst): efecto sobre variables edáficas. Archivos de Zootecnia 55(209): 39-50.
2. Bárcenas-Moreno, G. y E. Bååth. 2009. Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities. Soil Biology & Biochemistry 41: 2517-2526.
3. Carrillo, K., A. Colmenares, L. Ramírez, L. Moreno y D. Cárdenas. 2015. Inoculación de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) con rizobacterias en Villa del Rosario, Norte de Santander. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 68(1): 7459-7470.
4. Chimal-Sánchez, E., M.L. Araiza-Jacinto y V.J. Román-Cárdenas. 2015. El efecto del fuego en la riqueza de especies de hongos micorrizógenos arbusculares asociada a plantas de matorral xerófilo en el parque ecológico "Cubitos". TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 18(2):1 07-115.
5. Cuadros, G.A., R. Gómez y N.F. Rodríguez. 2011. Hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): Efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. Corpoica Cienc. Technol. Agropec. 12(1): 77-85.
6. Dias, J., R. Oliveira, A. Franco, K. Ritz, N. Nunan y P. Castro. 2010. Assessment of mycorrhizal colonization and soil nutrients in

- unmanaged fire-impacted soils from two target restoration sites. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8: 86-95.
7. Hebel, C.L., J.E. Smith y K. Cromack. 2009. Invasive plant species and soil microbial response to wildfire burn severity in the Cascade Range of Oregon. *Applied Soil Ecology* 42: 150-159.
 8. IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander. Imprenta Nacional de Colombia, 359 p.
 9. Longo, L., E. Nouhra, B.T. Goto, R.L. Berbara y C. Urcelay. 2014. Effects of fire on arbuscular mycorrhizal fungi in the Mountain Chaco Forest. *Forest Ecology and Management* 315: 86-94.
 10. Lozano, Z., R.M. Hernández-Hernández, C. Bravo, C. Rivero, M. Toro y M. Delgado. 2012. Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37(11): 820-827.
 11. MCIT (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo). 2013. Departamento Norte de Santander. Oficina de Estudios Económicos. <http://www.mincit.gov.co/publicaciones.php>. (consulta del 10/12/2014).
 12. Paredes-Mendoza, M. y D. Espinosa-Victoria. 2010. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 28(1): 61-70.
 13. Parodi, G. y F. Pezzani. 2011. Micorrizas arbusculares en dos gramíneas nativas de Uruguay en áreas con y sin pastoreo. *Agrociencia Uruguay* 15(2): 1-10.
 14. Pérez, C.A., S.J. Rojas y V.D. Montes. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 3(2): 366-385.
 15. Rosero, J. y I. Osorio. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa* 5: 59-67.
 16. Scharenbroch, B.C., B. Nix, K.A. Jacobs y M.L. Bowles. 2012. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma* 183-184: 80-91.
 17. Switzer, J.M., G.D. Hope, S.J. Grayston y C.E. Prescott. 2012. Changes in soil chemical and biological properties after thinning and prescribed fire for ecosystem restoration in a Rocky Mountain Douglas-fir forest. *Forest Ecology and Management* 275: 1-13.
 18. Trusty, P.E. y C.L. Cripps. 2011. Influence of fire on mycorrhizal colonization of planted and natural whitebark pine seedlings: Ecology and Management Implications. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-63*. 198-202.
 19. Urretavizcaya, M.F. 2010. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque* 31(2): 140-149.
 20. Williams, R.J., S.W. Hallgren y G.W. Wilson. 2012. Frequency of prescribed burning in an upland oak forest determines soil and litter properties and alters the soil microbial community. *Forest Ecology and Management* 265: 241-247.
 21. Zhao, H., D.Q. Tong, Q. Lin, X. Lu y G. Wang. 2012. Effect of fires on soil organic carbon pool and mineralization in a Northeastern China wetland. *Geoderma* 189-190: 532-539.