

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

3 R. Rivera

4 Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de
5 las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José
6 de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700

7 E-mail: rivera@inca.edu.cu

8 RESUMEN Para evaluar el manejo de los abonos verdes en la producción de posturas
9 micorrizadas de café sobre Fersialíticos Rojos Lixiviados, se sembraron y
10 caracterizaron *Crotalaria juncea*, *Sorghum vulgare* y *Canavalia ensiformis*,
11 incorporándose a los 70 días en el suelo y obteniéndose diferentes sustratos sobre los
12 cuales, de conjunto con los tratamientos de suelo solo y suelo/humus de lombriz (3/1), se
13 estudió la respuesta de las plántulas a la inoculación de *G. fasciculatum*, en un diseño
14 completamente aleatorizado con arreglo factorial (5x2). Posteriormente, se estudió la
15 efectividad de la inoculación de la misma cepa eficiente en sustratos, conformados por
16 adiciones complementarias de humus de lombriz sobre el sustrato de crotalaria
17 incorporada, en relaciones de 9/1, 7/1, 5/1, e incluyendo los tratamientos de crotalaria
18 incorporada, suelo solo y suelo/humus de lombriz en relación 3/1, mediante un arreglo
19 factorial (6x2). Se encontraron las mayores producciones de masa seca, así como las
20 mayores extracciones de P y K por el sorgo y de N por la crotalaria. Los abonos verdes
21 incrementaron el crecimiento y la micorrización nativa del café, pero siempre hubo una
22 respuesta significativa del café a la inoculación micorrízica, con los mayores efectos en
23 presencia del sustrato conformado por la crotalaria. No obstante, aún en presencia de
24 dicho sustrato, las posturas inoculadas no mostraron una micorrización efectiva y fueron
25 inferiores a las obtenidas con el tratamiento de referencia suelo/humus (3/1). Por tanto,
26 para obtener posturas vigorosas y una micorrización efectiva, fue necesario, además de
27 inocular, adicionar cantidades complementarias de humus de lombriz en una relación de
28 9/1 sobre el sustrato de crotalaria incorporada.

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

31 ABSTRACT. *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea* and *Canavalia ensiformis* were
32 seeded and characterized, with the aim of evaluating green manure management in the
33 mycorrhized coffee seedling production on Chromic Luvisols; after 70 days, they were
34 added to the soil for obtaining different substrates, in order to study seedling response to
35 *G. fasciculatum* inoculation, on a randomized complete design with (5x2) factorial
36 arrangement, besides including the treatments of single soil and soil/earthworm humus
37 (3/1). Inoculation of the same effective strain was further studied on the substrates, made
38 up of complementary earthworm humus added to the incorporated sorghum, at the rates
39 of 9/1, 7/1, 5/1, besides including both treatments through a (6x2) factorial arrangement.
40 The greatest dry weight production as well as the highest P and K extractions by
41 sorghum, and N extractions by crotalaria were recorded. Green manures increased coffee
42 growth and native mycorrhization; however, there was always a significant coffee
43 response to inoculation, with the biggest effects in the substrate made up by crotalaria.
44 Nevertheless, even in presence of such a substrate, inoculated seedlings did not show an
45 effective mycorrhization and they were inferior to those obtained by the reference
46 treatment of soil/humus (3/1). Therefore, to obtain healthy seedlings and an effective
47 mycorrhization, it was necessary, besides inoculating, to add complementary earthworm
48 humus at the rate of 9/1 on the incorporated crotalaria substrate.

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

1 INTRODUCCIÓN

2 La importancia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para la producción
3 agrícola ha sido ampliamente reconocida (1, 2, 3), siendo posiblemente la producción de
4 plántulas o posturas de cafeto una de las áreas donde más resultados con repercusión
5 práctica hayan sido encontrados internacionalmente (4).

6 En Cuba, fue el primer cultivo con un grupo importante de resultados en la temática y en
7 diversas condiciones edafoclimáticas, que permitieron la obtención de vigorosas posturas
8 micorrizadas de cafeto, a partir de la inoculación de cepas eficientes de HMA por tipo de
9 suelo, con menores requerimientos de abonos orgánicos, debido a un mejor
10 aprovechamiento de los nutrientes del suelo y los abonos, y menor estadía de las
11 plántulas en el vivero. En estos trabajos también se encontró que el parámetro masa del
12 endófito arbuscular reflejó mejor el funcionamiento micorrízico de las posturas de cafeto
13 que el porcentaje de colonización micorrízica (5, 6, 7).

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

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

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

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

37 MATERIALES Y MÉTODOS

38 Los experimentos se desarrollaron en la Empresa Agroforestal de Cumanayagua,
39 Cienfuegos (N 230.10; E 602.70), desde 1996 hasta el 2000, sobre suelos Fersialíticos
40 Rojos Lixiviados, de acuerdo con la clasificación cubana (14), que se corresponden con
41 el suelo Luvisol cutánico (arcílico, crómico), de acuerdo con el referencial *WRB* (15).
42 Este tipo de suelo es representativo de la zona montañosa central de Cuba, entre 350 y
43 400 m snm en relieves ondulados. Se asocian con temperaturas medias anuales entre 22
44 y 22,6°C, y altas precipitaciones anuales entre 1600 y 1750 mm.

45 Las características químicas del suelo del área experimental eran las de suelos cercanos a
46 la neutralidad con pH-KCl de 5,72, contenidos adecuados de Ca^{2+} y Mg^{2+} de 8,07 y 1,7
47 cmol.kg^{-1} respectivamente y medios de K de 0,33 cmol.kg^{-1} , todos extraídos con NH_4Ac
48 1N, y contenidos altos de P disponible de 13,04 mg.100g^{-1} , extraído con H_2SO_4 0,05 N.
49 Los contenidos de materia orgánica de 3,24 % (Walkley y Black) fueron medios e

1 indicativos de erosión asociada a un relieve ondulado. Los diferentes análisis de suelos
2 se realizaron de acuerdo con las metodologías descritas por Paneque (16).

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

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

10 *Etapas 1. Caracterización y crecimiento de las especies de abonos verdes.* Como especies
11 de abonos verdes se evaluaron *Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea* y *Canavalia*
12 *ensiformes*, con muy buenos resultados en el país (8, 12) y, de forma general, en
13 condiciones tropicales (9, 17, 18). En todos los casos, las especies de abonos verdes se
14 sembraron en parcelas de 21 m² (6 m x 3,50 m), compuestas cada una por 10 surcos
15 ubicados a una distancia de 0.35 m. La densidad de siembra dependió de la especie en
16 cuestión: *Sorghum vulgare* a chorrillo; *Crotalaria juncea* con 25-30 semillas/m y
17 *Canavalia ensiformis* con 6 semillas/m. La siembra se realizó todos los años, al inicio de
18 la primavera (junio) y a los 70 días posteriores se evaluaron las cantidades de fitomasa
19 fresca y seca, las extracciones de nutrientes (N, P y K) y la cantidad de propágulos HMA
20 nativos a 20 cm de profundidad. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres
21 repeticiones.

22 *Etapas 2. Efecto de los abonos verdes y la inoculación de una cepa eficiente de HMA*
23 *sobre el desarrollo de las posturas de cafetos.* Siempre se desarrollaron inmediatamente
24 a continuación del anterior, en el período comprendido entre octubre y mayo de cada
25 año. Las especies de abonos verdes se cortaron a los 70 días de sembradas (dds), se
26 picaron en pedazos e incorporaron de forma manual al propio suelo, sobre el cual
27 crecieron, a una profundidad de 0 a 20 cm. Transcurridos 30 días de esta operación, se
28 realizó el llenado y acanterado de las bolsas con las diferentes combinaciones o sustratos,
29 conformados por el suelo conteniendo cada uno de los abonos verdes crecidos
30 previamente e incorporados (SAV). El experimento se desarrolló en un diseño
31 completamente aleatorizado con arreglo factorial 6x2. Los niveles del primer factor
32 consistieron en cada uno de los sustratos originados por el crecimiento y la incorporación
33 *in situ* de las cuatro especies de abonos verdes y dos testigos, uno de ellos consistió en el
34 suelo sin aplicación de humus de lombriz (testigo absoluto) y el otro con la relación 3:1
35 suelo:humus de lombriz, que se utiliza comúnmente en la producción de posturas de
36 cafetos (19). El segundo factor estudiado, con dos niveles, correspondió a la inoculación
37 o no de una cepa eficiente para este tipo de suelo. La cepa eficiente de HMA utilizada
38 fue *Glomus fasciculatum*, de acuerdo con resultados previos (6, 7). Cada tratamiento
39 estuvo conformado por 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar cada
40 período experimental.

41 *Experimento 2. Efecto de los abonos verdes y su complementación con abonos orgánicos*
42 *(humus de lombriz) sobre la efectividad de la inoculación micorrízica de las posturas de*
43 *cafeto.* Este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar los requerimientos
44 complementarios de humus de lombriz a la incorporación inicial de los abonos verdes al
45 suelo. Consistió en un arreglo factorial completamente aleatorizado 6x2. El primer factor
46 estuvo compuesto de la mezcla de SAV, con diferentes adiciones de humus de lombriz
47 en las proporciones de 9:1, 7:1 y 5:1 (SAV:humus de lombriz) y sin humus de lombriz,
48 incluyéndose además los tratamientos de referencia 3:1 (suelo:humus de lombriz) y un
49 testigo absoluto (suelo). El segundo factor consistió en la inoculación o no de *Glomus*
50 *fasciculatum*, que fue la misma cepa eficiente de HMA utilizada en el anterior

1 experimento. La especie de abono verde utilizada fue *Crotalaria juncea*, que presentó los
 2 mejores resultados sobre la producción de las posturas, de acuerdo con los resultados del
 3 experimento 1. En cada tratamiento se utilizaron 120 plantas, de las cuales se evaluaron
 4 24 al finalizar el período experimental.

5 *Inoculación de cepas de HMA.* La cepa de *G. fasciculatum* utilizada tenía una cantidad
 6 mínima de esporas (≥ 20 esporas.g de suelo⁻¹), con un grado de pureza superior al 95 %.
 7 El inóculo se aplicó en la siembra, debajo de las semillas, a razón de 10 g/bolsa.

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

13 EVALUACIONES

14 *Análisis químico de suelos.* Previo al comienzo del experimento en cada año, se tomaron
 15 muestras compuestas (0-20 cm de profundidad) para los análisis químicos de fertilidad.
 16 Se evaluaron el pH en KCl, con una relación suelo:solución de 1: 2.5, la materia orgánica
 17 (%) por el método de Walkley y Black, el P₂O₅ y K₂O por el método de Oniani
 18 (extracción en H₂SO₄ 0,05 N con una relación suelo:solución 1:25); el Ca y Mg se
 19 determinaron por extracción con solución de AcNH₄ 1N a pH7 la posterior
 20 espectrometría de absorción atómica. En todos los casos, los diferentes análisis de suelos
 21 se realizaron de acuerdo con las metodologías de Paneque (16).

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

- 25 • *masa seca:* se determinó para hojas, tallos y raíces en estufa a 65 °C y se estimó
 26 para la planta, por la suma de las masas secas de las diferentes partes de estas
- 27 • *análisis químicos de plantas:* se determinaron los contenidos de N, P, K (%) en la
 28 masa seca de las diferentes partes de las plantas. En todos los casos, a partir de
 29 digestión H₂SO₄+Se, el N por el método Nessler, el P por el método de
 30 molibdovanadato y el K por fotometría de llama (16)
- 31 • *conteo de esporas HMA:* se tomaron muestras de suelo rizosférico hasta 20 cm de
 32 profundidad y se determinaron según el método del decantado-húmedo de
 33 Gederman y Mosseae (7) utilizándose mallas de 40 μm.

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

- 37 • *área foliar (AF):* se estimó siguiendo la metodología de Soto (6), a partir de las
 38 dimensiones lineales de las hojas y de acuerdo con la fórmula $AF (cm^2) = \text{largo}$
 39 $(cm) \times \text{máximo ancho (cm)} \times 0.64$
- 40 • *porcentaje de colonización micorrízica:* la clasificación y tinción de raicillas se
 41 realizó de acuerdo con el método de Phillips y Hayman y la cuantificación según
 42 Giovannetti y Mosse (7).
- 43 • *masa del endófito arbuscular (EA):* se aplicó la metodología planteada por
 44 Herrera *et al.* (7), que se basa en la cuantificación de los segmentos colonizados,
 45 de acuerdo con los niveles de infección, y al ser referido a la masa de raicillas/g
 46 de suelo, permite estimar la masa del simbionte, como mg de EA.g de suelo⁻¹.
 47 Estas últimas dos evaluaciones se realizaron solo en las últimas dos campañas.

48 *Análisis estadísticos.* Los resultados experimentales se procesaron en correspondencia
 49 con el diseño experimental y los arreglos utilizados, realizándose los correspondientes
 50 análisis de varianza. Los datos de colonización micorrízica (porcentaje de colonización)

1 fueron transformados por $\text{Arc sen}\sqrt{x}$. Cuando el análisis de varianza dio significativo, se
2 aplicó la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan para $p \leq 0.001\%$, como
3 criterio de comparación entre las medias de los tratamientos.

4 RESULTADOS

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

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

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

27 Un efecto similar se encontró en los indicadores de funcionamiento micorrízico (masa
28 endófito arbuscular y porcentaje de colonización), pero en este caso los valores
29 obtenidos con el sorgo fueron indicativos de una mayor micorrización nativa,
30 ordenándose sorgo>crotalaria>canavalia; no obstante, los valores de masa del endófito
31 arbuscular (EA) fueron siempre inferiores a los óptimos de 21 mg.g^{-1} (6, 7) para posturas
32 de cafetos micorrizadas con cepas eficientes en estos suelos.

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

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

46 *Efecto de la complementación con humus de lombriz y la inoculación micorrízica.* La
47 adición de cantidades crecientes de humus de lombriz al sustrato proveniente de la
48 incorporación de la crotalaria (Tabla III), originaron incrementos significativos sobre el
49 crecimiento y la micorrización de las posturas inoculadas con *G. fasciculatum* y con la
50 combinación de 9/1 (SAV/humus) se obtuvieron posturas con áreas foliares similares a

1 las del tratamiento 3/1 y un EA de 21 mg.g^{-1} , indicativo de una micorrización efectiva de
2 las posturas de cafetos en estos suelos (7).

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

9 DISCUSIÓN

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

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

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

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

37 No obstante, los resultados del experimento 1 y del propio experimento 2 (Tablas II y
38 III) indicaron que en estos suelos, los abonos verdes no garantizaron totalmente las
39 necesidades de nutrientes de las posturas micorrizadas y fueron necesarias entonces
40 cantidades complementarias de humus de lombriz en relación 9/1, para obtener una
41 micorrización efectiva, expresada por un funcionamiento eficiente y originando un
42 crecimiento óptimo (Tabla III).

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

48 En ambos experimentos, se corroboró que el funcionamiento micorrízico y, por tanto, los
49 beneficios de la simbiosis se encuentran limitados tanto por insuficiencia de nutrientes
50 como por un exceso de estos. En el primer caso, también influyeron sobre el crecimiento

1 y, en el segundo, sobre la eficiencia en la absorción de los nutrientes, de forma similar a
 2 como ha sido encontrado tanto en el cafeto como en otros cultivos (7, 23, 24), por lo que
 3 la inoculación de una cepa eficiente solo será efectiva en condiciones de suministro
 4 adecuado de nutrientes para el cultivo micorrizado.

5 CONCLUSIONES

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

18 REFERENCIAS

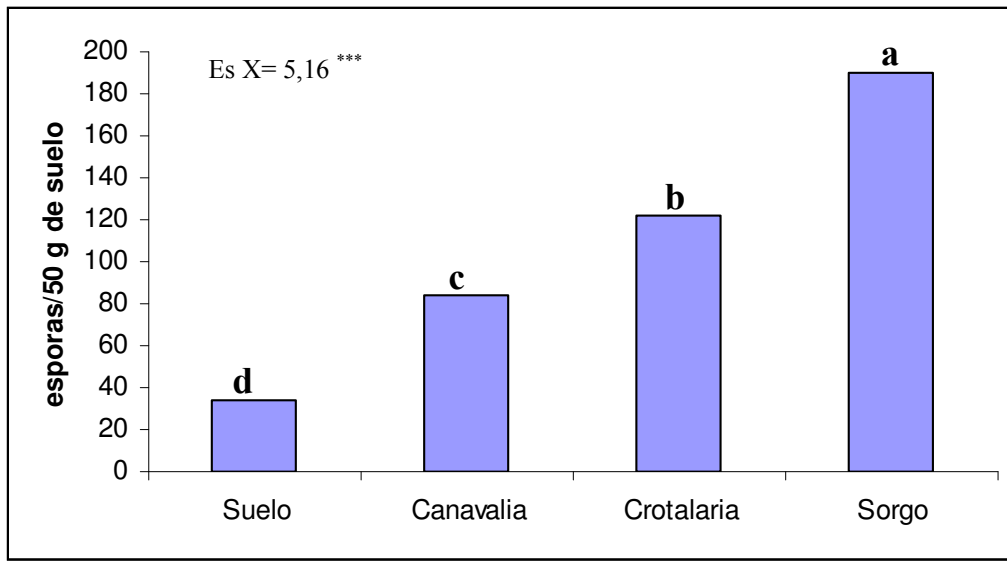
- 19 1. Sieverding, E. Vesicular arbuscular mycorrhiza in tropical agrosystem. Deutsche
 20 Gesellschaft fur technische Zusammenarbeit GTZ) GMBH, Federal Republic of
 21 Germany. 1991, 371 p.
- 22 2. Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J. M.; Fortin, J. A. Managing
 23 arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Can. J. Plant Sci.*, 2005, vol. 85,
 24 p. 31–40.
- 25 3. Hamel, C; Strullu, D. G. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production:
 26 Potential and new direction. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, vol. 86, no. 4,
 27 p. 941-950.
- 28 4. López, E.; Toledo, S. V. de; Wuthe, A. C. Efeitos do fungo micorrízico *Gigaspora*
 29 *margarita* no desenvolvimento de mudas de cafeeiro cv Mundo Novo em condicoes
 30 de campo. En: Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10 Pozos de Caldas,
 31 1983, Anais, Río de Janeiro, IBC/GERCA. 1983, p. 122-123.
- 32 5. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la
 33 producción de posturas de cafeto (*C. arabica* L. var. Catuaí) en algunos tipos de
 34 suelos. Tesis (Doctorado en Ciencias Agrícolas), Instituto Nacional de Ciencias
 35 Agrícolas, Cuba. 1999, p.102.
- 36 6. Sánchez, C., Montilla, E., Rivera, R. y Cupull, R. Comportamiento de 15 cepas de
 37 hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo
 38 Pardo Gleyzoso. *Revista Forestal Latinoamericana*, 2005, vol. 38, no. 1, p. 83-95.
- 39 7. Sánchez, C., Caballero, D., Rivera, R. /et al./ . Respuesta de cepas de hongos
 40 micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto (Parte III) en un
 41 suelo Fersialítico Rojo Lixiviado. *Centro Agrícola*, 2006, vol. 33, no. 2, p. 17-22.
- 42 8. García, M. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos
 43 económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. Habana.
 44 Tesis (Doctorado en Ciencias Agrícolas), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas,
 45 Cuba. 1997, p. 100.
- 46 9. Perin, A; Santos, R. H. S.; Urquiaga, S.; Guerra, J. G. M., Cecon, P. R. Produção de
 47 fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes
 48 em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2004, vol. 39,
 49 no. 1, p. 35-40.

- 1 10. Biederbeck, V. O.; Zentne, R. P.; Campbell, C. A. Soil microbial populations and
2 activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biol.*
3 *Biochem.*, 2005, vol. 37, p. 1775–1784.
- 4 11. Deguchi, S.; Shimazaki, S.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H.; Tanaka, O.
5 White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular
6 mycorrhizal fungus colonization. *Plant and Soil*, 2007, vol. 291, no. 1, p. 291-297.
- 7 12. Sánchez, C, Rivera, R., Caballero, D., Cupull, R., González, C. y Urquiaga, S. Los
8 abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre
9 suelos Cambisoles Gléyicos. *Cultivos Tropicales*. 2009, vol. 30, no. 1, p. 5–10.
- 10 13. Martín, G. Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular *Canavalia ensiformis* y
11 la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivadas sobre suelos
12 Ferralíticos Rojos de La Habana. Tesis de grado (Dr. En Ciencias Agrícolas) INCA.
13 2010, p. 100.
- 14 14. UICS. Grupo de trabajo del WRB, 2006: Base referencial mundial del recurso suelo.
15 Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, ISRIC, IUSS. 2008,
16 117 p.
- 17 15. Hernández, A.; Perez, J. M.; Bosch, D.; Rivero, L. Nueva versión de clasificación
18 genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Editorial AGRINFOR, La
19 Habana. 1999, 46 p.
- 20 16. Paneque, V. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su
21 recomendación. Instituto Nacional Ciencias Agrícolas, La Habana. 2001, p.25.
- 22 17. Espindola, J. A. A.; Guerra, J. G. M.; De-Polli, H.; Almeida, D. L.; Abboud, A. C. S.
23 Adubação verde com leguminosas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
24 2005, 49 p.
- 25 18. Guerra, J. G. M.; Lopes de Almeida, D. Adubação verde com leguminosas para o
26 cultivo de hortaliças. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, nov. 24–28, La
27 Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN) 978-
28 959-16-0953-3
- 29 19. Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instrucciones técnicas para el cultivo del café y
30 del cacao. 1987, p. 208.
- 31 20. Ricci, M. S. F.; Alves, B. J. R.; Ribeiro, J. Cultivo de *Crotalaria spectabilis*
32 intercalada ao café arábica plantado em diferentes espaçamentos sob manejo
33 orgânico. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2006, 21 p.
- 34 21. Perin, A.; Santos, R. H. S; Urquiaga, S. S; Cecon, P. R.; Guerra, J. G. M.; Freitas, G.
35 B. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. *Horticultura*
36 *Brasileira*, 2005, vol. 23, no. 2, p. 184-188.
- 37 22. Marrero, Y.; Simó, J.; Ruiz, L.; Rivera, R., Plana, R. Influencia del laboreo sobre el
38 manejo de la simbiosis micorrízica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un
39 suelo Pardo con carbonatos. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, nov. 24–
40 28, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
41 ISBN) 978-959-16-0953-3.
- 42 23. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces
43 y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central
44 de Cuba. Tesis de grado (Dr. En Ciencias Agrícolas) INCA. 2001, p. 117.
- 45 24. Rivera, R. y Fernández, F. Chapter 33: Inoculation and management of mycorrhizal
46 fungi within tropical agroecosystems. En: Norman Uphoff et al., (Eds.). *Biological*
47 *approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca
48 Raton, Florida, USA. 2006, p. 479-489.
- 49

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

Especies	Campañas	Masa fresca (t.ha ⁻¹)	Masa seca (t.ha ⁻¹)	N	P (kg.ha ⁻¹)	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 ±	2.18***	0.29***	5.41 ns	0.68***	4.37***
	CV %	6.83	6.33	5.43	5.42	5.92
Canavalia	Promedio	33.40 c	4.64 c	160.44 b	15.18 c	56.76 c
Crotalaria	Promedio	44.30 b	7.31 b	193.34 a	17.85 b	107.39 b
Sorgo	Promedio	70.47 a	9.53 a	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

3 Medias con letras iguales en la misma columna para cada tipo de suelo no difieren
 4 significativamente para p≤0.01 (**) y p≤0.001 (***) según prueba de Duncan
 5

1
2

3

4 Figura 1. Influencia de los abonos verdes sobre la reproducción de esporas de HMA a los
5 70 días de sembrados (Letras diferentes difieren significativamente según prueba de
6 Duncan para $p \leq 0,001$)

- 1 Tabla II. Experimento 1. Efecto de la aplicación de diferentes especies de abonos verdes
 2 e inoculación con HMA (*Glomus fasciculatum*) en la producción de posturas de café
 3 sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados
 4

Tratamientos	CAMPAÑA	CAMPAÑA 1996-1997			CAMPAÑA 1997-1998		
	1995-1996 AF (cm ²)	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g ⁻¹)	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g ⁻¹)
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

5

- 6 SAV: sustrato conformado por el crecimiento y la incorporación de cada especie de
 7 abono verde estudiada sobre el suelo Fersialítico Rojo Lixiviado
 8 3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (18)
 9 *** Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para
 10 $p \leq 0.001$ según prueba de Duncan

1 Tabla III. Experimento 2. Efecto de la *Crotalaria juncea*, humus de lombriz e
 2 inoculación con HMA (*Glomus fasciculatum*) sobre la producción de posturas de cafetos
 3 sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados. Promedio de dos campañas (1998-1999 y
 4 1999-2000)

Tratamientos	AF (cm ²)	Colonización (%)	EA (mg.g ⁻¹)
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

5 SAV: sustrato conformado por el crecimiento y la incorporación de *Crotalaria juncea*
 6 sobre el suelo Fersialítico Rojo Lixiviado
 7 9:1, 7:1, 5:1 Relaciones SAV/humus de lombriz estudiadas
 8 3:1 Relación suelo/humus de lombriz utilizada para obtener posturas de cafetos (18)
 9 **Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para
 10 $p \leq 0.01$, según prueba de Duncan