



Incremento del suministro de nutrientes a las plantas en un suelo gley enmendado con vermicompost

Increased nutrient supply to plants in vermicompost amended gley soil

 Andy Bernal-Fundora*,  Juan A. Cabrera-Rodríguez,
 Pedro J. González-Cañizares,  Alberto Hernández-Jiménez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700.

RESUMEN: La necesidad de buscar alternativas para mejorar la nutrición de los cultivos ante la baja fertilidad de los suelos agrícolas y la escasez de fertilizantes, cobra cada día mayor importancia. Una de estas alternativas es la aplicación de abonos orgánicos y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El objetivo del presente trabajo fue investigar el efecto de las aplicaciones de vermicompost y la inoculación de un biofertilizante micorrízico sobre el suministro de nutrientes de un suelo Gley Nodular Ferruginoso para plantas de millo perla (*Panicum italicum* L.). Se ejecutaron dos experimentos en condiciones de mesocosmos en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), se estudiaron cuatro proporciones de suelo-vermicompost, con y sin la inoculación micorrízica, en un diseño completamente aleatorizado con estructura factorial y tres repeticiones. Se evaluaron la altura, la masa seca de la biomasa aérea y la concentración y cantidad de nutrientes en las plantas, la frecuencia e intensidad de la colonización y el número de esporas en el suelo. La aplicación de vermicompost incrementó la disponibilidad de nutrientes del suelo y se reflejó en el incremento de la concentración y la cantidad de nutrientes en las plantas, lo que originó mayor crecimiento y desarrollo de estas; en presencia del millo perla la aplicación de vermicompost hizo disminuir la frecuencia e intensidad de la micorrización, lo que inhibió el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares y no se afectó la producción de esporas en el suelo.

Palabras clave: vermicompost, micorrizas arbusculares, *Glomus*, gleysols.

ABSTRACT: The need to seek alternatives to improve crop nutrition given the low fertility of agricultural soils and the shortage of fertilizers is becoming increasingly important. One of these alternatives is the application of organic fertilizers and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The objective of the present work was to investigate the effect of vermicompost applications and the inoculation of a mycorrhizal biofertilizer on the nutrient supply of a Gley Nodular Ferruginous soil for pearl millet plants (*Panicum italicum* L.). Two experiments were carried out under mesocosmic conditions at the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), four proportions of soil-vermicompost were studied, with and without mycorrhizal inoculation, in a completely randomized design with factorial structure and three repetitions. The height, the dry mass of the aerial biomass and the concentration and quantity of nutrients in plants, the frequency and intensity of colonization and the number of spores in the soil were evaluated. The application of vermicompost increased the availability of soil nutrients and it was reflected in the increase of the concentration and quantity of nutrients in the plants, which led to greater growth and development of these; in the presence of the pearl millet, the vermicompost application decreased the frequency and intensity of mycorrhization, which inhibited.

Key words: vermicompost, arbuscular mycorrhizae, *Glomus*, gleysols.

*Autor para correspondencia: andy@inca.edu.cu

Recibido: 30/07/2019

Aceptado: 12/04/2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En los sistemas agrícolas, cuando se ponen en práctica técnicas de explotación donde no se tomen medidas para la conservación y mejora de los suelos, paulatinamente se van afectando indicadores de la fertilidad (1,2), que imposibilitan la obtención de altos rendimientos de los cultivos. Por eso resulta necesaria la introducción de tecnologías para mejorar su productividad, mediante un incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que reviste gran importancia en suelos destinados a la ganadería, donde los niveles de fertilizantes que se destinan a esta rama no son suficientes para satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos y el reciclaje de nutrientes resulta deficiente.

Dentro de las tecnologías para la recuperación y la conservación de los suelos se encuentra la aplicación de abonos orgánicos, los cuales tienen efectos positivos sobre el incremento en el contenido de carbono orgánico (C), incorporación de elementos minerales e intervienen en la formación de la estructura (3), tal es el caso del vermicompost, compuesto orgánico que ofrece diversas cualidades como mejorador del suelo y actúa como fuente de nutrientes para las plantas (4).

Otras de las alternativas para un aprovechamiento más eficiente de los nutrientes por las plantas, es el empleo de los biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cuyos microorganismos forman simbiosis con aproximadamente el 90 % de plantas terrestres (5), facilitando la absorción de nutrientes y agua por las mismas, entre otras ventajas (6). El millo perla no queda exento de esta interacción, al ser un cultivo que presenta marcada dependencia micorrízica (7) y, en ocasiones, una elevada colonización micorrízica, incluso al ser inoculados con diferentes especies de HMA (8).

En estudios previos se ha demostrado como la utilización de especies eficientes de HMA permite reducir las dosis de fertilizantes minerales o abonos orgánicos, sin afectar los rendimientos agrícolas de los cultivos (9-11).

En una investigación realizada en un suelo Gley Nodular Ferruginoso, que tuvo como antecedente el cultivo de pastos, se demostró que el uso combinado del estiércol vacuno, como fuente de abono orgánico y biofertilizante micorrízico, contribuyó a la mejora de la fertilidad del suelo, al incremento de la productividad y al valor nutritivo de la especie poácea forrajera (12).

El presente trabajo tuvo como objetivo investigar el efecto de las aplicaciones de vermicompost y la inoculación de un

biofertilizante micorrízico sobre el suministro de nutrientes de un suelo Gley Nodular Ferruginoso para plantas de millo perla (*Panicum italicum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos bajo condiciones de mesocosmos en el área del invernadero del departamento Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, entre los meses de marzo a mayo, durante los años 2014 y 2015.

El suelo clasificado como Gley Nodular Ferruginoso agrogénico (13), proveniente del área de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros, ocupa el 38,28 % de la superficie total, cuya extensión es de 897,22 ha y al momento de iniciar la investigación, llevaba más de 12 años bajo explotación, con pastos y forrajes para la ganadería, previéndose cambiar su uso mediante el fomento del cultivo de la moringa (*Moringa oleifera*); con anterioridad se dedicó al cultivo de la caña de azúcar.

El suelo se caracterizó desde el punto de vista físico y químico (13) y se demostró que poseía un suministro de nutrientes deficiente para las plantas, destacando la baja disponibilidad fosfórica y potásica y el bajo contenido de materia orgánica (Tabla 1).

Se llenaron bolsas negras de polietileno de 4 kg de capacidad con el suelo, tomando el horizonte cultivable (0-20 cm), que después de secado al aire, se tamizó por una malla de 5 mm, con el objetivo de lograr un tamaño de agregado uniforme y se mezcló con el vermicompost para conformar las diferentes proporciones. El vermicompost utilizado fue producido en la CCS "Orlando López González", ubicada en el municipio La Lisa, La Habana, elaborado a partir de estiércol vacuno y residuos de cosecha (Tabla 2) y se encontró en el vermicompost del año 2015, menor contenido de nutrientes, con la excepción del Mg, mayor humedad, una relación C:N más amplia y un pH más cercano a la neutralidad.

Se utilizó el millo perla (*Panicum italicum* L.) como cultivo indicador y se sembraron 10 semillas en cada bolsa; cuando las plantas alcanzaron entre 10 y 15 cm de altura, se dejaron seis plantas por bolsa. A partir de la siembra y durante los primeros 15 días, se aplicó un riego diario hasta que las bolsas comenzaran a drenar; posteriormente se regó cada dos días con igual consideración, manteniendo las bolsas libres de arvenses, mediante limpieza manual.

Tabla 1. Caracterización del horizonte cultivable del suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros.

Estadísticos	pH -log [H ⁺]	P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmolkg ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	CIB	C g kg ⁻¹
Media	6,9	1,83	22,5	16	0,17	0,21	38,87	12,3
CV (%)	4,35	4,92	3,56	5,0	3,46	2,79	4,13	48,8
IC	±0,75	±0,22	±1,99	±1,99	±0,01	±0,01	±3,99	±1,5

pH: potenciometría relación suelo:agua 1:2,5; P₂O₅: extracción con H₂SO₄ 0,05 mol L⁻¹ relación suelo:solución 1:25 y determinación colorimétrica por el desarrollo del color azul; Cationes intercambiables: extracción con acetato de amonio 1 mol L⁻¹ pH 7, determinación del Na y K por espectrofotometría de llama y del Ca y Mg por volumetría; CIB: suma de las bases intercambiables; C: carbono orgánico por el método de Walkley-Black. CV: Coeficiente de Variación; IC: Intervalos de Confianza

Tabla 2. Caracterización en base seca del vermicompost proveniente de la CCS “Orlando López González” elaborado a partir de estiércol vacuno y residuos de cosecha.

Años	C	N	P	K (g kg ⁻¹)	Ca	Mg	Humedad	pH -log [H ⁺]	Relación C:N adimensional
2014	218,7	17,8	21,5	13,0	36,7	5,3	413	7,4	12:1
2015	208,2	14,8	19,9	11,9	35,3	6,2	441	7,1	14:1

C: carbono orgánico por el método de Walkley-Black; digestión del vermicompost con H₂SO₄ + Se y determinación del N colorimétricamente por Nessler, P por el desarrollo del color azul, K por espectrofotometría de llama, Ca y Mg por volumetría; pH: determinación potenciométrica relación vermicompost:agua 1:2,5

Se utilizó el inóculo certificado formulado con la especie *Glomus cubense*, cepa INCAM 4, producido en el INCA (Y. Rodr. & Dalpé) (14), con una concentración de 28 esporas g⁻¹ de inoculante, el que fue aplicado a las semillas por el método del recubrimiento (15).

Al suelo se le realizó un conteo de esporas residentes en ambos años, al momento del montaje de los experimentos (Tabla 3).

Se estudiaron ocho tratamientos (Tabla 4), en un diseño completamente aleatorizado, con una estructura factorial y tres repeticiones; los factores a estudiar fueron las proporciones suelo/vermicompost con cuatro niveles y la inoculación micorrízica con dos niveles.

El crecimiento, el rendimiento de biomasa aérea y la concentración y contenido de N, P y K en ella, se determinaron a los 50 días después de la emergencia, momento en que las plantas se encontraban en la fase de grano semiduro con las espigas amarillas:

Altura de las plantas (cm): mediante el empleo de una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el último dewlap visible.

Masa seca de la biomasa aérea (g planta⁻¹): el material cortado se llevó a una estufa de circulación de aire a 70 °C hasta alcanzar una masa constante.

Concentración de nutrientes (g kg⁻¹): una alícuota del material secado en la estufa se oxidó con una mezcla de H₂SO₄ concentrado+Se; en el extracto obtenido luego de diluido, se determinó la concentración de N por el método de Nessler, la de P por el desarrollo del color azul molibdo fosfórico y la de K por espectrofotometría de llama.

Contenido de nutrientes (mg planta⁻¹): se calculó a partir de la biomasa seca de la parte aérea y las respectivas concentraciones de cada elemento:

$$\text{Nutriente (mg planta}^{-1}\text{)} = \left[\text{biomasa (mg planta}^{-1}\text{)} \times \text{concentración (g kg}^{-1}\text{)} \right] / 10$$

Variables micorrízicas: las raíces de las plantas se trataron según se describe en la literatura (16). La frecuencia y la intensidad de colonización micorrízica se determinó por el método de los interceptos (17). Para la determinación del número de esporas en cada bolsa se empleó el método de extracción (18).

Se realizó un análisis de varianza bifactorial para las variables evaluadas. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan (p<0,10).

Tabla 3. Cantidad de esporas en el suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros al inicio de la investigación.

Año	Cantidad de esporas Esporas 50 g de suelo ⁻¹	Intervalo de Confianza
2014	68	25,21
2015	47	28,58
Promedio	57,5	27,00

Tabla 4. Descripción de los tratamientos utilizados para evaluar el efecto de las aplicaciones de vermicompost y la inoculación de un biofertilizante micorrízico sobre el suministro de nutrientes de un suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico.

Tratamientos	Proporción suelo-vermicompost (m/m)		Inoculante micorrízico
	Suelo	Vermicompost	
1	4	0	sin HMA
2			con HMA
3	3	1	sin HMA
4			con HMA
5	5	1	sin HMA
6			con HMA
7	7	1	sin HMA
8			con HMA

El suelo provino de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros

Se determinó el intervalo de confianza para la media en las variables del análisis químico y en el conteo de esporas residentes iniciales. Se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV Versión 15.2.14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los dos años de investigación, solo se manifestó el efecto de la aplicación del vermicompost y no hubo interacción entre los dos factores investigados en las variables altura de la planta, biomasa aérea seca, frecuencia e intensidad de la micorrización y concentración y contenido de nutrientes; mientras que la cantidad de esporas presentes en el suelo no se afectó con ninguno de los tratamientos.

La aplicación de vermicompost incrementó la altura de las plantas (Figura 1) de manera diferente en cada año; en el año 2014 con las relaciones suelo/vermicompost 5/1 y 7/1, las plantas alcanzaron mayor altura; mientras que, en el año 2015, esta manifestación se logró con las relaciones 3/1 y 5/1 con tendencia a disminuir el efecto en la medida en que dicha relación se amplió.

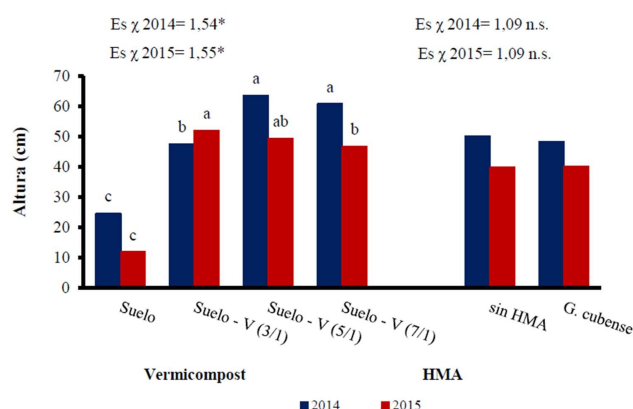
Algo similar se encontró al analizar el rendimiento de masa seca de la biomasa aérea (Figura 2), pero para el año 2015 quedó definida la disminución del rendimiento con las relaciones suelo/vermicompost más amplias.

Los resultados corroboran los alcanzados por diversos investigadores en otras latitudes y que trabajaron con suelos diferentes al utilizado en esta investigación. Evaluando el efecto de diferentes dosis de vermicompost sobre el crecimiento del millo perla, tanto la altura de las plantas (19,20), así como la acumulación de biomasa (19), se incrementaron por la aplicación del abono orgánico. También mediante la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos, se obtuvo un incremento de la biomasa aérea del millo perla (21), lo que refleja la respuesta del cultivo ante la aplicación de enmiendas orgánicas.

Se ha informado que el vermicompost, a partir de las sustancias húmicas, favorece el desarrollo fenológico de los cultivos al ejercer una acción bioestimuladora sobre el crecimiento de las plantas, mediante la incidencia de las fitohormonas producidas por este compuesto orgánico que estimulan la producción de biomasa (22,23).

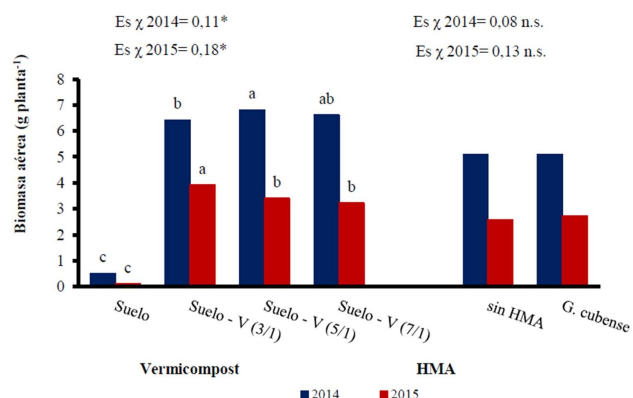
Por otra parte y en condiciones cubanas, con otros cultivos también se ha podido comprobar el efecto positivo del vermicompost sobre el crecimiento, de tal manera que trabajando durante dos años en suelo similar al de esta investigación, se registraron mayores valores de biomasa en plantas de *Panicum maximum* y *Brachiaria decumbens*, fertilizadas con este abono, efectos que los autores lo atribuyeron a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (24).

En estudios previos se demostró que el vermicompost tiene la característica de aportar macro y micronutrientes, de incrementar los contenidos de carbono orgánico y mejorar el pH del suelo (25,26), lo que incidió en un crecimiento óptimo de las plantas, ya que es un compuesto rico en elementos minerales, que ya han pasado por un proceso de descomposición y se encuentran en formas disponibles para las plantas (27).



V 3/1: relación suelo-vermicompost 3/1, V 5/1: relación suelo-vermicompost 5/1, V 7/1: relación suelo-vermicompost 7/1 Medias con letras iguales para cada factor y año no difieren entre sí según prueba de Duncan ($p < 0,10$)

Figura 1. Efecto del vermicompost y de la inoculación con HMA sobre el crecimiento de las plantas de millo perla. Suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico.



V 3/1: relación suelo-vermicompost 3/1, V 5/1: relación suelo-vermicompost 5/1, V 7/1: relación suelo-vermicompost 7/1 Medias con letras iguales para cada factor y año no difieren entre sí según prueba de Duncan ($p < 0,10$)

Figura 2. Efecto del vermicompost y de la inoculación con HMA sobre la masa seca de la biomasa aérea de las plantas de millo perla. Suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico.

En correspondencia con lo mencionado en el párrafo anterior, los resultados obtenidos referidos a la concentración y el contenido de nutrientes en las plantas de millo, indicaron que la aplicación del vermicompost mejoró el suministro de nutrientes para las plantas (Tabla 5, Tabla 6).

Para el caso del N y en ambos años, tanto en la concentración, como en el contenido del nutriente en la biomasa aérea seca, todas las proporciones suelo/vermicompost, tuvieron el mismo efecto y siempre superaron al suelo solo. El P en el año 2014, se comportó de manera similar al N; sin embargo, en el año 2015, la mayor concentración y cantidad del nutriente se encontró en las plantas crecidas en el sustrato con la relación 3/1, en correspondencia con el comportamiento del rendimiento de masa seca y se manifestó un incremento en el contenido de este elemento en las plantas, con inoculación micorrízica.

Tabla 5. Concentración y contenido de nutrientes del millo perla cosechado a los 50 días después de la emergencia (fase de grano semiduro). Año 2014.

Tratamiento	N	P	K	N	P	K
suelo/vermicompost		g kg ⁻¹			mg planta ⁻¹	
4/0	13,42 b	1,83 b	17,98 c	6,63 b	0,90 b	8,98 c
3/1	22,77 a	2,58 a	37,27 a	146,92 a	16,65 a	240,17 a
5/1	22,20 a	2,52 a	31,0 b	151,85 a	17,12 a	211,19 b
7/1	22,38 a	2,37 a	30,22 b	147,54 a	15,68 a	199,81 b
Es χ	2,42*	0,12*	1,57*	16,40*	0,57*	10,57*
Inoculación micorrízica						
- HMA	19,34	2,28	28,23	108,32	12,15	158,69
+ HMA	21,04	2,38	30,01	118,15	13,03	171,38
Es χ	1,17 n.s.	0,09 n.s.	1,11 n.s.	11,60 n.s.	0,40 n.s.	7,47 n.s.

Suelo: Gley Nodular Ferruginoso agrogénico de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros; HMA: inóculo certificado formulado con la especie *Glomus cubense*, cepa INCAM 4 producido en el INCA; n.s.: sin diferencias significativas; *: diferencias significativas al 10 %

Tabla 6. Concentración y contenido de nutrientes del millo perla cosechado a los 50 días después de la emergencia (fase de grano semiduro). Año 2015.

Tratamiento	N	P	K	N	P	K
suelo/vermicompost		g kg ⁻¹			mg planta ⁻¹	
4/0	15,43 b	1,58 b	37,87	1,48 b	0,15 c	3,68 c
3/1	22,85 a	2,82 a	38,92	90,05 a	11,11 a	153,02 a
5/1	21,98 a	2,65 a	36,88	75,23 a	9,03 b	125,46 b
7/1	23,03 a	2,65 a	37,55	73,67 a	8,57 b	120,27 b
Es χ	1,55*	0,11*	1,22 n.s.	7,34*	0,66*	7,63*
Inoculación micorrízica						
- HMA	19,70	2,36	37,49	53,90	6,64 b	95,28
+ HMA	21,95	2,49	38,12	66,32	7,80 a	105,93
Es χ	1,09 n.s.	0,08 n.s.	0,86 n.s.	5,19 n.s.	0,47*	5,40 n.s.

Suelo: Gley Nodular Ferruginoso agrogénico de la Dirección Municipal de Flora y Fauna del municipio Boyeros; HMA: inóculo certificado formulado con la especie *Glomus cubense*, cepa INCAM 4 producido en el INCA; NS: sin diferencias significativas; *: diferencias significativas al 10 %

Para el K y en el año 2014, ambos indicadores de nutrición se manifestaron en mayor magnitud con la relación 3/1; mientras que, en el año 2015, la concentración de K no se vio afectada por la aplicación del vermicompost, pero el contenido fue mayor cuando la relación fue más estrecha (3/1).

El N fue el nutriente que no resultó sensible a cambios en función de la relación suelo/vermicompost, ni de la composición del vermicompost, al menos con las utilizadas en esta investigación; mientras que el P y el K mostraron cierta dependencia de ambos. En este sentido, los resultados indicaron que mientras más estrecha fue la relación, mayor fue la disponibilidad de P y K para las plantas.

Las diferencias encontradas entre los años, presumiblemente, se debieron a la composición del vermicompost. En el utilizado en el año 2015 se encontró menor cantidad de nutrientes, exceptuando al Mg, mayor humedad y un pH más cercano a la neutralidad (Tabla 2), requiriéndose mayor cantidad de vermicompost para satisfacer las necesidades de las plantas.

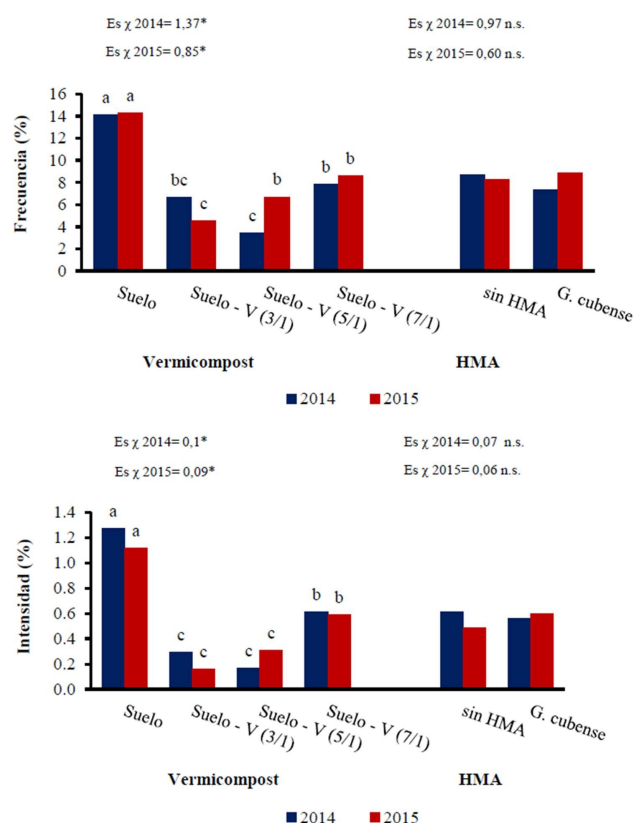
El aumento de las concentraciones y los contenidos de nutrientes en las plantas fertilizadas con humus de lombriz, puede ser atribuido, tanto al aporte de nutrientes por el abono orgánico, como al incremento de la disponibilidad de nutrientes del suelo por efecto de la fertilización orgánica.

En trabajos realizados previamente, se demostró cómo aplicando diferentes dosis de vermicompost, se alcanzó una

mayor absorción de estos nutrientes en los órganos aéreos, en el cultivo del millo perla, en relación con el tratamiento control, lo que influyó en un incremento en la producción de biomasa seca y rendimiento del cultivo (28). Igualmente, en estudios realizados en otros cultivos, se comprobó el incremento en la absorción de N, P y K y el crecimiento de las plantas, a medida que se aumentaron las dosis de humus de lombriz aplicadas (29). Este mismo efecto, en cuanto a la absorción de nutriente, se vio reflejado al aplicar diferentes dosis de ácidos húmicos extraídos del vermicompost, en plantas de mangostán (*Garcinia mangostana*. L) (30).

En los dos años, el vermicompost deprimió la frecuencia e intensidad de la micorrización y en la medida que la relación suelo/vermicompost se hizo más amplia, la tendencia encontrada se dirigió hacia el aumento de las variables evaluadas (Figura 3).

Lo señalado se puede atribuir a que las plantas dispusieron de una mayor cantidad de nutrientes, pues en suelos enriquecidos con abonos orgánicos, se ha comprobado que la disponibilidad de los nutrientes controla el crecimiento de las estructuras micorrízicas intra y extrarradicales; de tal modo que, cuando las plantas han sido fertilizadas suficientemente, la distribución de dichas estructuras se reduce, ya que la entrega de nutrientes a la planta hospedera, a través de los HMA, pierde efecto (31).



V 3/1: relación suelo-vermicompost 3/1, V 5/1: relación suelo-vermicompost 5/1, V 7/1: relación suelo-vermicompost 7/1 Medias con letras iguales para cada factor y año no difieren entre sí según prueba de Duncan ($p < 0,10$)

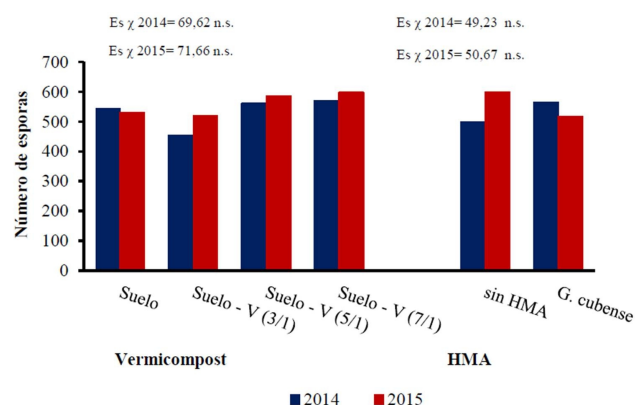
Figura 3. Efecto del vermicompost y de la inoculación con HMA sobre la frecuencia e intensidad de la colonización micorrízica en plantas de millo perla. Suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en otras investigaciones en las que se aplicaron diferentes fuentes orgánicas y fertilizante mineral en distintos cultivos y se demostró que cuando la disponibilidad de nutrientes fue suficiente en el suelo, se garantizó el estado nutricional de los cultivos y no se favoreció la colonización micorrízica (32,33).

En cuanto al número de esporas y en los dos años evaluados, los tratamientos fertilizados con vermicompost no mostraron diferencias, en relación con los tratamientos con suelo solo, (Figura 4).

Al comienzo de ambos experimentos, la cantidad inicial de esporas de HMA residentes en el suelo fue inferior a 70 esporas por 50 g de suelo (Tabla 3), mientras que al momento de las evaluaciones, este indicador alcanzó cifras en el entorno de las 550 esporas en 50 g de suelo (Figura 4); o sea, 9,5 veces más, cantidades que resultaron similares e incluso superiores a las observadas en trabajos de campo realizados en el millo perla, inoculadas con especies micorrízicas del género *Glomus* (34) y otras especies de la familia *Poaceae*, con un ciclo de crecimiento mayor y cultivadas en condiciones de campo (35).

El hecho de que el número de esporas obtenido en el tratamiento sin inocular haya sido similar al observado en el



V 3/1: relación suelo-vermicompost 3/1, V 5/1: relación suelo-vermicompost 5/1, V 7/1: relación suelo-vermicompost 7/1 Medias con letras iguales para cada factor y año no difieren entre sí según prueba de Duncan ($p < 0,10$)

Figura 4. Efecto del vermicompost y de la inoculación con HMA sobre el número de esporas en 50 g de suelo. Suelo Gley Nodular Ferruginoso agrogénico y millo perla como cultivo indicador.

que se aplicó el inoculante micorrízico, indicó que el millo perla desempeñó un papel relevante en la reproducción micorrízica, debido a que la arquitectura radical de este cultivo le confiere una alta capacidad para reproducir esporas de HMA (36), favoreciéndose, por tanto, la producción de esporas de HMA residentes y compitiendo estas con el inóculo aplicado, criterio que coincide con lo planteado por otros autores, referido a que la simbiosis entre las plantas y las especies residentes de HMA, en ocasiones, son más eficientes y competitivas que las establecidas con la especie de colección inoculada (37). Por consiguiente y tal como se ha aseverado, el éxito de la inoculación, no sólo depende de la infectividad y eficiencia de la especie a aplicar, sino que también está relacionada con la cantidad y tipos de propágulos residentes en el suelo (38).

CONCLUSIONES

- La aplicación de vermicompost incrementa la disponibilidad de nutrientes del suelo y se refleja en el incremento de la concentración y la cantidad de nutrientes en las plantas, lo que origina mayor crecimiento y desarrollo de estas.
- La incorporación del abono orgánico hace que disminuya la frecuencia e intensidad de la micorrización, inhibiendo el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares, sobre las plantas y sin afectar la producción de esporas en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Novillo Espinoza ID, Carrillo Zenteno MD, Cargua Chávez J, Nabel Moreiral V, Albán Solarte KE, Morales Intriago FL. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Temas agrarios. 2018;23(2):177-187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>

2. Mogollón JP, Rivas W, Rivas JG, Martínez A. Procesos de degradación de suelos asociados a la desertificación en la península de Paraguaná, Venezuela. *Ágora de Heterodoxias*. 2017;3(2):94-110. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25538.68801>
3. Renaud M, Chelinho S, Alvarenga P, Mourinha C, Palma P, Sousa JP, et al. Organic wastes as soil amendments- Effects assessment towards soil invertebrates. *Journal of hazardous materials*. 2017;330:149-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.052>
4. Zanoor GA, López-Pérez ME, Martínez-Yáñez R, Ramírez-Santoyo LF, Gutiérrez- Vargas S, León-Galván MF. Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería Investigación y tecnología*. 2018;19(4):1-10. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2018.19n4.036>
5. Bonfante P, Genre A. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communications*. 2010;1-11. <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>
6. Barea JM, Pozo MJ, Azcón-Aguilar C. Significado y aplicación de las micorrizas en agricultura. Granada: Estación Experimental del Zaidín, CSIC; 2016 p. 746-50.
7. Kandhasamy N, Ravichandran KR, Thangavelu M. Interactive influence of soil and plant genotypes on mycorrhizal dependency in finger millet. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;1-11. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00212-2>
8. Pal A, Pandey S. Symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pennisetum glaucum* L. improves plant growth and glomalin-related soil protein in barren soil. *Int J Sci Invent Today*. 2017;6(6):783-792.
9. Bañuelos J, Sangabriel Conde W, Gavito ME, Trejo Aguilar D, Camara S, Medel Ortiz R, et al. Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2017;8(7):1509-1520. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.507>
10. Espinosa Cuéllar A, Ruiz Martínez LA, Rivera Espinosa R, Espinosa Cuellar E. Efecto de dosis de potasio y hongos micorrízicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre suelo pardo mullido carbonatado. *Agrotecnia de Cuba*. 2017;41(1):1-16.
11. Baltazar-Bernal O, Jaén-Contreras D. Hongos micorrízicos arbusculares y fertilización en *Heliconia psittacorum* L. f. x *H. spathocircinata* cv. tropics. *Revista fitotecnia mexicana*. 2020;43(1):45-52. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.45>
12. Ramírez JF, González PJ, Salazar X, Llanes D, Rivera R, Hernández A, et al. Inoculación micorrízico-arbuscular y reducción de la fertilización orgánica y nitrogenada en *Megathyrus maximus* cv. Likoni. *Pastos y Forrajes*. 2017;40(2):108- 17.
13. Bernal-Fundora A, Hernández-Jiménez A, González-Cañizares PJ, Cabrera- Rodríguez A. Caracterización de dos tipos de suelos dedicados a la producción de plantas forrajeras. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(3). <http://doi.org/10.1234/ct.v40i3.1519>
14. Rodríguez Y, Dalpé Y, Seguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 2011;118(1):337-47. <https://doi.org/10.5248/118.337>
15. Fernández F, Gómez R, Vanegas LF, Martínez MA, de la Noval BM, Rivera R. Producto inoculante micorrizógeno. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 22641, 2001. p. 2.
16. Rodríguez Y, Arias Pérez L, Medina Carmona A, Mujica Pérez Y, Medina García LR, Fernández Suárez K, et al. Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(2):18-21.
17. Giovannetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*. 1980;84(3):489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
18. Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*. 1963;46(2):235-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
19. Rakesh C, Yadav LR, Parihar S. Studies on the interactive effect between vermicompost and fertility levels on pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Annals of Agri Bio Research*. 2014;19(3):430-3.
20. Choudhary R, Yadav LR, Parihar S. Effect of Vermicompost and Fertility Levels on Growth and Yield of Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Annals of Arid Zone*. 2015;54(1 & 2):59-61.
21. Watanabe Y, Itanna F, Izumi Y, Awala SK, Fujioka Y, Tsuchiya K, et al. Cattle manure and intercropping effects on soil properties and growth and yield of pearl millet and cowpea in Namibia. *Journal of Crop Improvement*. 2019;33(3):395-409. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1604456>
22. Veobides-Amador H, Guridi-Izquierdo F, Vázquez-Padrón V. Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos tropicales*. 2018;39(4):102-109.
23. Paungfoo-Lonhienne C, Redding M, Pratt C, Wang W. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss. *Journal of environmental management*. 2019;233:337-341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
24. Baños R, González P, Echeverría JC, Arzola J, Ramírez J, Vieito EL, et al. Efecto del uso del humus de lombriz y los hongos micorrízicos arbusculares en rendimientos de gramíneas. *Ciencia y Tecnología Ganadera*. 2008;2(2):87-90.
25. Brinati Valentim S, Dias Oliveira G, Angeletti Fonseca A, Santos FM. Vermicomposto no cultivo de sálvia (*Salvia officinalis* L.). En: *Cadernos de Agroecologia*. Brasília-DF, Brasil: Manejo de Agroecossistemas e Agricultura Orgânica; 2017. p. 7.
26. Vázquez J, Loli O. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 2018;9(1):43-52. <http://revistas.uni-tru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

27. Pereira da Silva L, Conceição de Oliveira A, Ferreira Alves N, Lima da Silva V, Iarley da Silva T. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta pimentão. *Colloquium Agrariae*. 2019;15(3):104-115. <https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n3.a303>
28. Jadhav HP, Khafi HR, Raj AD. Effect of nitrogen and vermicompost on protein content and nutrients uptake in pearl millet. *Agricultural Science Digest*. 2011;31(4):319-21.
29. Tapia Contreras JP. Efecto de la aplicación de humus de lombriz al suelo sobre el crecimiento de ballica italiana (*Lolium multiflorum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) . : Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.; 2019. 52 p.
30. Gomes Júnior GA, Pereira RA, Sodré GA, Gross E. Humic acids from vermicompost positively influence the nutrient uptake in mangosteen seedlings1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2019;49(55529):1-8. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955529>
31. Quiñones-Aguilar EE, López-Pérez L, Hernández-Acosta E, Ferrera-Cerrato R, Rincón-Enríquez G. Simbiosis micorrízica arbuscular y fuentes de materia orgánica en el crecimiento de *Carica papaya* L. *Interciencia*. 2014;39(3):198-204.
32. João JP, Rivera-Espinosa R, Martín-Alonso G, Riera-Nelson M, Sim -González J. Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot esculenta* Crantz. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(3):117-128.
33. Ochoa Espinosa MF, Armenta Calderón AD, Moreno Salazar SF, Fernández Herrera E, Ochoa Meza A. Fertilización orgánica y su impacto en la calidad del suelo. *Biotecnia*. 2019;21(1):87-92. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.817>
34. Sangare G, Doka DI, Barag  M, Fatondji D. Impact of previous legumes on millet mycorrhization and yields in sandy soil of West African Sahel. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2017;8(10):164-189. <https://doi.org/10.5897/JSEEM2017.0647>
35. Rosales Jenqui PR, González Cañizares PJ, Ramírez Pedroso JF, Arzola Batista J. Selecci n de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto guinea (*Megathyrsus maximus* cv. Likoni). *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):24-30.
36. Passot S. Exploring pearl millet root system and its outcome for drought tolerance . : Universit  de Montpellier; 2016. 141 p.
37. Chu Q, Wang X, Yang Y, Chen F, Zhang F, Feng G. Mycorrhizal responsiveness of maize (*Zea mays* L.) genotypes as related to releasing date and available P content in soil. *Mycorrhiza* 2013;23(6):497-505. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0492-0>
38. Rivera R, Fernández K. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. In: El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana, Cuba: Ediciones INCA; 2003. p. 51-94.