

# ABONOS VERDES E INOCULACIÓN MICORRÍZICA DE POSTURAS DE CAFETO SOBRE SUELOS FERSIALÍTICOS ROJOS LIXIVIADOS

R. Rivera<sup>✉</sup>, C. Sánchez, D. Caballero, R. Cupull, C. González y S. Urquiaga

**ABSTRACT.** *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea* and *Canavalia ensiformis* were seeded and characterized, with the aim of evaluating green manure management in the mycorrhized coffee seedling production on Chromic Luvisols; after 70 days, they were added to the soil for obtaining different substrates, in order to study seedling response to *G. fasciculatum* inoculation, on a randomized complete design with (5x2) factorial arrangement, besides including the treatments of single soil and soil/earthworm humus (3/1). Inoculation of the same effective strain was further studied on the substrates, made up of complementary earthworm humus added to the incorporated sorghum, at the rates of 9/1, 7/1, 5/1, besides including both treatments through a (6x2) factorial arrangement. The greatest dry weight production as well as the highest P and K extractions by sorghum, and N extractions by crotalaria were recorded. Green manures increased coffee growth and native mycorrhization; however, there was always a significant coffee response to inoculation, with the biggest effects in the substrate made up by crotalaria. Nevertheless, even in presence of such a substrate, inoculated seedlings did not show an effective mycorrhization and they were inferior to those obtained by the reference treatment of soil/humus (3/1). Therefore, to obtain healthy seedlings and an effective mycorrhization, it was necessary, besides inoculating, to add complementary earthworm humus at the rate of 9/1 on the incorporated crotalaria substrate.

**RESUMEN** Para evaluar el manejo de los abonos verdes en la producción de posturas micorrizadas de café sobre Fersialíticos Rojos Lixiviados, se sembraron y caracterizaron *Crotalaria juncea*, *Sorghum vulgare* y *Canavalia ensiformis*, incorporándose a los 70 días en el suelo y obteniéndose diferentes sustratos sobre los cuales, de conjunto con los tratamientos de suelo solo y suelo/humus de lombriz (3/1), se estudió la respuesta de las plántulas a la inoculación de *G. fasciculatum*, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (5x2). Posteriormente, se estudió la efectividad de la inoculación de la misma cepa eficiente en sustratos, conformados por adiciones complementarias de humus de lombriz sobre el sustrato de crotalaria incorporada, en relaciones de 9/1, 7/1, 5/1, e incluyendo los tratamientos de crotalaria incorporada, suelo solo y suelo/humus de lombriz en relación 3/1, mediante un arreglo factorial (6x2). Se encontraron las mayores producciones de masa seca, así como las mayores extracciones de P y K por el sorgo y de N por la crotalaria. Los abonos verdes incrementaron el crecimiento y la micorrización nativa del café, pero siempre hubo una respuesta significativa del café a la inoculación micorrízica, con los mayores efectos en presencia del sustrato conformado por la crotalaria. No obstante, aún en presencia de dicho sustrato, las posturas inoculadas no mostraron una micorrización efectiva y fueron inferiores a las obtenidas con el tratamiento de referencia suelo/humus (3/1). Por tanto, para obtener posturas vigorosas y una micorrización efectiva, fue necesario, además de inocular, adicionar cantidades complementarias de humus de lombriz en una relación de 9/1 sobre el sustrato de crotalaria incorporada.

**Key words:** *Coffea arabica*, arbuscular mycorrhizal inoculation, green manures, seedling production

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, inoculación de micorrizas arbusculares, abonos verdes, producción de posturas

## INTRODUCCIÓN

La importancia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para la producción agrícola ha sido ampliamente reconocida (1, 2, 3), siendo posiblemente

la producción de plántulas o posturas de café una de las áreas donde más resultados con repercusión práctica hayan sido encontrados internacionalmente (4).

En Cuba, fue el primer cultivo con un grupo importante de resultados en la temática y en diversas condiciones edafoclimáticas, que permitieron la obtención de vigorosas posturas micorrizadas de café, a partir de la inoculación de cepas eficientes de HMA por tipo de suelo, con menores requerimientos de abonos orgánicos, debido a un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y los abonos, y menor estadía de las plántulas en el vivero. En estos trabajos también se encontró que el parámetro masa del

Dr.Sc. R. Rivera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700; Dr.Sc. C. Sánchez, D. Caballero, R. Cupull y C. González, Investigadores de la Estación Experimental de Café de Jibacoa, Villa Clara; Dr. S. Urquiaga, Investigador del Centro Pesquisa Agrobiología, EMBRAPA, Brasil.

✉ rrivera@inca.edu.cu

endófito arbuscular reflejó mejor el funcionamiento micorrízico de las posturas de cafeto que el porcentaje de colonización micorrízica (5, 6, 7).

No obstante los anteriores resultados permitieron disminuir en un 30 % los requerimientos de abonos orgánicos para la obtención de vigorosas posturas micorrizadas, aún continuaba siendo un insumo limitante en el proceso de producción de posturas, sobre todo por la necesidad de incrementar su producción *in situ* y por no existir siempre fuentes locales para la producción de humus de lombriz o compostaje, así como por su costosa transportación en condiciones de montaña.

Por otra parte, se continúan incrementando los resultados exitosos de los abonos verdes, como vía de aportar nitrógeno y reciclar nutrientes en general, sustituyendo fertilizantes minerales y orgánicos (8, 9).

Asimismo, en los últimos años se ha dejado claro que los abonos verdes o las propias gramíneas en rotación incrementan los propágulos nativos micorrízicos en el suelo, producto de su propia micorrización e incrementando la colonización nativa de los cultivos posteriores (10, 11); sin embargo, la información en el país deja claro que aunque la micorrización nativa se incrementa, no llega a ser completamente efectiva y no impide la respuesta del cultivo posterior a la inoculación de una cepa eficiente (12, 13).

Por tales motivos, se ejecutaron una serie de trabajos sobre diferentes suelos, para caracterizar inicialmente la producción de fitomasa y las extracciones de macronutrientes de diferentes especies comúnmente usadas como abonos verdes, establecer su relación con la inoculación micorrízica de las posturas de cafeto, evaluar su capacidad para disminuir las cantidades de abonos orgánicos a utilizar en la producción de las posturas y, de esta forma, integrar esta práctica cultural en la tecnología de producción de posturas micorrizadas de cafeto, presentándose en este artículo los correspondientes a los trabajos desarrollados sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en la Empresa Agroforestal de Cumanayagua, Cienfuegos (N 230.10; E 602.70), desde 1996 hasta el 2000, sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados, de acuerdo con la clasificación cubana (14), que se corresponden con el suelo Luvisol cutánico (arcílico, crómico), de acuerdo con el referencial WRB (15). Este tipo de suelo es representativo de la zona montañosa central de Cuba, entre 350 y 400 m snm en relieves ondulados. Se asocian con temperaturas medias anuales entre 22 y 22,6°C, y altas precipitaciones anuales entre 1600 y 1750 mm.

Las características químicas del suelo del área experimental eran las de suelos cercanos a la neutralidad con pH-KCl de 5,72, contenidos adecuados de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  de 8,07 y 1,7  $\text{cmol.kg}^{-1}$  respectivamente y medios de K de 0,33  $\text{cmol.kg}^{-1}$ , todos extraídos con  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1N, y

contenidos altos de P disponible de 13,04  $\text{mg.100g}^{-1}$ , extraído con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 N. Los contenidos de materia orgánica de 3,24 % (Walkley y Black) fueron medios e indicativos de erosión asociada a un relieve ondulado. Los diferentes análisis de suelos se realizaron de acuerdo con las metodologías descritas por Paneque (16).

Los suelos se clasifican de media fertilidad, de acuerdo con los contenidos de cationes intercambiables y son de los que se han ejecutado previamente experimentos de selección de cepas eficientes de HMA y optimización de cantidades de abono orgánico, para la obtención de posturas de cafeto micorrizadas (6, 7).

El trabajo se desarrolló a través de dos experimentos diferentes: el no. 1 se realizó en dos etapas y se repitió íntegramente durante tres campañas de producción de posturas mientras que el no. 2 se repitió durante dos campañas.

**Etapas 1. Caracterización y crecimiento de las especies de abonos verdes.** Como especies de abonos verdes se evaluaron *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformes*, con muy buenos resultados en el país (8, 12) y, de forma general, en condiciones tropicales (9, 17, 18). En todos los casos, las especies de abonos verdes se sembraron en parcelas de 21  $\text{m}^2$  (6 m x 3,50 m), compuestas cada una por 10 surcos ubicados a una distancia de 0.35 m. La densidad de siembra dependió de la especie en cuestión: *Sorghum vulgare* a chorrillo; *Crotalaria juncea* con 25-30 semillas/m y *Canavalia ensiformis* con 6 semillas/m. La siembra se realizó todos los años, al inicio de la primavera (junio) y a los 70 días posteriores se evaluaron las cantidades de fitomasa fresca y seca, las extracciones de nutrientes (N, P y K) y la cantidad de propágulos HMA nativos a 20 cm de profundidad. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

**Etapas 2. Efecto de los abonos verdes y la inoculación de una cepa eficiente de HMA sobre el desarrollo de las posturas de cafetos.** Siempre se desarrollaron inmediatamente a continuación del anterior, en el período comprendido entre octubre y mayo de cada año. Las especies de abonos verdes se cortaron a los 70 días de sembradas (dds), se picaron en pedazos e incorporaron de forma manual al propio suelo, sobre el cual crecieron, a una profundidad de 0 a 20 cm. Transcurridos 30 días de esta operación, se realizó el llenado y acanterado de las bolsas con las diferentes combinaciones o sustratos, conformados por el suelo conteniendo cada uno de los abonos verdes crecidos previamente e incorporados (SAV). El experimento se desarrolló en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 6x2. Los niveles del primer factor consistieron en cada uno de los sustratos originados por el crecimiento y la incorporación *in situ* de las cuatro especies de abonos verdes y dos testigos, uno de ellos consistió en el suelo sin aplicación de humus de lombriz (testigo absoluto) y el otro con la relación 3:1 suelo:humus de lombriz, que se utiliza comúnmente en la producción de posturas de cafetos (19). El segundo factor estudiado, con dos niveles, correspondió a la inoculación o no de una cepa eficiente para este tipo de suelo.

La cepa eficiente de HMA utilizada fue *Glomus fasciculatum*, de acuerdo con resultados previos (6, 7). Cada tratamiento estuvo conformado por 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar cada período experimental.

**Experimento 2. Efecto de los abonos verdes y su complementación con abonos orgánicos (humus de lombriz) sobre la efectividad de la inoculación micorrízica de las posturas de café.** Este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar los requerimientos complementarios de humus de lombriz a la incorporación inicial de los abonos verdes al suelo. Consistió en un arreglo factorial completamente aleatorizado 6x2. El primer factor estuvo compuesto de la mezcla de SAV, con diferentes adiciones de humus de lombriz en las proporciones de 9:1, 7:1 y 5:1 (SAV:humus de lombriz) y sin humus de lombriz, incluyéndose además los tratamientos de referencia 3:1 (suelo:humus de lombriz) y un testigo absoluto (suelo). El segundo factor consistió en la inoculación o no de *Glomus fasciculatum*, que fue la misma cepa eficiente de HMA utilizada en el anterior experimento. La especie de abono verde utilizada fue *Crotalaria juncea*, que presentó los mejores resultados sobre la producción de las posturas, de acuerdo con los resultados del experimento 1. En cada tratamiento se utilizaron 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar el período experimental.

**Inoculación de cepas de HMA.** La cepa de *G. fasciculatum* utilizada tenía una cantidad mínima de esporas ( $\geq 20$  esporas.g de suelo<sup>-1</sup>), con un grado de pureza superior al 95 %. El inóculo se aplicó en la siembra, debajo de las semillas, a razón de 10 g/bolsa.

**Atenciones culturales.** Las actividades agrotécnicas para la producción de posturas se realizaron según las Instrucciones técnicas para el cultivo (19). Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 22 cm de altura y 14 cm de ancho, y se sembraron dos semillas/hoyo de la variedad Caturra Rojo, para dejar después una sola planta/bolsa cuando el 80 % se encontraban en fase de mariposa.

### Evaluaciones

**Análisis químico de suelos.** Previo al comienzo del experimento en cada año, se tomaron muestras compuestas (0-20 cm de profundidad) para los análisis químicos de fertilidad. Se evaluaron el pH en KCl, con una relación suelo:solución de 1: 2.5, la materia orgánica (%) por el método de Walkley y Black, el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O por el método de Oniani (extracción en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N con una relación suelo:solución 1:25); el Ca y Mg se determinaron por extracción con solución de AcNH<sub>4</sub> 1N a pH7 la posterior espectrometría de absorción atómica. En todos los casos, los diferentes análisis de suelos se realizaron de acuerdo con las metodologías de Paneque (16).

**Evaluaciones en las plantas de abonos verdes.** Las evaluaciones en las especies de abonos verdes se realizaron a los 70 dds. Se evaluaron la masa seca y los contenidos de N, P y K (%), así como el conteo de esporas micorrízicas de acuerdo a lo siguiente:

- ♦ **masa seca:** se determinó para hojas, tallos y raíces en estufa a 65°C y se estimó para la planta, por la suma de las masas secas de las diferentes partes de estas
- ♦ **análisis químicos de plantas:** se determinaron los contenidos de N, P, K (%) en la masa seca de las diferentes partes de las plantas. En todos los casos, a partir de digestión H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+Se, el N por el método Nessler, el P por el método de molibdovanadato y el K por fotometría de llama (16)
- ♦ **conteo de esporas HMA:** se tomaron muestras de suelo rizosférico hasta 20 cm de profundidad y se determinaron según el método del decantado-húmedo de Gederman y Mosseae (7) utilizándose mallas de 40 µm.

**Evaluaciones en las posturas de cafetos.** Se realizaron a los siete meses de sembradas, evaluándose el área foliar de las posturas y los indicadores del funcionamiento micorrízico en su sistema radical.

- ♦ **área foliar (AF):** se estimó siguiendo la metodología de Soto (6), a partir de las dimensiones lineales de las hojas y de acuerdo con la fórmula AF (cm<sup>2</sup>)= largo (cm) x máximo ancho (cm) x 0.64
- ♦ **porcentaje de colonización micorrízica:** la clasificación y tinción de raicillas se realizó de acuerdo con el método de Phillips y Hayman y la cuantificación según Giovannetti y Mosse (7).
- ♦ **masa del endófito arbuscular (EA):** se aplicó la metodología planteada por Herrera *et al.* (7), que se basa en la cuantificación de los segmentos colonizados, de acuerdo con los niveles de infección, y al ser referido a la masa de raicillas/g de suelo, permite estimar la masa del simbionte, como mg de EA.g de suelo<sup>-1</sup>. Estas últimas dos evaluaciones se realizaron solo en las últimas dos campañas de ambos experimentos.

**Análisis estadísticos.** Los resultados experimentales se procesaron en correspondencia con el diseño experimental y los arreglos utilizados, realizándose los correspondientes análisis de varianza. Los datos de colonización micorrízica (porcentaje de colonización) fueron transformados por  $\text{Arc sen} \sqrt{x}$ . Cuando el análisis de varianza dio significativo, se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan para  $p \leq 0.001\%$ , como criterio de comparación entre las medias de los tratamientos.

## RESULTADOS

**Crecimiento y cantidades de nutrientes en los abonos verdes.** Las especies de abonos verdes presentaron un comportamiento diferenciado (Tabla I), destacándose el sorgo con muy altas producciones de alrededor de 9,5 t masa seca.ha<sup>-1</sup>, seguido por la crotalaria, ambas muy superiores a las obtenidas con la canavalia; sin embargo, las mayores acumulaciones de N se asociaron con la crotalaria (193 kg.ha<sup>-1</sup>), seguidas por la canavalia y el sorgo, las cuales presentaron acumulaciones de 82 y 75 % respectivamente. El sorgo, por su parte, presentó las mayores extracciones de P y K, muy superiores a las obtenidas por la crotalaria y ambos superiores a la canavalia.

**Tabla I. Experimento 1. Masa seca y extracción de nutrientes (N, P y K) de las diferentes especies de abonos verdes sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados**

Especies	Campañas	Masa fresca (t.ha <sup>-1</sup> )	Masa seca (t.ha <sup>-1</sup> )	N	P (kg.ha <sup>-1</sup> )	K
Canavalia	1995-1996	33.00 c	4.62 c	165.39 b	17.71 b	53.13 c
Crotalaria	1995-96	45.50 b	7.20 b	187.02 a	17.28 b	97.20 b
Sorgo	1995-96	60.10 a	8.70 a	127.20 c	27.84 a	143.55 a
	E.S ±	1.76**	0.21**	5.36**	0.51***	3.53***
	CV %	6.61	5.29	5.81	4.25	6.23
Canavalia	1996-97	32.20 c	4.53 c	156.00 b	14.04 b	54.80 c
Crotalaria	1996-97	43.20 b	7.32 b	208.00 a	16.28 b	108.78 b
Sorgo	1996-97	64.30 a	8.33 a	133.72 c	26.65 a	153.27 a
	CV %	7.23	5.56	5.67	5.57	5.21
	E.S ±	1.94**	0.22***	5.33**	0.611***	3.18***
Canavalia	1997-98	35.00 c	4.76 c	159.94	13.80 c	62.36 c
Crotalaria	1997-98	44.21 b	7.40 b	185.00	19.98 b	116.18 b
Sorgo	1997-98	87.00 a	11.57 a	175.86	31.24 a	204.99 a
	E.S ±	<b>2.18***</b>	<b>0.29***</b>	5.41 ns	0.68***	4.37***
	CV %	<b>6.83</b>	<b>6.33</b>	5.43	5.42	5.92
Canavalia	Promedio	<b>33.40 c</b>	<b>4.64 c</b>	160.44 b	15.18 c	56.76 c
Crotalaria	Promedio	<b>44.30 b</b>	<b>7.31 b</b>	193.34 a	17.85 b	107.39 b
Sorgo	Promedio	<b>70.47 a</b>	<b>9.53 a</b>	145.60 b	28.58 a	167.27 a
	E.S ±	1.84**	0.211***	4.50**	0.67***	3.34***
	CV %	6.43	5.10	4.70	5.63	5.26

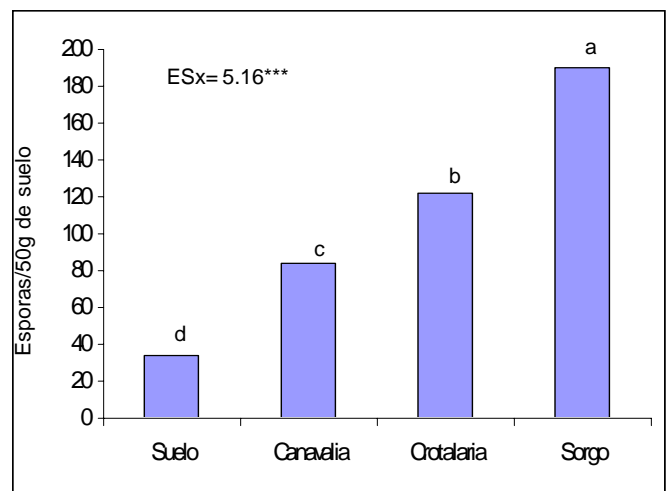
Medias con letras iguales en la misma columna para cada tipo de suelo no difieren significativamente para  $p \leq 0.01$  (\*\*) y  $p \leq 0.001$  (\*\*\*) según prueba de Duncan

Las esporas de HMA se incrementaron significativamente en el suelo (Figura 1), producto del crecimiento de las especies de abonos verdes, alcanzándose valores significativamente diferentes entre estas, ordenándose sus contenidos en el sentido de sorgo>crotalaria>canavalia y encontrándose una positiva relación lineal entre la masa seca de los abonos verdes a los 70 dds y las cantidades esporas de HMA en el suelo al momento de incorporarlos ( $R^2 = 93,8\%$ ).

*Efecto de los abonos verdes y la inoculación de HMA sobre el desarrollo y funcionamiento micorrízico de las plántulas de cafetos.* Los resultados presentaron alta reproducibilidad, con una respuesta diferenciada entre los tratamientos y dependiente de la especie de abono verde (Tabla II). Cuando las posturas no se inocularon, el uso de los abonos verdes incrementó ligeramente el crecimiento de las posturas, obteniéndose con el sorgo y la crotalaria efectos similares y mayores que los encontrados con la canavalia; no obstante, el crecimiento fue significativamente inferior al obtenido con el tratamiento de referencia 3/1.

Un efecto similar se encontró en los indicadores de funcionamiento micorrízico (masa endófito arbuscular y porcentaje de colonización), pero en este caso los valores obtenidos con el sorgo fueron indicativos de una mayor micorrización nativa, ordenándose sorgo>crotalaria>

canavalia; no obstante, los valores de masa del endófito arbuscular (EA) fueron siempre inferiores a los óptimos de  $21 \text{ mg.g}^{-1}$  (6, 7) para posturas de cafetos micorrizadas con cepas eficientes en estos suelos.



Letras diferentes difieren significativamente según prueba de Duncan para  $p \leq 0,001$

**Figura 1. Influencia de los abonos verdes sobre la reproducción de esporas de HMA a los 70 días de sembrados**

**Tabla II. Experimento 1. Efecto de la aplicación de diferentes especies de abonos verdes e inoculación con HMA (*Glomus fasciculatum*) en la producción de posturas de café sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados**

Tratamientos	Campaña 1995-1996	Campaña 1996-1997			Campaña 1997-1998		
	AF (cm <sup>2</sup> )	AF (cm <sup>2</sup> )	Colonización (%)	EA (mg.g <sup>-1</sup> )	AF (cm <sup>2</sup> )	Colonización (%)	EA (mg.g <sup>-1</sup> )
Suelo	217.67 d	221.50 e	16.33 e	7.34 f	216.20 e	14.33 f	4.16 g
Suelo+HMA	220.17 d	230.00 e	25.33 d	8.34 f	227.05 e	21.44 e	6.18 f
SAV <i>Canavalia</i>	271.67 c	283.33 d	17.00 e	11.00 cd	287.39 d	23.00 c	11.34 e
SAV <i>Canavalia</i> +HMA	364.00 b	347.00 c	43.00 b	16.24 b	338.53 c	32.00 d	15.03 c
SAV <i>Crotalaria</i>	340.17 b	315.83 c	37.33 c	15.86 b	296.10 d	26.00 d	13.00 d
SAV <i>Crotalaria</i> +HMA	397.00 ab	360.67 b	51.00 a	19.64 a	360.00 b	49.33 a	19.90 a
SAV <i>Sorgo</i>	324.83 b	332.33 c	40.00 bc	17.00 b	308.16 cd	30.00 c	15.33 c
SAV <i>Sorgo</i> +HMA	352.00 b	356.50 b	51.33 a	19.50 a	330.10 c	37.00 b	17.00 b
3:1	438.50 a	438.08 a	27.12 d	10.00 de	417.00 a	24.00 de	11.20 e
3:1+HMA	434.67 a	437.33 a	28.33 d	13.20 c	412.00 a	22.80 e	13.18 d
ES x	14.69***	11.70***	1.36***	0.695***	7.32***	1.02***	0.48***
CV %	10.90	8.55	7.05	8.64	4.49	6.33	6.57

SAV: sustrato conformado por el crecimiento y la incorporación de cada especie de abono verde estudiada sobre el suelo Fersialítico Rojo Lixiviado

3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (18)

\*\*\*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para p≤0.001 según prueba de Duncan

En los tratamientos inoculados con *G. fasciculatum* y que además recibieron los abonos verdes, las posturas de café siempre presentaron respuesta positiva tanto en el crecimiento como en el funcionamiento micorrízico, estando asociada la intensidad de la respuesta con la especie de abono verde utilizada.

La *crotalaria* originó mayor crecimiento y, en ocasiones, significativamente superior al sorgo y la *canavalia*; de forma similar el EA se ordenó de la siguiente forma: *crotalaria*>*sorgo*>*canavalia*; sin embargo, aún en los mejores tratamientos, las posturas micorrizadas presentaron un área foliar (AF) siempre inferior a las obtenidas con el tratamiento de referencia 3/1 y con valores de EA si bien mayores a los de los tratamientos no inoculados, aún fueron inferiores a los considerados como óptimos en estas condiciones (7). En los tratamientos de suelo solo y con la relación 3/1 (suelo/humus de lombriz), no existió respuesta a la inoculación, ni en el crecimiento ni en el funcionamiento micorrízico.

**Efecto de la complementación con humus de lombriz y la inoculación micorrízica.** La adición de cantidades crecientes de humus de lombriz al sustrato proveniente de la incorporación de la *crotalaria* (Tabla III), originaron incrementos significativos sobre el crecimiento y la micorrización de las posturas inoculadas con *G. fasciculatum* y con la combinación de 9/1 (SAV/humus) se obtuvieron posturas con áreas foliares similares a las del tratamiento 3/1 y un EA de 21 mg.g<sup>-1</sup>, indicativo de una micorrización efectiva de las posturas de cafetos en estos suelos (7).

**Tabla III. Experimento 2. Efecto de la *Crotalaria juncea*, humus de lombriz e inoculación con HMA (*Glomus fasciculatum*) sobre la producción de posturas de cafetos sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados. Promedio de dos campañas (1998-1999 y 1999-2000)**

Tratamientos	AF (cm <sup>2</sup> )	Colonización (%)	EA (mg.g <sup>-1</sup> )
Suelo	221.50 d	16.33 e	7.34 f
Suelo+HMA	230.00 d	25.33 d	8.34 f
SAV	315.83 c	37.33 c	14.86 cd
SAV+HMA	360.67 b	53.00 a	19.64 ab
9:1 SAV	371.00 b	29.00 d	14.80 cd
9:1 SAV+HMA	438.00 a	46.66 b	21.00 a
7:1 SAV	411.00 ab	28.00 d	15.60 c
7:1 SAV+HMA	445.83 a	46.33 b	19.00 b
5:1 SAV	413.83 ab	25.40 d	11.00 e
5:1 SAV+HMA	443.50 a	34.33 c	13.40 d
3:1	438.12 a	27.12 d	10.00 ef
3:1+HMA	437.33 a	28.33 d	13.00 d
ES x	17.44**	1.24***	0.47**
CV %	11.69	6.70	5.89

SAV: sustrato conformado por el crecimiento y la incorporación de *Crotalaria juncea* sobre el suelo Fersialítico Rojo Lixiviado  
9:1, 7:1, 5:1 Relaciones SAV/humus de lombriz estudiadas  
3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (18)

\*\*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para p≤0.01, según prueba de Duncan

Los suministros de nutrientes inferiores a esta combinación, como los de los tratamientos SAV/crotalaria y suelo solo, originaron no solo un menor crecimiento de las posturas inoculadas, sino un funcionamiento micorrízico inferior. Por otra parte, los suministros de nutrientes superiores (7/1, 5/1 y 3/1), si bien garantizaron un crecimiento adecuado de las posturas inoculadas, conllevaron a una disminución creciente de los indicadores de funcionamiento micorrízico de estas.

## DISCUSIÓN

Similares comportamientos de estas leguminosas han sido encontrados en condiciones edafoclimáticas diferentes (9, 17, 18, 20), con un comportamiento siempre superior en la producción de biomasa seca y extracción de nutrientes de la *Crotalaria juncea* frente a la canavalia y con valores similares a los aquí encontrados. Por otra parte, algunas gramíneas y entre ellas el sorgo han sido recomendadas como abonos verdes, por su alta producción de masa seca y acumulación de nutrientes (21), lo cual fue corroborado con estos resultados.

También se han encontrado incrementos de dos y tres veces de los propágulos nativos de HMA (10, 11, 14), por el uso de abonos verdes o leguminosas como cobertura, e incluso de los propios cultivos económicos previos en la rotación (22), incrementando asimismo la colonización micorrízica nativa de los cultivos posteriores, lo cual coincide con los resultados obtenidos. Es importante destacar que la intensidad de reproducción de los propágulos nativos estuvo directamente relacionada con el crecimiento de los abonos verdes y explicables en que la multiplicación de las esporas será consecuencia no solo de la dependencia micorrízica de estos cultivos (2), sino también de su crecimiento.

Sin embargo, los resultados también indicaron que si bien se observó un incremento de los propágulos nativos por el crecimiento de los abonos verdes, estos no garantizaron de por sí una micorrización efectiva de las posturas y, por tanto, para utilizar plenamente los beneficios de una simbiosis micorrízica efectiva en este tipo de suelo, se debe inocular el café con cepas eficientes de HMA.

El hecho de que la respuesta del café a la inoculación fuera ligeramente mayor en presencia de la crotalaria, pero que no existieran diferencias muy marcadas entre las respuestas obtenidas en presencia de los diferentes abonos verdes, sugiere no solo la importancia del suministro de N a las posturas, sino que aún en presencia de fuertes diferencias en el reciclaje de P y K a favor del sorgo, la mayor velocidad de descomposición de las leguminosas equiparó, en cierta medida, el suministro y la disponibilidad de los nutrientes de los diferentes sustratos.

No obstante, los resultados del experimento 1 y del propio experimento 2 (Tablas II y III) indicaron que en estos suelos, los abonos verdes no garantizaron totalmente las necesidades de nutrientes de las posturas micorrizadas y fueron necesarias entonces cantidades

complementarias de humus de lombriz en relación 9/1, para obtener una micorrización efectiva, expresada por un funcionamiento eficiente y originando un crecimiento óptimo (Tabla III).

Estas cantidades de humus de lombriz complementarias resultaron menores que las recomendadas para obtener posturas micorrizadas en estos suelos, correspondientes a una relación de 5/1 (7) y permitieron un ahorro del 60 % del humus de lombriz en relación con el tratamiento de 3/1, recomendado para la producción de posturas no micorrizadas (20).

En ambos experimentos, se corroboró que el funcionamiento micorrízico y, por tanto, los beneficios de la simbiosis se encuentran limitados tanto por insuficiencia de nutrientes como por un exceso de estos. En el primer caso, también influyeron sobre el crecimiento y, en el segundo, sobre la eficiencia en la absorción de los nutrientes, de forma similar a como ha sido encontrado tanto en el café como en otros cultivos (7, 23, 24), por lo que la inoculación de una cepa eficiente solo será efectiva en condiciones de suministro adecuado de nutrientes para el cultivo micorrizado.

## CONCLUSIONES

- En los suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados los abonos verdes estudiados no garantizaron totalmente los requerimientos de nutrientes de las posturas inoculadas con *G. fasciculatum*, siendo necesaria la adición complementaria de pequeñas cantidades de humus de lombriz en relación de 9/1 (SAV/humus de lombriz).
- Para lograr una micorrización efectiva de las posturas de café en estos suelos, es necesario inocular una cepa eficiente HMA, aun cuando se utilicen abonos verdes.
- La utilización de abonos verdes incrementó los propágulos nativos y ligeramente el funcionamiento micorrízico nativo y el crecimiento de las posturas de café, pero no garantizaron ni la micorrización efectiva ni el crecimiento óptimo de las posturas.
- La utilización de abonos verdes fue totalmente compatible con la tecnología de producción de posturas de café micorrizadas, vía inoculación de cepas eficientes de HMA.

## REFERENCIAS

1. Sieverding, E. Vesicular arbuscular mycorrhiza in tropical agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Federal Republic of Germany. 1991, 371 p.
2. Plenchette, C.; Clermont-Dauphin, C.; Meynard, J. M. y Fortin, J. A. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Can. J. Plant Sci.*, 2005, vol. 85, p. 31-40.
3. Hamel, C. y Strullu, D. G. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production: Potential and new direction. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, vol. 86, no. 4, p. 941-950.

4. López, E.; Toledo, S. V. de y Wuthe, A. C. Efeitos do fungo micorrízico *Gigaspora margarita* no desenvolvimento de mudas de cafeeiro cv Mundo Novo em condicoes de campo. En: Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10 Pozos de Caldas, 1983, Anais, Rio de Janeiro, IBC/GERCA. 1983, p. 122-123.
5. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*C. arabica* L. var. Catuai) en algunos tipos de suelos. Tesis (Doctorado en Ciencias Agrícolas), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 1999, p.102.
6. Sánchez, C.; Montilla, E.; Rivera, R. y Cupull, R. Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo Pardo Gleyzoso. *Revista Forestal Latinoamericana*, 2005, vol. 38, no. 1, p. 83-95.
7. Sánchez, C.; Caballero, D.; Rivera, R. /et al./. Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto (Parte III) en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. *Centro Agrícola*, 2006, vol. 33, no. 2, p. 17-22.
8. García, M. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. Habana. Tesis (Doctorado en Ciencias Agrícolas), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 1997, p. 100.
9. Perin, A.; Santos, R. H. S.; Urquiaga, S.; Guerra, J. G. M. y Cecon, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2004, vol. 39, no. 1, p. 35-40.
10. Biederbeck, V. O.; Zentne, R. P.; Campbell, C. A. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, vol. 37, p. 1775-1784.
11. Deguchi, S.; Shimazaki, S.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H.; Tanaka, O. White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. *Plant and Soil*, 2007, vol. 291, no. 1, p. 291-297.
12. Sánchez, C.; Rivera, R.; Caballero, D.; Cupull, R.; González, C. y Urquiaga, S. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos Cambisoles Gléyicos. *Cultivos Tropicales*. 2009, vol. 30, no. 1, p. 5-10.
13. Martín, G. Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular *Canavalia ensiformis* y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivadas sobre suelos Ferralíticos Rojos de La Habana. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas) INCA. 2010, p. 100.
14. UICS. Grupo de trabajo del WRB, 2006: Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, ISRIC, IUSS. 2008, 117 p.
15. Hernández, A.; Perez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Editorial AGRINFOR, La Habana. 1999, 46 p.
16. Paneque, V. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. Instituto Nacional Ciencias Agrícolas, La Habana. 2001, p.25.
17. Espindola, J. A. A.; Guerra, J. G. M.; De-Polli, H. y Almeida, D. L.; Abboud, A. C. S. Adubação verde com leguminosas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005, 49 p.
18. Guerra, J. G. M. y Lopes de Almeida, D. Adubação verde com leguminosas para o cultivo de hortaliças. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, nov. 24-28, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN) 978-959-16-0953-3
19. Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instrucciones técnicas para el cultivo del café y del cacao. 1987, p. 208.
20. Ricci, M. S. F.; Alves, B. J. R. y Ribeiro, J. Cultivo de *Crotalaria spectabilis* intercalada ao café arábica plantado em diferentes espaçamentos sob manejo orgânico. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2006, 21 p.
21. Perin, A.; Santos, R. H. S.; Urquiaga, S. S.; Cecon, P. R.; Guerra, J. G. M. y Freitas, G. B. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. *Horticultura Brasileira*, 2005, vol. 23, no. 2, p. 184-188.
22. Marrero, Y.; Simó, J.; Ruiz, L.; Rivera, R. y Plana, R. Influencia del laboreo sobre el manejo de la simbiosis micorrízica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un suelo Pardo con carbonatos. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, nov. 24-28, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN) 978-959-16-0953-3.
23. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas) INCA. 2001, p. 117.
24. Rivera, R. y Fernández, F. Chapter 33: Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. En: Norman Uphoff et al., (Eds.). Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA. 2006, p. 479-489.

Recibido: 9 de julio de 2009

Aceptado: 18 de mayo de 2010