



CIENCIAS AGRARIAS Y DE LA PESCA

Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba, 2020

Bases y beneficios del manejo conjunto de *Canavalia ensiformis* e inoculantes micorrízicos en la producción agropecuaria

Ramón Rivera Espinosa ^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6621-7446>
Gloria Martín Alonso ¹ <https://orcid.org/0000-0002-4298-9027>
Jaime Simó González ² <https://orcid.org/0000-0002-7442-8830>
José Pedro Joao ³ <https://orcid.org/0000-0003-0616-1270>
Milagros García Rubido ⁴ <https://orcid.org/0000-0003-1357-2115>
Yonger Tamayo Aguilar ⁵ <https://orcid.org/0000-0002-5814-1231>
Carlos Bustamante González ⁶ <https://orcid.org/0000-0002-1136-8762>
Pedro José González Cañizares ¹ <https://orcid.org/0000-0003-3206-0609>
Juan Ramírez Pedroso ⁷ <https://orcid.org/0000-0003-3384-3904>
Luis Ruiz Martínez ² <https://orcid.org/0000-0003-2689-7920>
Lázaro Ojeda Quintana ⁸ <https://orcid.org/0000-0001-8629-5695>
Alberto Hernández Jiménez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-6138-0620>

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José, Mayabeque, Cuba

² Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales. Santo Domingo, Santa Clara, Cuba

³ Universidad José Eduardo dos Santos. Huambo, República de Angola

⁴ Estación Experimental del Tabaco, San Juan y Martínez. Pinar del Río, Cuba

⁵ Universidad de Guantánamo. Guantánamo, Cuba

⁶ Estación Experimental Agroforestal III Frente. III Frente, Santiago de Cuba

⁷ Estación Experimental de Pastos y Forrajes. Santa Clara, Cuba

⁸ CUM Cumanayagua, Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba

*Autor para correspondencia: rbracadabra14@gmail.com

RESUMEN

Palabras clave

sistemas integrados de nutrición; abonos verdes; hongos micorrízicos arbusculares; fertilizantes

Introducción. El suministro de nutrientes es un componente decisivo de los agroecosistemas, pero, en Cuba solo el 25 % de las áreas cultivadas son fertilizadas, influyendo negativamente en su productividad. A partir de los beneficios de los inoculantes micorrízicos y los abonos verdes se evaluó su integración con los objetivos de establecer esquemas de suministro de nutrientes más eficientes, que garanticen rendimientos altos con menores cantidades de fertilizantes y ser una vía para la micorrización efectiva de los cultivos. **Métodos.** Se evaluó la respuesta de canavalia a la inoculación de 3 cepas de HMA en 8 condiciones edáficas, así como se ejecutaron 11 experimentos de integración de los abonos verdes inoculados como precedentes o intercalados en los esquemas de suministro de nutrientes de yuca, banano, tabaco, maíz, tomate, cafeto y king-grass. Además, se estudió la coinoculación HMA y rizobios. **Resultados.** La canavalia respondió positivamente a la inoculación micorrízica, con incrementos promedios en biomasa, contenidos de NPK y propágulos micorrízicos entre 50 % y 300 %. La efectividad de las cepas dependió del pH del suelo. La canavalia inoculada y utilizada como precedente o intercalada se integró exitosamente en los esquemas de su-



ministro de nutrientes de los cultivos, garantizando rendimientos altos, funcionamiento micorrízico efectivo y disminuyendo entre 25 % y 75 % los requerimientos de fertilizantes. La coinoculación incrementó la potencialidad de la canavalia. Llegamos a la conclusión de que la canavalia inoculada resultó una vía satisfactoria para el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, permitiendo tecnologías de producción agropecuaria más eficientes y con menores cantidades de insumos.

Bases and benefits of the joint management of *Canavalia ensiformis* and mycorrhizal inoculants in agricultural production

ABSTRACT

Introduction. The supply of nutrients is a decisive component of agroecosystems, but in Cuba only 25 % of cultivated areas are fertilized, negatively influencing their productivity. Based on the benefits of mycorrhizal inoculants and green manures, their integration was evaluated with the objectives of establishing more efficient nutrient supply schemes, which guarantee high yields with lower amounts of fertilizers and a way for the effective mycorrhization of crops. **Methods.** The response of *Canavalia* to the inoculation of three AMF strains in eight edaphic conditions was evaluated, as well as eleven integration experiments of the green manures inoculated as precedents and or intercropped in the nutrient supply schemes of cassava, banana, tobacco, corn, tomato, coffee and king-grass. Furthermore, AMF and rhizobia co-inoculation was studied. **Results.** The *Canavalia* responded positively to mycorrhizal inoculation, with average increases in biomass, NPK contents and mycorrhizal propagules between 50 % and 300 %. The effectiveness of the strains depended on the pH of the soil. The *Canavalia* inoculated and used as a precedent or intercropped was successfully integrated into the fertilization schemes of the crops, guaranteeing high yields, effective mycorrhizal functioning and reducing fertilizer requirements between 25 and 75 %. Co-inoculation increased the potentiality of the *Canavalia*. **Conclusions.** The inoculated *Canavalia* was a satisfactory way for the effective management of the mycorrhizal symbiosis, forming more efficient agricultural production technologies and with lower amounts of inputs.

Key words

integrated nutrient supply systems; green manures; arbuscular mycorrhizal fungi; fertilizers

INTRODUCCIÓN

El suministro racional de nutrientes en los agroecosistemas es una necesidad para garantizar rendimientos altos y mantener o mejorar la fertilidad del suelo. ⁽¹⁾ pero en Cuba solo se fertiliza aproximadamente el 25 % de las áreas agrícolas, coadyuvando a los bajos rendimientos e influyendo negativamente en la fertilidad. Esta situación se complica aún más por la presencia de la COVID-19 y el incremento del bloqueo, al disminuir la capacidad adquisitiva del país.

Mundialmente se reconoce la importancia de potenciar la actividad de los microorganismos benéficos e incluirlos en las nuevas tecnologías de producción agropecuaria. ^(2,3) Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) han sido de los más estudiados debido a la universalidad de la simbiosis que establecen con las plantas y los diferentes beneficios que originan

asociados con incrementos en la absorción de nutrientes y agua, efectos de bioprotección, mejoras en la agregación del suelo, participación en los ciclos del N y C, ^(4,5,6) establecimiento de relaciones positivas con otros microorganismos benéficos rizosféricos ^(7,8) entre otros, siendo un reto actual el manejo efectivo de esta simbiosis para recuperar y optimizar sus beneficios en los agroecosistemas contemporáneos. ⁽⁹⁾

En este sentido en Cuba, existe una amplia cantidad de resultados positivos alcanzados por la inoculación de cepas eficientes de carácter generalistas, en un grupo amplio de cultivos y diferentes condiciones edáficas, asociados con disminuciones de las cantidades de fertilizantes, tanto minerales como orgánico-minerales, para obtener rendimientos altos y garantizar un estado nutricional adecuado. ^(10,11,12,13,14)

La vía de inoculación más empleada ha sido el recubrimiento de las semillas, ⁽¹⁵⁾ sin embargo, para los cultivos que se plantan vía propágulos vegetativos o en plantaciones, la inoculación directa no solo es laboriosa, sino que consume cantidades altas y prohibitivas de inoculantes, las cuales impiden su aplicación a escala productiva.

Desde hace años se impulsa en el país un programa gubernamental de bioproductos y se han desarrollado diferentes biofertilizantes y bioestimulantes, ⁽¹⁶⁾ siendo los micorrízicos uno de los "priorizados". Es de destacar que para cualquiera de estos bioproductos no obstante sus comprobados beneficios, deben aplicarse de conjunto con otras fuentes de nutrientes.

Por otra parte, abundan los resultados que establecen la importancia de los abonos verdes a partir de leguminosas, relacionados con su capacidad de fijación de N₂ (FBN) y el reciclaje y aporte de los nutrientes contenidos en su biomasa, disminuyendo los requerimientos de fertilizantes de los cultivos asociados, además de cubrir el suelo entre otros beneficios. ^(17,18,19,20,21) *Canavalia ensiformis* (canavalia) es una de las especies utilizadas como abono verde y además es una planta micótrofa. Asimismo, algunos reportes plantean que la inoculación micorrízica realizada a un cultivo permite micorrizar efectivamente el cultivo en sucesión, ^(10,22,23) aunque este efecto de "permanencia" es dependiente del cultivo inoculado y de su manejo entre otros.

Por todo lo anterior se desarrolló un programa de trabajo con el objetivo general de evaluar el uso de la canavalia inoculada como precedente o intercalada en los sistemas de suministro de nutrientes y tecnologías de diferentes cultivos económicos, estableciendo las bases para su uso y asociado con: a) mayores cantidades de biomasa y nutrientes en la canavalia inoculada bien sea precedente o intercalada, b) ser una vía efectiva y económica para micorrizar eficientemente los cultivos en sucesión y asociados, c) disminución de las cantidades de fertilizantes requeridas por los cultivos para obtener rendimientos altos y d) incrementar los beneficios obtenidos por la inoculación micorrízica.

MÉTODOS

Se ejecutaron 2 grupos de experimentos. El primero correspondió a los trabajos de comparación de cepas de HMA utilizando canavalia como hospedero. Las cepas evaluadas fueron: *Funneliformis mosseae* ⁽²⁴⁾ /INCAM-2; *Glomus cubense* ⁽²⁵⁾ /INCAM-4, DAOM241198/ y *Rhizogloium irregulare* ⁽²⁶⁾ /INCAM-11, DAOM711363/. El inoculante se formuló sólido ⁽²⁷⁾ y el contenido de esporas osciló entre 25 y 30 esporas g⁻¹. La inoculación vía recubrimiento de las semillas, equivalente a 10 kg ha⁻¹. ⁽²⁸⁾

Los experimentos se ejecutaron en 7 tipos de suelos ⁽²⁹⁾ que se corresponden con húmicos calcimórficos (HC), pardos con y sin carbonatos (Pmc y Psc), ferralíticos rojos lixiviados (FRL), ferralíticos amarillentos lixiviados (FAL), pardos grisáceos dístricos (PGd) y gleysol nodular ferruginoso (GNF) y que reflejan el amplio espectro de suelos agrícolas en Cuba situados por debajo de 200 msnm, con suelos de baja hasta alta fertilidad. De forma general los contenidos de esporas micorrízicas fueron bajos.

Los tratamientos consistieron en la inoculación de cada cepa y un testigo sin inocular. Se evaluaron la biomasa (masa seca), el porcentaje de colonización, ^(30,31) la cantidad de esporas micorrízicas, ⁽³²⁾ los contenidos de N, P y K en el tejido aéreo, ⁽³³⁾ así como los análisis químicos iniciales del suelo ⁽³³⁾. Una mayor información se encuentra en diversos artículos y tesis. ^(34,35,36,37,38,39,40,41)

Se realizaron ANOVA para las diferentes variables y las medias se docimaron de acuerdo con Tukey (p<0,05). Con los datos de masa seca (MS) se calculó un índice de eficiencia de cada cepa $IE_i = (MS_{cepa_i} - MS_{testigo}) * 100 / MS_{testigo}$.

No obstante, fue necesario estandarizarlo ⁽⁴²⁾ para lo cual se consideró en cada experimento el IE_i obtenido por la cepa con mayor efecto como 100 y los restantes se expresaron como porcentajes de este valor.

$IER(\%) = IE_i \times 100$ siendo i una u otra cepa.

IE mayor

Una vez obtenida la cepa eficiente se desarrolló el segundo grupo de experimentos (tabla 1). Se estudió la integración de la canavalia inoculada con los esquemas de suministro de nutrientes (NPK) en diferentes cultivos. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro réplicas.

La canavalia precedente (100 000 plantas ha⁻¹) se cortó a los 60 días después de la siembra (dds), incorporándose a 15 cm de profundidad. Los cultivos fueron sembrados o plantados 30 días después del corte. La canavalia intercalada se sembró en las calles y se hicieron 2 cortes, a los 60 d y a los 110 d, arrojando la biomasa sobre los surcos del cultivo.

La cepa inoculada (tabla 1) se aplicó a la canavalia vía recubrimiento. ⁽²⁸⁾ Cuando se inocularon los cultivos principales se aplicaron 13 kg ha⁻¹, 26 kg ha⁻¹ y 120 kg ha⁻¹ de inoculante para la yuca, banano y *king-grass*. ^(11, 13, 43)

Como las diferentes dosis de fertilizantes estudiadas consistieron en porcentajes de las dosis de NPK recomendada para cada cultivo, ^(51,52,53,54,55) la eficiencia en el uso de los fertilizantes (FPP) se estimó de forma similar al factor parcial de productividad, ⁽⁵⁶⁾ pero en base a la suma de las cantidades de macronutrientes aplicados en cada tratamiento.

$FPP (kg/kg^{-1}) = \frac{\text{Rendimiento Tratamiento (t/ha}^{-1}) - \text{Rendimiento sin fertilizantes (t/ha}^{-1})}{\sum kg ha^{-1} \text{ aplicados de N+P}_2\text{O}_5\text{+K}_2\text{O}}$

Tabla 1. Algunas características de los experimentos de integración de canavalia-HMA con los esquemas de fertilización de diferentes cultivos

Cultivo económico/ cultivar	Suelo	<i>C. ensiformis</i>	Cepa HMA	fertilizantes (100 % NPK) N-P ₂ O ₅ – K ₂ O (kg há ⁻¹)
Maíz / Francisco mejorado (2 experimentos) ^(28,44,45)	FRL	precedente	INCAM4	No se utilizaron y 2) 50 kg ha ⁻¹ de N.
Tabaco/Criollo-98 ⁽⁴³⁾	FAL	precedente	INCAM4	120-60-160
Tomate / HA-33-29 (no publicado)	PMC	precedente	INCAM11	ninguno
<i>king-grass</i> / morado ⁽⁴³⁾	GNF	precedente	INCAM2	200-80-150
	FRL	precedente	INCAM4	200 – 50 - 100
Banano/ FHIA-18 (2 experimentos) ^(46,47)	PMC	precedente e intercalada	INCAM11	20 kg planta ⁻¹ de compost y 10 kg planta ⁻¹ de ceniza.
Yuca / CMC-40 ⁽⁴⁸⁾	FRL	precedente e intercalada	INCAM4	100 – 40 - 150
Yuca / CMC-40 ⁽⁴⁹⁾	PMC	intercalada	INCAM11	150 – 60 - 200
Cafeto /Robusta ⁽⁵⁰⁾	PSC	intercalada	INCAM4	200-50-160

Los ANOVA se realizaron en correspondencia con los diseños experimentales y siempre que existió significación ($p < 0,05$), las medias se docimaron de acuerdo con la prueba de Duncan ($p < 0,05$). Los efectos obtenidos se expresaron en gráficos de caja y bigotes.

Coinoculación cepas HMA y de rizobios en canavalia

Se ejecutaron varios experimentos que incluyeron la referida coinoculación, evaluando diferentes combinaciones de cepas de rizobios y de HMA. En uno de estos experimentos se determinó la FBN por métodos isotópicos. ⁽⁵⁷⁾

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta de la canavalia a la inoculación de cepas de HMA

Se encontró una respuesta significativa de la canavalia a la inoculación micorrizica en las diferentes variables y condiciones edáficas, con efectos diferenciados ($p < 0,05$) entre las cepas. En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos por la inoculación de las cepas HMA sobre la producción de biomasa aérea (IER) y como la cepa que originó la mayor respuesta, no fue la misma en todas las condiciones edáficas. Los experimentos se ordenaron de acuerdo con el valor creciente del pH-H₂O del suelo, de forma tal que en los rangos de pH de 4,7 a 5,4 la cepa que originó la mayor respuesta fue *F. mosseae*/INCAM-2, en los experimentos que se correspon-

dieron con el rango de pH de 6 a 7,1 la cepa que originó la mayor respuesta fue *G. cubense*/INCAM-4 y cuando los suelos presentaron pH $\geq 7,0$ a 8,0 la cepa con mayor efectividad fue *R. irregulare*/INCAM-11, con una zona de solapamiento alrededor de pH 7.

La cepa que presentó los mayores efectos en la producción de biomasa en cada experimento, los originó también en el resto de las variables (concentraciones y cantidades de macronutrientes e indicadores de funcionamiento micorrizico) con diferencias significativas ($p < 0,05$) con los valores originados por la inoculación de las otras cepas y el testigo, indicando una relación entre funcionamiento micorrizico, estado nutricional y producción de biomasa. A esta cepa se le denominó cepa eficiente. ⁽¹⁰⁾

Los efectos de la inoculación de la cepa eficiente en la biomasa, N derivado de la FBN ⁽⁵⁷⁾ y contenidos de macronutrientes fueron altos, entre el 50 % y 70 %. Los porcentajes de colonización alcanzados fueron de alrededor de 60 % indicativos de un funcionamiento micorrizico efectivo en diversos cultivos, ^(10, 11,12) así como las esporas se incrementaron hasta 5 veces.

Por tanto, la cepa eficiente varió con la condición edáfica y presumiblemente el pH-H₂O del suelo, es decir el factor determinante para condicionar la eficiencia de estas cepas fue la condición edáfica en que se desarrolló la simbiosis. ⁽⁴²⁾

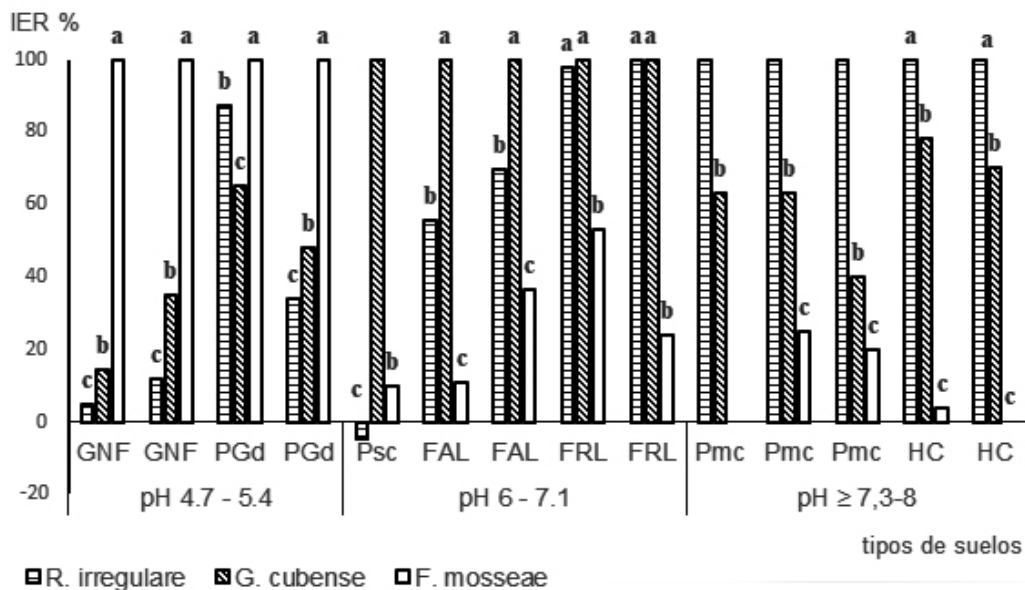


Figura elaborada a partir de referencias (34,35,36,37,38,39,40,41)

Fig. 1. Respuesta de *C. ensiformis* a la inoculación de cada cepa y expresada como IER (%) de la producción de biomasa en cada experimento. Letras diferentes en cada experimento indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Beneficios de la canavalia inoculada en los cultivos principales

La canavalia inoculada con la cepa eficiente HMA y utilizada como precedente o intercalada originó efectos positivos ($p < 0,05$) en los diferentes cultivos evaluados, conllevando a incrementos promedios en el rendimiento de 50 % con relación a los tratamientos que solo recibieron la misma dosis media de fertilizantes (figura 2). Asimismo, el uso de canavalia inoculada y dosis medias de fertilizantes garantizaron rendimientos altos y un funcionamiento micorrízico satisfactorio con rendimientos similares a los obtenidos al aplicar las mayores dosis de fertilizantes recomendadas para cada cultivo^(51,52,53,54,55), e incluso en el tabaco y el king-grass los rendimientos fueron superiores. En todos los casos se alcanzaron disminuciones importantes en las cantidades de fertilizantes minerales u orgánicos de 50 % a 75 %, que fueron mayores que las encontradas al aplicar los inoculantes micorrízicos a estos cultivos, que oscilaron entre 25 % y 50 %.^(11, 13, 43, 48, 58)

Consecuentemente la canavalia inoculada incrementó el FPP por el cultivo en sucesión y en asociación (figura 2), tanto en relación a cuando este recibió las dosis recomendadas de 100 % NPK, como cuando los cultivos se inocularon directamente

Si bien el uso de la canavalia como abono verde disminuye los requerimientos de fertilizante nitrogenado en diversos cultivos⁽¹⁷⁾ asociado entre otros con los aportes de N vía fijación simbiótica (FBN) y reciclaje de nutrientes, los resul-

tados establecieron además el incremento en FBN producto de la aplicación de la cepa eficiente de HMA.⁽⁵⁷⁾ No menos importante para fundamentar los beneficios alcanzados por la canavalia inoculada en la nutrición de los cultivos, son los reportes de que en presencia de fuentes orgánicas se incrementan tanto la elongación como la cantidad de hifas micorrízicas,^(59,60) así como que la propia microbiota presente en la rizosfera de las plantas micorrizadas incrementa la velocidad de descomposición de estos residuos,⁽⁷⁾ todo lo cual favorece la capacidad de absorción de los nutrientes presentes en los mismos.

El funcionamiento micorrízico satisfactorio alcanzado en los cultivos en sucesión a la canavalia inoculada, expresado tanto en los porcentajes de colonización micorrízica (figura 3) como en los altos rendimientos alcanzados, con funcionamientos micorrízicos similares a cuando se inoculó el cultivo principal, establecieron la factibilidad del efecto de permanencia para micorrizar exitosamente estos cultivos.

La utilización de la canavalia inoculada intercalada fue también muy satisfactoria (figura 2). En el cultivo de la yuca su utilización mejoró los resultados alcanzados con el uso de la canavalia inoculada como precedente⁽⁴⁹⁾ y tanto en la yuca como en el banano y en el cafeto indicaron la contribución del abono verde y del funcionamiento micorrízico a la nutrición del cultivo principal.^(47, 48, 49,50) Además, el intercalamiento de la canavalia inoculada disminuyó entre 80 % a 90 % el número de labores de limpias^(49,61) y mantuvo el suelo cubierto, disminuyendo los riesgos de escorrentías.

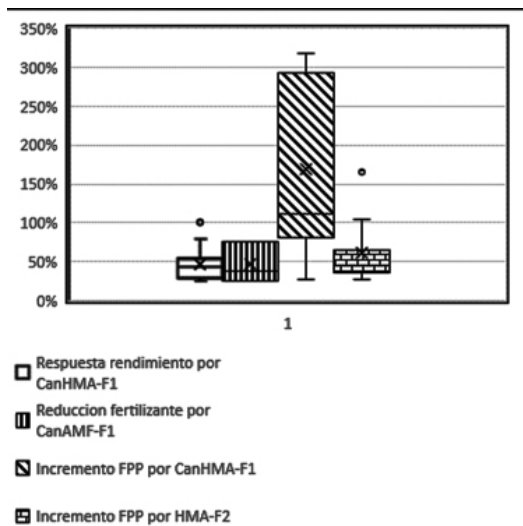


Figura elaborada a partir de referencias (43,44,45,46,47,48,49,50,58)

Fig. 2. Beneficios de la canavalia inoculada como abono verde precedente e intercalado (CanHMA-F1) en diferentes cultivos, en presencia de las dosis óptimas de fertilizante (NPK) para este manejo (F1). Las respuestas en base al aumento de rendimientos con relación a los tratamientos que solo recibieron F1; las reducciones de fertilizantes en relación a los tratamientos 100 % NPK. Los incrementos en eficiencia del uso de los fertilizantes (FPP) para CanHMA-F1 y HMA-F2 (cultivos inoculados con HMA y F2 dosis óptima para este manejo) ambos en relación al FPP-100 % NPK. Las dosis de 100 % NPK, F2 y F1 variaron con los cultivos, pero siempre 100 % NPK > F2 > F1. N = 12. Las respuestas en cada experimento fueron significativas al menos para $P < 0,01$.



Figura elaborada a partir de referencias (44,45,46,47,48,49, 58)

Fig. 3. Efecto de la canavalia inoculada (CanHMA-F1) sobre los porcentajes de colonización micorrízica de los cultivos y comparado con los porcentajes obtenidos cuando la canavalia no se inocula (CanF1) y cuando solo se inocula el cultivo (HMA-F2). F2 > F1. N = 8. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos.

El uso de la canavalia inoculada, fue decisiva no solo para micorrizar eficientemente los cultivos que se propagan vegetativamente, sino además para inocular las plantaciones de banano, yuca y cafeto, ya que no solo simplificó la aplicación, sino que disminuyó cantidades significativas de inoculante.

El manejo de estos sistemas, al igual que para cualquier sistema de suministro de nutrientes, requiere la integración con los análisis de suelos y plantas y los balances de aportes y exportaciones para garantizar la sostenibilidad de los mismos y evitar en el tiempo una disminución significativa de los contenidos de nutrientes disponibles de los suelos. Los resultados alcanzados integrando los diferentes análisis y el balance en plantaciones de banano con canavalia-HMA y aplicaciones orgánico-minerales (47,61) demostraron la factibilidad de esta integración.

Coinoculación HMA y rizobios en canavalia

La coinoculación incrementó la respuesta de la canavalia y por tanto elevó la potencialidad de la misma como abono verde. (34,35,37,38,57)

Consideración

Existen diferentes documentos que discuten ampliamente la importancia de los abonos verdes, no solo enfocados a la agricultura familiar, sino también como parte de tecnologías de intensificación sostenible; (2,19,62,63) sin embargo, desconocen la importancia y efectividad de este manejo conjunto. De forma similar los resultados (47 también novedosos del punto de vista del manejo efectivo de la simbiosis micorrízica en los agroecosistemas y formando parte de los esquemas de suministro de nutrientes y tecnologías de los cultivos.

Conclusiones

El manejo de la canavalia inoculada como abono verde, bien sea precedente o intercalada no solo potencia los beneficios obtenidos individualmente por el uso de una u otra "práctica" y relacionados entre otros con disminuciones de las cantidades de fertilizantes e incrementos de la eficiencia en la toma de estos, sino que se convierte en una vía efectiva para introducir las cepas eficientes de HMA en los agroecosistemas, con mayor impacto en los cultivos que se propagan vía semillas vegetativas y en plantaciones. Este manejo es válido cuando se utilizan cepas de HMA "generalistas" con los cultivos, en las condiciones edáficas en que resulten eficientes. La coinoculación incrementó la potencialidad de la canavalia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K.E, Merckx, R., Mokwunye, U. *et al.* Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. Outlook on Agriculture. 2010;39:17-24. DOI: <https://doi.org/10.5367/00000010791169998>
2. Royal Society of London. 2009. Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture. Royal Society, London, RS Policy document RS1608. ISBN: 978-0-85403-784-1

3. Le Mire, G., Nguyen, M.L., Fassotte, B., du Jardin, P., Verheggen, F., Delaplace, P., Jijakli, M.H. Review: Implementing Plant Biostimulants and Biocontrol Strategies in the Agroecological Management of Cultivated Ecosystems. *Biotechnology Agronomy Society. Environmental*. 2016;20(S):299-313.
4. Willis, A., Rodrigues, B. F., Harris, P. J. C. The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2013;32:1-20. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.683375>
5. Van der Heijden, M.G.A., Martin, F.C., Selosse, M.A., Sanders, I.R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*. 2015;205:1406-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
6. Lehmann, A., Leifheit, E.F., Rillig, M.C. 2017. Mycorrhizas and Soil Aggregation. In: Johnson, N., Gehring, C. and Jansa, J (eds). *Mycorrhizal Mediation of Soil*. Elsevier, Amsterdam, 241-62p. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00014-0>
7. Hodge, A., Storer, K. 2015. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*. 2015;386:1-19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1>
8. Zhang, L., Fan, J., Feng, G., Declerck, S. 2018. The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* MUCL 43194 induces the gene expression of citrate synthase in the tricarboxylic acid cycle of the phosphate-solubilizing bacterium *Rhizobium aquatilis* HX2. *Mycorrhiza*. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0871-7>
9. Hamel C., Plenchette C. Implications of past, current and future agricultural practices for mycorrhiza mediated nutrient flux. In: Johnson, N., Gehring, C. and Jansa, J (eds). *Mycorrhizal Mediation of Soil*. Elsevier, Amsterdam. 2017:175-86p. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12804312-7.00010-3>
10. Rivera, R., Fernández, F., Fernández, K., Ruiz, L., Sánchez, C., Riera M. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. In: Hamel, C. and Plenchette, C.(eds). *Mycorrhizae in Crop Production*. Haworth Press, Binghamton, NY. 151-96p.
11. Ruiz, L., Simó, J., Rodríguez, S., Rivera, R. 2012. Las micorrizas en cultivos tropicales. Una contribución a la sostenibilidad agroalimentaria. Editorial Académica Española, VDM Publishing. Alemania. 239 p. ISBN: 978-3-8484-5382-5.
12. González, P.J., Ramírez, J. F., Rivera, R., Hernández, A., Plana, R., Crespo, G. Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2015;49(4):535-40.
13. Simó, J., Ruiz, L., Rivera, R. Manejo de la simbiosis micorrizica arbuscular y suministro de nutrientes en plantaciones de banano cultivar 'FHIA-18' sobre suelos Pardos mullidos carbonatados. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(4):43-54.
14. Rivera, R., Fernández, F., Ruiz, L., González, P.J., Rodríguez, Y., Pérez, E. *et al.*, a. Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrizico EcoMic® en la producción agrícola. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba. 2020:155 p. ISBN 978-959-7258-05-6.
15. Fernández-Martín, F., Rivera, R., Providencia, I., Fernández, K., Rodríguez, Y. Effectiveness of mycorrhizal inoculation by seed dressing. fungal functioning and agrobiological effect. En: *Avances en el conocimiento de la biología de las Micorrizas*. Editores: Frías Hernández, J.T, Olalde-Portugal, V and Ferrera Cerrato, R. Universidad de Guanajuato, México, 2005, 252-67 p. ISBN: 968-864-333-5. 2005.
16. MINAG, 2010. Estrategia para el desarrollo de los biofertilizantes, estimulantes y los bioestimulantes para sustituir importaciones en la producción agroalimentaria. 17p.
17. García, M., Treto, E., Álvarez, M. Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa: Efecto de la interacción Abonos verdes x Dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales*. 2000;21(1):13-19.
18. Crews, T. E., Peoples, M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological trade-offs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004;102:279-97. ISSN0167-8809.
19. Bunch, R. Achieving sustainability in the use of green manures. *ILEIA Newsletter*. 2005;13(3):12.
20. Fernández de Sousa, F., López do Carmo, D., Souza Carneiro, J.E., Urquiaga-Caballero, S., Silva Santos, R.H. Legumes as green manure for common bean cultivated in two growing seasons at southeast Brazil. *African Journal of Agricultural Research*. 2016;11(49), 4953-58. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11689>
21. Vargas, T. de O., Diniz, E.R., Pacheco, A.L. V., Silva R. H., Urquiaga, S. Green manure-15N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. *Scientia Horticulturae*. 2017;214:209-13.
22. Marrero Y., Simó, J., Ruiz, L., Rivera, R., Plana, R.. Influencia del laboreo sobre el manejo de la simbiosis micorrizica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un suelo Pardo con carbonatos. *Cultivos Tropicales*. 2008;29(2):11-5.
23. Espinosa A., Rivera R., Ruiz L., Espinosa E., Lago Y. Manejo de precedentes inoculados con HMA para micorrizar eficientemente el boniato (*Ipomoea batatas* L.) en sucesión. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(2)e03.
24. Schüßler, A., Walker, C. 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. Gloucester: The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University. Disponible en: http://www.genetik.biologie.uni-muenchen.de/research/schuessler/publications/papers_schuessler/walk.pdf
25. Rodríguez, Y., Dalpé, Y., Séguin, S., Fernández, K., Rivera, R. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 2011;118:337-47. <http://dx.doi.org/10.5248/118.337>
26. Sieverding, E., Alves da Silva, G., Berndt, R., Oehl, F. *Rhizoglomus*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*. 2014;129(2):373-86.
27. Fernández, F., Gómez, R., Vanegas, L. F., Martínez, M. A., de la Noval, B., Rivera, R. 2000. Producto Inoculante micorrizogéno. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial, La Habana, Cuba. Certificado Nro. 22641.
28. Martín, G.M., Rivera, R., Arias, L., Rentería, M. Efecto de la *Canavalia ensiformis* y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2009;43(2):191-5.
29. Hernández, A.; Pérez, J.; M.; Bosch, D. y Castro, N. Clasificación de los suelos de Cuba edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015:93p. ISBN 978-959-7023-77-7.
30. Phillips, J. M., Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970;55(1):158-61. ISSN 0007-1536. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

31. Rodríguez, Y., Arias, L., Medina, A., Mujica, Y., Medina, L.R., Fernández, K. *et al.* Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrizica. *Cultivos Tropicales*, 2015;36(2):18-21.
32. Giovanetti, M. y Mosse, B. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. *New Phytologist*, 1980;84(3):489-500. ISSN 1469-8137. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
33. Paneque, V.M., Calaña, J. M., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T. C., Caruncho, C. M. 2010. Manual de Técnicas analíticas para Análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Ediciones INCA, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. 153p. ISBN: 978-959-7023-51-7.
34. Ruiz, L., Simó, J.E., Rivera, R., Carvajal, D., Gracias, O., Pérez, J. 2009. Respuesta de la *C. ensiformis* a la inoculación conjunta de cepas de rizobios y HMA sobre suelos Pardos con carbonatos. Taller de la Red Manejo de la simbiosis micorrizica arbuscular en agrosistemas, INCA, 25 al 27 de noviembre del 2009.
35. Bustamante, C., Rivera, R., Pérez, G., Viñals, R. Promoción del crecimiento de *Canavalia ensiformis* L. mediante la coinoculación de cepas de *rhizobium* y hongos formadores de micorrizas en suelo Pardo sin carbonatos. *Café y Cacao*.2010;9(2):5-9.
36. Martín, G. M., Arias, L., Rivera, R. Selección de las cepas de HMA más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferráltico Rojo. *Cultivos Tropicales*. 2010;31(1):27-31.
37. Martín G.M., Reyes, R., Ramírez, J, F. Coinoculación de *C. ensiformis* (L.) D.C. con *Rhizobium* y hongos micorrizicos arbusculares en dos tipos de suelos de Cuba. *Cultivos Tropicales*.2015;36(2):22-9.
38. Tamayo Aguilar, Y., Martín, G.M., Corona, Y., Barraza Alvarez, F.V. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* (L) D.C. ante la coinoculación de *Rhizobium* y hongos micorrizicos arbusculares. *Hombre, Ciencia y Tecnología*. 2015;19(1):100-8.
39. García Rubido, M., Rivera, R., Cruz, Y., Acosta, Y., Cabrera, JR. Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrizico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):16-21.
40. Ojeda, L., González, P.J., Rivera, R., Furrázola, E., de la Rosa, J.J., Rodríguez, YI., González, L., Hernández, M.E. Inoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) D.C con especies de hongos micorrizicos arbusculares en la fase de establecimiento de un banco forrajero. *Pastos y Forrajes*. 2018;41(3):182-88.
41. Simó, J., Rivera, R, Ruiz, L., Ruiz, M., Díaz G. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi inoculated on *Canavalia ensiformis* L. in Calcaric Histosol. *Agronomía Mesoamericana*. 2019;30(2):395-405. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33221>
42. Rivera, R., Martín, G.M., Simó, J.E., Pentón, G., Garcia-Rubido, M, Ramirez, J., et al. 2020 b. Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 2020;23(97).
43. Rivera, R., Martín, G.M., Simó, J., Pentón, G., Joao, J.P, García, M., Ramírez, J., González, P.J. *et al.*, Bases y beneficios del manejo conjunto de *Canavalia ensiformis* e inoculantes micorrizicos arbusculares en los sistemas de suministro de nutrientes de diferentes cultivos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. Informe del megaproyecto Código: P131LH0010003, 2017.70p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29685.06884>
44. Martín, G. M., Rivera, R. Micorrizas, abonos verdes y fertilización nitrogenada en el maíz. Editorial Académica Española. 2011:102 p. ISBN 978-3-8443-3854-6
45. Martín, G.M., Rivera, R., Pérez, A., Arias, L. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrizica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. 2012;33(2):20-8.
46. Simó González J.; Rivera Espinosa, R.; Ruiz Martínez, L.; Espinosa Cuellar, E. 2016. Necesidad de reinoculación micorrizica en el trasplante del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada con HMA. *Centro Agrícola*.2016;43(2):28-35.
47. Simó, J., Rivera, R., Ruiz, L., Martín, G. 2020. The Integration of AMF Inoculants, Green Manure and Organo-Mineral Fertilization, in Banana Plantations on Calcic Haplic Phaeozems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2012;23:(08.IIT):
48. Joao, J.P., Rivera, R., Martín, G.M., Riera, M., Simó, J. Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot esculenta Crantz*. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(3):117-28.
49. Joao, JP, Rivera, R., Martín, G.M. Inoculación micorrizica, *Canavalia ensiformis* y fertilización en el cultivo de la yuca. Editorial Académica Española. VDM Publishing. Alemania. 2018;157p ISBN 978-620-2-13185-8.
50. Bustamante, C., Viñals, R., Pérez, A., Pérez, G., Rivera, R., Martín, G.M, Rodríguez, M. 2012. Informe Final del proyecto. Incremento de la eficiencia de la nutrición N y K de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos Pardos de los macizos Sierra Maestra y Sagua Nipe Baracoa. Código 07.03.130. INAF, 77 p.
51. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova (IIHLD). Instructivo técnico del cultivo del maíz. 1996.
52. Instituto de Investigaciones del Tabaco (ITT). Instructivo Técnico para el cultivo del Tabaco en Cuba. Editorial MINAG, Artemisa, Cuba. 2012. 148 p., ISBN 978-959-7212-07-2.
53. MINAG. Manual de Tecnología de la Ganadería. Segunda Edición. Editorial CIMA Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba. 2014:106p.
54. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Instructivo técnico para la producción de semillas de viandas. Primera edición. Editorial INIVIT. La Habana, 2012.159p. ISBN 978-959-295-006-1.
55. Díaz, W., Caro, P., Bustamante, C., Sánchez, C., Rodríguez, M., Vázquez, E. *et al.*. Instructivo Técnico Café Robusta. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Ministerio de la Agricultura. Dirección de Café y Cacao del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Santiago de Cuba. 2013:71p.
56. Stewart, W.M. 2007 Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 2007;(67),1-7p.
57. Martín, G.M., Tamayo, Y., Hernández, I., Varela, M., da Silva Araujo, E. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo Pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ¹⁵N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):122-30.
58. Ruiz, L., Espinosa, A., Camejo, Maritza, Simó, J., Rivera, R. 2016 a. Efecto de dosis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio combinadas con micorrizas sobre el cultivo de la yuca en un suelo Pardo mullido carbonatado. *Revista. Agricultura Tropical*. 2016;2(2):1-13.

59. Cheng, L., Weile, C., Wei, X., Li, L., McCormack, L.M., Deforest, J.I., Koide, R.T., Eissenstat, D. M. 2016. Mycorrhizal fungi and roots are complementary in foraging within nutrient patches. *Ecology*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecy.1514>
60. Thirkell, T.J., Cameron, D.D., Hodge, A. 2016. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant, Cell & Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12667>
61. Simó J.; Rivera R.; Ruiz L. Las micorrizas en la nutrición del banana (*Musa spp.*). Editorial Académica Española. VDM Publishing. Alemania. 2017;166p. ISBN 978-620-2-23856-4
62. Cherr, C. M., Scholberg, J. M. S., McSorley, R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agronomy Journal*. 2006;98:302-19. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0035>
63. Peoples, M.B., Hauggaard-Nielsen, H., Huguenin-Elie, O., Jensen, E.S., Justes, E., Williams, M., 2019. The Contributions of Legumes to Reducing the Environmental Risk of Agricultural Production. In: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (eds.). *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. Elsevier, Academic Press, 2019:123-43. ISBN: 9780128110508

Recibido: 17/06/2021

Aprobado: 26/11/2021

Conflicto de intereses

No existen conflictos de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Ramón Rivera Espinosa, Luis Ruiz Martínez, Gloria Martín Alonso, Pedro José González Cañizares, Carlos Bustamante González

Adquisición de datos. Gloria Martín Alonso, Jaime Simó González, José Pedro Joao, Milagros García Rubido, Yonger Tamayo Aguilar, Pedro José González Cañizares, Alberto Hernández Jiménez, Lázaro Ojeda Quintana, Carlos Bustamante González

Investigación: Ramón Rivera Espinosa, Luis Ruiz Martínez, Gloria Martín Alonso, Pedro José González Cañizares, Carlos Bustamante González

Análisis e interpretación de datos. Ramón Rivera Espinosa, Gloria Martín Alonso, Jaime Simó González, Juan Ramírez Pedroso, Milagros García Rubido, Yonger Tamayo Aguilar, Pedro José González Cañizares, Lázaro Ojeda Quintana, Carlos Bustamante González

Aprobación final del artículo: Ramón Rivera Espinosa.

Financiación

Fondo para la Ciencia y la Innovación, proyecto 56-2016.

Cómo citar este artículo

Rivera Espinosa R, Martín Alonso G, Simó González J, Pedro Joao J *et al.*. Bases y beneficios del manejo conjunto de Canavalia ensiformis e inoculantes micorrízicos en la producción agropecuaria. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* [internet] 2022[citado en día, mes y año];12(1): e1104. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1104>

