



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

Green manures and mycorrhizal inoculation of coffee seedlings on Lixiviated Red Ferralitic soils

Ciro Sánchez Esmoris[✉], Ramón Rivera Espinosa[✉],
 Damián Caballero Bencosme, René Cupull Santana,
 Ceferino Gonzalez Fernández y Segundo Urquiaga Caballero

ABSTRACT. With the aim of evaluating the management of green manures in the mycorrhized coffee seedling production on Distric Nitisol soil, *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea*, and *Canavalia ensiformis* were seeded and characterized, and after 70 days they were added to the soil for obtaining different substrates (SAV), in order to study seedling response to an efficient AMF strain inoculation, in a randomized complete design with (5x2) factorial arrangement, besides including treatments of single soil and soil/earthworm humus (3/1). Inoculation effectiveness was further studied on the substrates made up of earthworm humus added to incorporated sorghum (SAV), including treatments 3/1 and the check through a (x2) factorial arrangement. The greatest dry weight production and N, P, K extractions were achieved by sorghum, followed by crotalaria. Green manures slightly increased native seedling mycorrhization and there was a significant coffee response to mycorrhizal inoculation either with sorghum or crotalaria; however, to obtain healthy seedlings and an effective mycorrhization, it was also necessary to add earthworm humus at the rate of 7/1 on the incorporated sorghum (SAV) and efficient AMF strain inoculation.

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar el manejo de los abonos verdes en la producción de posturas micorrizadas de café sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados se sembraron y caracterizaron *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformis*, incorporándose a los 70 días en el suelo y obteniéndose diferentes sustratos (SAV), sobre los cuales se estudió la respuesta de las posturas a la inoculación de una cepa eficiente de HMA (*G. intraradices*), en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (5x2) e incluyendo los tratamientos de suelo y suelo/humus de lombriz (3/1). Con posterioridad se estudió la efectividad de la inoculación con *G. intraradices* sobre otros sustratos conformados por adiciones de humus de lombriz al suelo con sorgo incorporado (SAV), en relaciones 9/1, 7/1 y 5/1 SAV/humus de lombriz, incluyendo además los tratamientos SAV, suelo/humus de lombriz (3/1) y suelo, mediante un arreglo factorial (6 x 2). Se encontraron las mayores producciones de masa seca y extracciones de N, P y K con el sorgo, seguida por la crotalaria. Si bien los abonos verdes incrementaron ligeramente la micorrización nativa de las posturas, siempre se encontró una significativa respuesta del café a la inoculación micorrízica en presencia de cualesquiera de los sustratos con abonos verdes incorporados (SAV); no obstante en este tipo de suelo la utilización conjunta de los abonos verdes y la inoculación micorrízica del café no lograron de por sí garantizar un óptimo crecimiento de las posturas, siendo necesaria la adición de cantidades complementarias de humus de lombriz en relación 7/1 sobre el sorgo incorporado, así como la inoculación de las posturas para obtener una micorrización efectiva y posturas vigorosas de café.

Key words: *Coffea arabica*, arbuscular mycorrhizae, green manure, seedling production, inoculation

Palabras clave: *Coffea arábica*, hongos micorrízicos arbusculares, abonos verdes, producción de posturas, inoculación

Dr.C. Ciro Sánchez, Investigador Titular; M.Sc. René Cupull Santana y M.Sc. Ceferino Gonzalez Fernández, Investigadores Auxiliares de la Estación Experimental de Café de Jibacoa, Ministerio de la Agricultura; Dr.C. Ramón Rivera Espinosa, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque,

CP 32 700; M.Sc. Damián Caballero Bencosme, Profesor Auxiliar; Universidad Central de las Villas «Martha Abreu», MES, Cuba; Dr.C. Segundo Urquiaga Caballero, Investigador Titular, Centro Pesquisa Agrobiología, EMBRAPA, Brasil.

✉ invcafe@eimavc.co.cu; rrivera@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La importancia de los HMA para la producción agrícola ha sido ampliamente reconocida (1, 2, 3, 4), siendo posiblemente la producción de posturas de cafeto, una de las áreas en la cual se obtuvieron desde fechas tempranas resultados satisfactorios.

En Cuba fue el primer cultivo con un grupo importante de resultados sobre la inoculación de cepas de HMA, que permitieron la recomendación de estas por tipo de suelo, con menores requerimientos de abonos orgánicos, debido a un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y de los abonos y menor estadía de las posturas en el vivero (5, 6, 7). En estos trabajos se lograron establecer criterios de funcionamiento micorrízico efectivo de las posturas inoculadas de cafeto asociados al endófito arbuscular (5, 6) para los diferentes tipos de suelos en que se trabajó.

Si bien los resultados satisfactorios debidos a la inoculación micorrízica de las posturas disminuyeron los requerimientos de abono orgánico en un 30 %, este aún continuaba siendo un insumo limitante sobre todo por su costosa transportación en condiciones de montaña o por la necesidad de incrementar la producción *in situ* y no existir siempre fuentes locales para la producción de humus de lombriz o compostaje.

Por otra parte, son conocidos los beneficios asociados a la utilización de los abonos verdes como vía de aportar nitrógeno y de reciclar nutrientes en general, sustituyendo fertilizantes y participando en estrategias de recuperar suelos y mantener la fertilidad de estos (8, 9, 10,); sin embargo, no existe información sobre su manejo en la producción de posturas de cafeto, con excepción de la publicada recientemente por los autores en otros tipos de suelos (11, 12).

En los últimos años se ha dejado claro que los abonos verdes y los cultivos dependientes de la micorrización en general, cuando se manejan en secuencias pueden elevar los propágulos nativos micorrízicos en el suelo producto de su propia micorrización y consecuentemente aumentar la colonización nativa de los cultivos posteriores (13, 14); no obstante, la información obtenida en el país demuestra que estos incrementos de la micorrización nativa no llegan a ser completamente efectivos y no impiden la respuesta del cultivo posterior a la inoculación de una cepa eficiente (11, 12, 15, 16).

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 posturas micorrizadas y, de esta forma, integrar esta práctica cultural en la tecnología de producción de posturas micorrizadas de cafeto, presentándose en este artículo los resultados correspondientes a los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en la Empresa Agroforestal de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, Cuba, durante los años 1996 al 2000, sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (17) que se corresponden con el Nitisol dúctil de acuerdo con el referencial de suelos WRB (18).

Este tipo de suelo es representativo de la zona montañosa central de Cuba, por encima de 500 msnm y en relieves ondulados. Se asocian con temperaturas medias anuales entre 21,2 y 22,6°C y altas precipitaciones del orden de 1750 a 2000 mm.año⁻¹.

Las características químicas del área experimental fueron las siguientes: suelos ácidos con pH-KCl de 4,7; desaturados, con CIC entre 11 y 13 cmol.kg⁻¹ y bajos contenidos de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiables (extraídos con NH₄Ac 1N) de 0,15; 2,7 y 1,3 cmol.kg⁻¹ respectivamente y contenidos medios de P de 39.7 mg.kg⁻¹ (extraídos con H₂SO₄ 0,05 N). Los contenidos de materia orgánica de 2,5 % (Walkley & Black) fueron bajos e indicativos de erosión. Se clasifican como suelos de baja fertilidad y en ellos fueron ejecutados previamente experimentos de selección de cepas eficientes de HMA y de optimización de cantidades de abono orgánico para la obtención de posturas de cafeto micorrizadas (6).

El trabajo se desarrolló a través de dos experimentos diferentes, los cuales se repitieron durante dos años cada uno. El experimento 1 se condujo en dos etapas.

Experimento 1. Etapa 1. «Caracterización y crecimiento de las especies de abonos verdes». Se evaluaron *Sorghum vulgare*, *Canavalia ensiformis* y *Crotalaria juncea*, con muy buenos resultados en el país (8). En todos los casos las especies de abonos verdes se sembraron en parcelas de 21 m² (6 x 3,50 m), estando compuestas cada una por 10 surcos, separados a una distancia de 0.35 m. La densidad de siembra dependió de la especie en cuestión: *Sorghum vulgare*: a chorrillo; *Crotalaria juncea*: de 25 a 30 semillas por metro lineal y *Canavalia ensiformis*: seis semillas por metro lineal.

La siembra se realizó en todos los años, a inicio de la primavera (mes de junio) y a los 70 días de sembrados (dds) se procedió a cortar los mismos. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

Experimento 1. Etapa 2. «Efecto de los abonos verdes y la inoculación de una cepa eficiente de HMA sobre el desarrollo de las posturas de cafetos». Se ejecutaron inmediatamente a continuación del anterior, en el período comprendido entre octubre y mayo.

Las especies de abonos verdes cortadas a los 70 días de sembradas (dds), se picaron en pedazos e incorporaron de forma manual en el propio suelo sobre el cual crecieron, en una profundidad de 0 a 20 cm.

Transcurridos 30 días de esta operación se realizó el llenado de las bolsas con las diferentes combinaciones o sustratos (SAV), conformados por el suelo conteniendo cada uno de los abonos verdes previamente crecidos e incorporados en el mismo.

El experimento se desarrolló con un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 5 x 2. Los niveles del primer factor consistieron en cada uno de los sustratos originados por el crecimiento e incorporación *in situ* de las tres especies de abonos verdes (SAV para cada especie) y dos testigos. Uno de los testigos consistió en el suelo sin aplicar abono orgánico (testigo absoluto) y el otro con la relación 3:1 suelo: humus de lombriz, que es utilizada comúnmente en la producción de posturas de cafetos (19).

El segundo factor estudiado, con dos niveles, correspondió a la inoculación de una cepa eficiente para este tipo de suelo. La cepa utilizada fue *Glomus intraradices* de acuerdo con los resultados previos de Sánchez (6). Cada tratamiento estuvo conformado por 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar cada período experimental.

Experimento 2. Se desarrolló con el objetivo de encontrar los requerimientos complementarios de abonos orgánicos (humus de lombriz) a la incorporación inicial de los abonos verdes. Consistió en un arreglo factorial completamente aleatorizado (6 x 2). El primer factor estuvo compuesto de la mezcla de suelo más abono verde (SAV) que mejores resultados presentó en el experimento 1 con diferentes adiciones de abono orgánico, en las proporciones de 9:1, 7:1 y 5:1 (SAV: humus de lombriz) y sin abono orgánico, 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 la misma cepa eficiente de HMA utilizada en el experimento anterior. En cada tratamiento se utilizaron 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar el período experimental.

Inoculación de cepas de HMA. Las cepas de HMA utilizadas tenían una cantidad mínima de esporas (≥ 20 esporas.g⁻¹ de inoculante), con un grado de pureza superior al 95 %. El inóculo se aplicó en el momento de la siembra, debajo de las semillas a razón de 10 g por bolsas.

Atenciones culturales. Las actividades fitotécnicas para la producción de posturas se realizaron según las Instrucciones Técnicas para el Cultivo del Café y el Cacao (19). Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 22 cm de altura y 14 cm de diámetro y se sembraron dos semillas/hoyo de Caturra Rojo para dejar después una sola planta/bolsa cuando el 80 % se encontraba en fase de mariposa.

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

- ♦ **Masa fresca.** Para cada especie de abono verde se extrajeron las plantas contenidas en 1.05 m², subdividiéndose en hojas, tallos y raíces hasta 20 cm de profundidad. Esta evaluación se hizo por triplicado en balanza, estimándose la masa fresca total a partir de sumar los valores de las diferentes partes y se expresó como t.ha⁻¹.

- ♦ **Masa seca.** A partir de las diferentes muestras para masa fresca y se determinó para hojas, tallos y raíces en estufa a 65°C hasta alcanzar peso constante. Se estimó para la planta, por la suma de las masas secas de las diferentes partes de estas.
- ♦ **Análisis químico 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 H₂SO₄ + Se y determinación del nitrógeno por método Nessler, fósforo por el método de molibdo vanadato y el potasio por fotometría de llama, de acuerdo con Paneque (20).
- ♦ **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 (1963) y citado por Fernández (5) 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 e indicadores del funcionamiento micorrízico en el sistema radical de estas.
- ♦ **Área foliar (AF).** Se estimó siguiendo la metodología de Soto (1980) citada por Fernández (5), a partir de las dimensiones lineales de las hojas y de acuerdo a la siguiente fórmula AF (cm²) = 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 descrito por Phillips y Hayman (1970) y la cuantificación según Giovannetti y Mosse (1980), ambos citados por Sánchez *et al.* (6).
- ♦ **Masa de Endófito Arbuscular (EA).** Se aplicó la metodología planteada por Herrera *et al.* (1995) y citada por Sánchez *et al.* (6), 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⁻¹ de suelo. Estas últimas dos evaluaciones se realizaron solo en las últimas dos campañas.
- ♦ **Análisis estadístico.** Los resultados experimentales se procesaron de acuerdo con el diseño experimental y arreglos utilizados, realizándose los correspondientes análisis de varianza. Los datos de colonización micorrízica (porcentaje de colonización) fueron transformados por Arc. sen \sqrt{x} . Cuando el análisis de varianza dio significativo, se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiple 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

Los resultados presentaron alta reproducibilidad en cada año. Las especies de abonos verdes presentaron un comportamiento diferenciado (Tabla I), destacándose

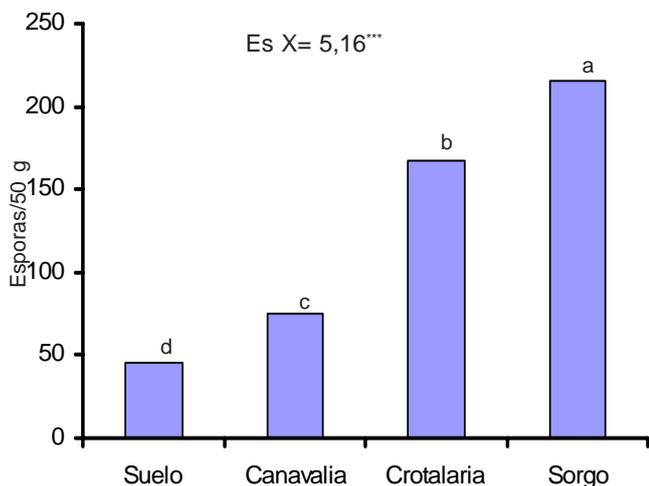
Tabla I. Masa fresca, seca y extracción de nutrientes de las diferentes especies de abonos verdes a los 70 días (dds), sobre suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de montaña

Especies	Campañas	Masa fresca (t.ha ⁻¹)	Masa seca (t.ha ⁻¹)	N	P (kg.ha ⁻¹)	K
Canavalia	1996-1997	28.12 c	4.16 c	145.18 b	14.14 c	49.00 c
Crotalaria		39.40 b	6.38 b	164.60 a	16.59 b	100.80 b
Sorgo		61.70 a	9.16 a	162.13 a	24.73 a	153.88 a
	ES ±	1.60***	0.23***	3.84 ***	0.40**	2.19***
Canavalia	1997-1998	29.00 c	4.21 c	142.30 b	12.63 c	50.52 c
Crotalaria		38.20 b	6.34 b	165.47 a	17.75 b	97.00 b
Sorgo		58.40 a	8.73 a	150.16 ab	23.57 a	149.28 a
	ES ±	1.33***	0.19***	4.19 **	0.74***	2.36***

Medias con letras iguales en la misma columna para cada campaña, no difieren significativamente para $P \leq 0.05$ (**) y para $P \leq 0.001$ (***) de acuerdo con el test de Duncan

el sorgo con los mayores rendimientos de masa seca y cercanos a 9 t.ha^{-1} , seguido por la crotalaria con alrededor de $6,3 \text{ t.ha}^{-1}$ y superiores a las $4,2 \text{ t.ha}^{-1}$ obtenidas con la canavalia. Las mayores extracciones de nitrógeno se asociaron con la crotalaria y el sorgo, cercanas a 160 kg.ha^{-1} y ligeramente superiores a los 140 kg.ha^{-1} obtenidos con la canavalia. El sorgo presentó las mayores extracciones de P y K, con valores promedios de $55 \text{ kg P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ y $180 \text{ kg K}_2\text{O.ha}^{-1}$ respectivamente, muy superiores a los obtenidos por la crotalaria y la canavalia.

Las esporas nativas de HMA se incrementaron significativamente en el suelo (Figura 1) producto del crecimiento de los abonos verdes y se encontró una relación lineal entre la masa seca producida por cada una de las especies de abonos verdes y las esporas encontradas en el momento de incorporar estos ($R^2=93,9\%$).



Letras diferentes difieren significativamente según Test 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

Efecto de los abonos verdes y la inoculación de HMA sobre el desarrollo y funcionamiento micorrízico de las posturas de cafetos

Los resultados presentaron alta reproducibilidad, con una respuesta diferenciada entre los tratamientos y dependiente de la especie de abono verde empleada (Tabla II).

La utilización de cualquiera de los abonos verdes, incrementó ligeramente tanto el crecimiento de las posturas, como los indicadores de funcionamiento micorrízico (masa del endófito arbuscular y porcentaje de colonización), aún cuando las posturas no estuvieran inoculadas; sin embargo, estas posturas presentaron un área foliar muy inferior a la obtenida con el tratamiento 3/1 (suelo/humus de lombriz) y asimismo, los valores de EA presentados (7 a 16 mg.g^{-1}) fueron muy inferiores a los valores óptimos de 30 - 32 mg.g^{-1} encontrados por Sánchez (6), para posturas de cafeto con una micorrización efectiva en estos suelos.

En cualquiera de los casos, el sorgo presentó un mayor efecto sobre el crecimiento y la micorrización nativa de las posturas que la crotalaria y esta fue superior a la canavalia.

En los tratamientos que se inocularon con *G. intraradices*, se encontró una respuesta tanto sobre el crecimiento, como sobre el funcionamiento micorrízico de las posturas, estando asociada la intensidad de la respuesta con la especie de abono verde; sin embargo, aún en los mejores tratamientos las posturas inoculadas presentaron un Área Foliar siempre inferior a las óptimas obtenidas con el tratamiento 3/1 (suelo/humus de lombriz) y con valores de EA cercanos a 20 mg.g^{-1} , muy inferiores a los considerados como adecuados para las posturas de cafetos micorrizadas eficientemente en estos suelos (6). En cualquiera de los casos el sorgo presentó un mayor efecto que la crotalaria y esta fue superior que la canavalia.

Asimismo en los tratamientos de suelo solo y 3/1 (suelo/humus de lombriz) no existió, de forma general, respuesta a la inoculación, ni sobre el crecimiento ni sobre el funcionamiento micorrízico, con excepción de ligeros incrementos en las variables de funcionamiento micorrízico en una de las campañas para el tratamiento de suelo solo, aunque presentando siempre los menores valores en estas variables.

Tabla II. Efecto de la aplicación de abonos verdes y HMA (*Glomus intraradices*) en la producción de posturas de café sobre suelo Ferralítico Rojo lixiviado de montaña

Tratamientos	Campaña 1996-1997			Campaña 1997-1998		
	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g ⁻¹)	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g ⁻¹)
Suelo	141.00 e	23.00f	6.12 h	153.10 f	24.33 g	5.80 f
Suelo + HMA	144.00 e	25.00 f	6.10 h	154.00 f	31.00 e	7.86 e
SAV Canavalia	223.00 d	27.33 de	7.17 f	215.00 e	30.00 ef	9.83 d
SAV Canavalia + HMA	251.00 d	40.00 c	12.08 e	261.00 de	47.00 b	14.11 c
SAV Crotalaria	243.00 d	33.33 d	13.07 d	257.00 de	36.00 d	12.32 cd
SAV Crotalaria + HMA	290.00 c	56.00 a	17.00 b	297.00 bc	51.00 a	17.00 b
SAV Sorgo	285.00 c	46.00 b	13.00 d	266.14 cd	40.00 c	16.80 b
SAV Sorgo + HMA	321.00 b	55.00 a	21.20 a	330.00 b	49.00 ab	19.15 a
3:1 Suelo/humus de lombriz	410.00 a	27.00 de	16.90 b	416.00 a	28.00 f	15.96 b
3:1 Suelo/humus de lombriz + HMA	432.00 a	28.00 de	17.83 b	440.00 a	30.00 ef	17.80 a
Es x	10.08***	1.19***	0.279***	14.64***	0.905**	0.519***
Cv %	6.37	7.72	4.06	9.08	5.85	6.93

SAV: sustrato conformado por crecimiento e incorporación de cada especie de abono verde estudiada sobre el suelo Ferralítico Rojo lixiviado
HMA: *G. intraradices*

3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (19)

*** Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para $P \leq 0.001$ según test de Duncan

Efecto de la complementación con humus de lombriz e inoculación micorrízica

La adición de cantidades crecientes de humus de lombriz al sustrato de abonos verdes (Tabla III), mostró incrementos significativos sobre el crecimiento y micorrización de las posturas inoculadas y con la combinación de 7/1 (SAV/humus) se obtuvo posturas con un área foliar similar a las del tratamiento 3/1 y un EA de 30,4 mg.g⁻¹ indicativo de una simbiosis micorrízica efectiva de las posturas en estas condiciones edáficas (6).

Suministros de nutrientes por debajo de esta combinación, 9/1 (SAV/humus de lombriz), SAV y suelo solo, originaron no solo un menor crecimiento de las posturas inoculadas, sino un funcionamiento micorrízico inferior. Por otra parte suministros de nutrientes superiores 5/1 (SAV/humus de lombriz) y 3/1 (suelo/humus de lombriz), si bien garantizaron un crecimiento adecuado de las posturas inoculadas, conllevaron a valores bajos de EA (17-20 mg.g⁻¹) y de porcentajes de colonización micorrízica, indicando que la simbiosis no estaba funcionando satisfactoriamente, aunque se haya inoculado con cepas eficientes de HMA.

Asimismo se encontró una alta reproducibilidad en el comportamiento de los tratamientos comunes de ambos experimentos.

DISCUSIÓN

Similares comportamientos de estas leguminosas han sido encontrados por otros investigadores en condiciones edafoclimáticas diferentes (8, 9, 15, 21), con un comportamiento siempre superior en masa seca y extracción de nutrientes de la *Crotalaria juncea* frente a la *Canavalia ensiformis* 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 (22), lo cual fue corroborado con estos resultados.

Diversos investigadores (13,14) han encontrado incrementos entre dos y tres veces de los propágulos nativos de HMA por el uso de abonos verdes o de leguminosas como cobertura, 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 las diferencias en crecimiento de los abonos verdes y explicables en que la multiplicación de las esporas fue consecuencia, no solo de la dependencia micorrízica de estos cultivos, sino también del crecimiento de las plantas. Resultados similares fueron encontrados por los autores con estas mismas especies de abonos verdes en otros dos tipos de suelos (11, 12).

Los resultados también indican, que si bien existió un incremento de los propágulos nativos por el crecimiento de los abonos verdes, estos no garantizaron una micorrización efectiva de las posturas y, por tanto, para utilizar plenamente los efectos beneficiosos de la simbiosis micorrízica en este tipo de suelo, se debe inocular el café con cepas eficientes de HMA, que garanticen un óptimo funcionamiento micorrízico y crecimiento de las posturas.

Los resultados del experimento 1 asimismo señalan que en estos suelos, los abonos verdes no garantizaron totalmente las necesidades de nutrientes de las posturas micorrizadas y fueron necesarias cantidades complementarias de humus de lombriz en relación 7/1 (SAV/humus de lombriz), para obtener una micorrización efectiva de las posturas, expresada por un funcionamiento eficiente y que origina un crecimiento óptimo.

Tabla III. Efecto de los abonos verdes, orgánicos e inoculación con HMA sobre la producción de posturas de cafetos sobre suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de montaña. Promedio de dos campañas (1998-1999 y 1999-2000)

Tratamientos	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g) ⁻¹
Suelo	153.12 e	26.33 e	5.80 g
Suelo + HMA	157.00 e	31.00 d	7.86 f
SAV Sorgo	286.00 d	40.00 c	16.80 d
SAV Sorgo + HMA	330.27 c	49.00 b	19.55 c
9:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz	306.00 cd	36.33 c	14.25 e
9:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz + HMA	357.00 bc	50.33 ab	23.25 b
7:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz	381.00 b	39.33 c	13.90 e
7:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz + HMA	446.21 a	54.00 a	30.40 a
5:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz	441.00 a	38.33 c	16.73 d
5:1 SAV Sorgo/ humus de lombriz + HMA	445.31 a	46.00 b	17.44 d
3:1 Suelo/humus de lombriz	420.95 a	28.00 de	15.96 d
3:1 Suelo/humus de lombriz + HMA	440.23 a	30.00 d	17.40 d
CV %	6.63	7.20	5.20
ES ± Tratamientos	13.27**	1.21**	0.48**

SAV: sustrato conformado por crecimiento e incorporación de cada especie de abono verde estudiada sobre el suelo Ferralítico Rojo lixiviado
HMA: *G. intraradices*

3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (19)

*** Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para $P \leq 0.001$ según test de Duncan

Estas cantidades complementarias de humus de lombriz resultaron menores que las recomendadas para obtener posturas micorrizadas, vía inoculación de cepas eficientes de HMA, en estos suelos y que se corresponden con una relación de 5/1 (7), y permitió además un ahorro del 50 % del abono orgánico en comparación con la relación 3/1 (suelo/humus de lombriz), recomendada para la obtención de posturas de cafeto en Cuba (19).

El hecho de que el sorgo se comportó como la mejor especie de abono verde, debe ser consecuencia no solo de los altos contenidos de N, P y K en el material vegetal que se incorpora, sino del considerable periodo de aviveramiento del cafeto y del bajo ritmo de absorción inicial de este, que posiblemente permitieron una adecuada sincronía entre la descomposición de este material con mayor relación C/N que las leguminosas y la absorción por la postura micorrizada.

Las diferencias entre los valores de EA, asociados con el crecimiento de las posturas, manejo de los abonos verdes, cantidades de humus de lombriz e inoculación micorrízica, corroboraron la bondad de este indicador para reflejar el funcionamiento micorrízico, encontrándose los mejores crecimientos de posturas inoculadas asociados con valores de 30-32 mg.g⁻¹ y corroborando los criterios obtenidos anteriormente por Sánchez (6).

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 influye sobre el crecimiento y en el segundo caso solo sobre la eficiencia en la absorción de los nutrientes, de forma similar a como ha sido encontrado tanto en el cafeto como en otros cultivos (5, 7, 23), por

tanto la inoculación de una cepa eficiente será efectiva solo en condiciones de un adecuado suministro de nutrientes para el cultivo micorrizado.

La integración de los resultados encontrados previamente en los suelos Pardos Gléyicos (11) y Ferralíticos Rojos lixiviados (12), con los de este trabajo en los Ferralíticos Rojos lixiviados, todos representativos de la producción de posturas de cafetos en el macizo Guamuhaya, dejan clara la factibilidad de la integración de los abonos verdes en la producción de posturas de cafetos inoculadas con cepas eficientes de HMA, obteniendo la sustitución parcial o total del humus de lombriz dependiendo del tipo de suelo y posiblemente de su fertilidad asociada.. Asimismo ratifican la necesidad de inocular con cepas eficientes de HMA para obtener posturas de cafeto con un óptimo funcionamiento micorrízico y con un crecimiento similar a las obtenidas con cantidades muy superiores de humus de lombriz.

CONCLUSIONES

- En los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados los abonos verdes incorporados no garantizan totalmente los requerimientos de nutrientes de las posturas inoculadas con cepas eficientes de HMA, siendo necesaria la adición de humus de lombriz en relación 7/1.
- Para lograr una micorrización efectiva de las posturas de cafetos en estos suelos es necesario inocular una cepa eficiente HMA, aún cuando se utilicen abonos verdes.
- La utilización de los abonos verdes incrementó los propágulos nativos y ligeramente el funcionamiento micorrízico nativo y el crecimiento de las posturas, pero no garantizan ni la micorrización efectiva, ni el crecimiento óptimo de las posturas.

- ✿ La utilización de los abonos verdes es totalmente compatible con la tecnología de producción de posturas de cafetos 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. 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.
3. Sharma, S.; Pant, D.; Singh, S.; Sinha, R. R. y Aldholeya, A. Mycorrhizae in Indian Agriculture. Pages 239-291. En: *Mycorrhizae in Crop Production* (eds.) Chantal Hamel and Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton, NY, USA. 2007. p. 239-291.
4. Gavito, M. E. Mycorrhizae and Crop Production in a World of Rapid Climate Change; A Warning Call. En: *Mycorrhizae in Crop Production* (eds.) Chantal Hamel and Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton, NY, USA. 2007. p. 293-310.
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. 102 p., 1999. [Tesis de Doctorado], Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba.
6. Sánchez, C.; Caballero, D.; Rivera, R. y Cupull, R. Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto (Parte II) Suelo Ferralítico Rojo de Montaña. *Centro Agrícola*, 2006, vol. 33, no. 2, p. 11-16.
7. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. En: *Mycorrhizae in Crop Production* (eds.) Chantal Hamel and Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton, NY. 2007. p. 151-196.
8. Ramos, M. G.; Villatoro, M. A. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R. y Boddey, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. *Journal of Biotechnology*, 2001, vol. 91, p. 105-115.
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 Agropecuária Brasileira*, 2004, vol. 39, no. 1, p. 35-40.
10. Bunch, R. Green Manure/Cover Crops for Recuperating Soils and Maintaining Soil Fertility in the Tropics. In: Norman Uphoff *et al.*, (Eds.). *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA. 2006. p. 439-452.
11. Sánchez, C.; Rivera, R.; Caballero, D.; Cupull, R.; Gonzalez, 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.
12. Rivera, R.; Sánchez, C.; Caballero, D.; Cupull, R.; Gonzalez, C. y Urquiaga, S. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 3, p. 75-81.
13. Espindola, J. A. A.; Almeida, D. L. de; Guerra, J. G. M.; Silva, E. M. R. da; Souza, F. A. de. Influência da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produção da batata-doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1998, vol. 33, p. 339-347.
14. Deguchi, S.; Shimazaki, S.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H. y 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.
15. 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 Doctorado]. INCA 2010, 100 p.
16. 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.
17. Hernández, A.; Perez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelo. Editorial AGRINFOR, La Habana, 1999. 46 p.
18. UICS, Grupo de trabajo del WRB, 2006: Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos N. 103. FAO, ISRIC, IUSS. 2008, 117 p.
19. Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instrucciones Técnicas para el cultivo del café y del cacao. 1987. 208 p.
20. Paneque, V. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. Instituto Nacional Ciencias Agrícolas, La Habana, 2001, p. 25.
21. 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.
22. 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, abr-jun.
23. 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: 25 de junio de 2010 Aceptado: 12 de julio de 2011

¿Cómo citar?

Sánchez Esmoris, Ciro; Rivera Espinosa, Ramón; Caballero, Damián; Cupull, René; González, Ceferino y Urquiaga Caballero, Segundo. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 3, p. 11-17. ISSN 0258-5936