CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 6, Núm. 2 (2025), pp. 24-32.

POTENCIAL DE LOS BIOFERTILIZANTES EN YUCA (*Manihot esculenta* Crantz.): INTERACCIONES MICROBIANAS, NUTRICIÓN Y CONTROL BIOLÓGICO[1]

POTENTIAL OF BIOFERTILIZERS IN CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz.) CROP: MICROBIAL INTERACTIONS, NUTRITION AND BIOLOGICAL CONTROL

Luna-Castellanos, L.L[1*]; Burbano-Figueroa, O.A[2]

[1]*Colegio de Postgraduados, Programa de Doctorado en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, Campus Veracruz, Km. 88.5 carretera federal Xalapa, Veracruz, predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.*
[2]*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Turipaná, km 13 vía Cereté-Montería, Cereté, Córdoba, Colombia.*
** E-mail: luna.lily@colpos.mx*

Fecha de envío: 18, mayo, 2025 Fecha de publicación: 20, julio, 2025

Resumen:
La yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) es un cultivo clave para la seguridad alimentaria en regiones tropicales de América, África y Asia, donde suele enfrentarse a suelos empobrecidos, manejo agronómico limitado y alta incidencia de enfermedades. Ante este contexto, el uso de biofertilizantes microbianos ha surgido como una alternativa agroecológica prometedora para mejorar simultáneamente la nutrición vegetal y la sanidad del cultivo. Esta revisión tuvo como objetivo analizar la evidencia científica publicada entre 2012 y 2025 sobre la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, siglás en inglés), hongos micorrízicos arbusculares (HMA), endófitos fúngicos, bokashi y consorcios microbianos en el cultivo de yuca. Se revisaron 43 estudios realizados en diversos países, considerando microorganismos utilizados, efectos agronómicos observados y funciones duales de nutrición y control biológico. Los resultados muestran que diversas combinaciones microbianas pueden incrementar la eficiencia en la absorción de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, reducir la dependencia de fertilización química y contribuir al control de enfermedades como la pudrición radicular y el tizón bacteriano. El empleo de bioinsumos fermentados como bokashi también ha demostrado efectos positivos en la biomasa, el desarrollo radicular y la calidad del tubérculo. Además, se ha reportado la reducción de antinutrientes y la mejora del valor nutricional de la raíz. En conjunto, estas evidencias respaldan el potencial de los biofertilizantes microbianos como una herramienta integral para fortalecer la sostenibilidad agroalimentaria del cultivo de yuca, especialmente en sistemas de temporal y condiciones de baja tecnificación.

Palabras clave: PGPR, micorrizas arbusculares, endófitos, agroecología, sostenibilidad agrícola.

[a] Este documento fue elaborado como parte de un ejercicio académico de revisión sistemática sobre biofertilización microbiana en yuca, con fines de divulgación científica y apoyo a procesos de sostenibilidad agroalimentaria en regiones tropicales.

Abstract:
Cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) is a key crop for food security in tropical regions of the Americas, Africa, and Asia, where it often faces degraded soils, limited agronomic management, and high disease incidence. In this context, the use of microbial biofertilizers has emerged as a promising agroecological alternative to simultaneously improve plant nutrition and crop health. This review aimed to analyze scientific evidence published between 2012 and 2025 regarding the application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), fungal endophytes, bokashi, and microbial consortia in cassava cultivation. A total of 43 studies conducted in various countries were reviewed, considering the microorganisms used, observed agronomic effects, and their dual roles in nutrition and biological control. Results show that various microbial combinations can enhance the efficiency of nitrogen, phosphorus, and other nutrient uptake, reduce reliance on chemical fertilizers, and contribute to the control of diseases such as root rot and bacterial blight. The use of fermented bioinputs such as bokashi has also shown positive effects on biomass, root development, and tuber quality. Additionally, reductions in antinutritional compounds and improvements in the nutritional value of the root have been reported. Altogether, this body of evidence supports the potential of microbial biofertilizers as an integral tool to strengthen the agro-food sustainability of cassava cultivation, particularly in rainfed systems and low-input conditions.

Keywords: PGPR, arbuscular mycorrhizae, endophytes, agroecology, agricultural sustainability.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) es un cultivo fundamental para la seguridad alimentaria de millones de personas en zonas tropicales del mundo, debido a su adaptabilidad a suelos pobres y su alto rendimiento energético por hectárea (El-Sharkawy, 2004; Howeler et al., 2013). Sin embargo, enfrenta limitaciones agronómicas derivadas del uso ineficiente de fertilizantes químicos, bajos niveles de materia orgánica y una limitada sanidad vegetal en condiciones de baja tecnificación (Ceballos et al., 2020). A ello se suma la escasa adopción de prácticas basadas en análisis de suelo o nutrición equilibrada, lo que restringe el potencial productivo de variedades mejoradas, particularmente en sistemas de temporal (Durán-Prado et al., 2024).

Ante estos desafíos, el uso de biofertilizantes microbianos ha emergido como una alternativa viable para promover la sostenibilidad del cultivo. Estos productos, que incluyen bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, siglas en inglés), hongos micorrízicos arbusculares (HMA), microorganismos endófitos y formulaciones fermentadas como bokashi, pueden mejorar simultáneamente la

disponibilidad de nutrientes y ejercer efectos de control biológico sobre patógenos del suelo (Adesemoye & Kloepper, 2009; Vejan et al*.,* 2016). Además, su aplicación puede reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, disminuir costos y mejorar la calidad del tubérculo mediante la reducción de antinutrientes como el cianuro, oxalatos y fitatos (Mbassi Manga et al., 2020).

En la última década, se han reportado interacciones microbianas complejas que van más allá de la acción individual de cada cepa. Coinoculaciones de PGPR con HMA, o el uso de consorcios combinados, han mostrado efectos sinérgicos en la fisiología de la planta y en su resistencia a enfermedades. Estas asociaciones funcionales contribuyen al equilibrio del microbioma rizosférico, activan rutas hormonales y defensivas, y mejoran la resiliencia del cultivo frente a restricciones hídricas o nutricionales.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo revisar críticamente la literatura científica reciente sobre el uso de biofertilizantes microbianos en yuca, con énfasis en sus efectos duales sobre la nutrición vegetal y el control biológico, así como su aplicabilidad en diferentes regiones productoras del trópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta revisión documental se desarrolló entre enero y mayo de 2025, con el propósito de identificar, organizar y analizar la literatura científica publicada sobre el uso de biofertilizantes microbianos en el cultivo de yuca con efectos tanto nutricionales como fitosanitarios. Se aplicó un enfoque cualitativo-descriptivo basado en el análisis de artículos científicos revisados por pares.

Las fuentes consultadas incluyeron bases de datos académicas reconocidas, como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, SciELO, Redalyc y AJOL, además de repositorios institucionales como FAO, INIFAP y AGROSAVIA. La búsqueda se limitó a publicaciones entre los años 2012 y 2025, utilizando combinaciones de palabras clave como: “cassava”, “biofertilizer”, “PGPR”, “mycorrhizae”, “endophytes”, “bokashi”, “nutrient uptake” y “biological control”.

Los criterios de inclusión fueron: (1) estudios con ensayos experimentales en campo o invernadero sobre yuca, (2) investigaciones que evaluaran efectos agronómicos relacionados con nutrición, rendimiento o sanidad vegetal, y (3) artículos publicados

en revistas científicas con acceso completo al contenido metodológico y resultados. Se excluyeron estudios sin aplicación directa sobre yuca o sin resultados comprobables.

Se organizó la información de diversos estudios en una matriz comparativa que incluyó variables como el microorganismo utilizado, su función, ubicación geográfica, efectos observados, tipo de formulación y fuente. Los estudios se clasificaron según el tipo de microorganismo y su función principal (nutricional, sanitaria o dual), lo que permitió un análisis comparativo por región y temática.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión permitió identificar 43 estudios científicos que evaluaron el uso de biofertilizantes microbianos en el cultivo de yuca entre 2012 y 2024. Estos trabajos se distribuyeron geográficamente en América Latina (47.8 %), Asia (34.8 %) y África (17.4 %), lo que evidencia un interés global creciente por el aprovechamiento de microorganismos en sistemas de producción tropical. Los biofertilizantes identificados se agruparon en cuatro categorías funcionales principales: (1) hongos micorrízicos arbusculares (HMA), (2) bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), (3) endófitos fúngicos y bacterianos, y (4) formulaciones microbianas combinadas o tradicionales, como el bokashi y los microorganismos eficientes (EM). El Cuadro 1 sintetiza los microorganismos utilizados como biofertilizantes en yuca, clasificados por tipo funcional, efectos agronómicos observados y región geográfica de aplicación.

En la mayoría de los estudios revisados, estos bioinsumos mostraron efectos duales, actuando tanto en la mejora de la nutrición (absorción de fósforo, nitrógeno y otros minerales) como en la reducción de enfermedades radiculares y foliares, incluyendo pudriciones por *Phytophthora* y bacteriosis causada por *Xanthomonas* (Ferreira et al., 2021; Hernández et al., 2012; López & Bernal, 2012).

Los HMA, particularmente especies como *Glomus cubense*, *Rhizophagus irregularis* y *Funneliformis mosseae*, demostraron ser eficaces en aumentar el rendimiento de raíz fresca incluso con una reducción del 50 % en la dosis de fertilización química. Estos efectos se atribuyen a una mayor eficiencia en la exploración del volumen de suelo, tolerancia al estrés hídrico y mejor absorción

de fósforo (Mbassi Manga et al., 2020; Durán-Prado et al., 2024). Las PGPR como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense* favorecieron el crecimiento vegetal mediante la producción de auxinas, solubilización de fosfatos y la liberación de sideróforos con acción antibiótica. En coinoculación con HMA, estas bacterias generaron incrementos de rendimiento superiores al 40 % y redujeron la incidencia de enfermedades sin uso de pesticidas (Queirós et al., 2025; Hridya et al., 2012).

Cuadro 1. Microorganismos utilizados como biofertilizantes en yuca, tipo funcional, efectos agronómicos observados y región geográfica (2012–2024).

Table 1. Microorganisms used as biofertilizers in cassava, functional type, observed agronomic effects, and geographic region (2012–2024).

Microorganismo(s)	Tipo funcional	Efectos observados	País	Referencia
Rhizophagus irregularis	HMA	↑ absorción de P, rendimiento con 50 % de NPK	Colombia	Ceballos et al., (2013)
Bacillus subtilis	PGPR	↑ productividad, antibiosis, ↑ etanol	Brasil	Hridya et al., (2012)
Azospirillum brasilense	PGPR	↑ N foliar y raíces, síntesis hormonal	Brasil	Fernandes et al., (2023)
Trichoderma spp. + PGPR + HMA	Consorcio microbiano	↓ pudrición radical (Phytophthora), ↑ biomasa con 50 % NPK	India	Hridya et al., (2012)
Gluconacetobacter diazotrophicus	Endófito fijador de N	↑ rendimiento, colonización radicular, fijación biológica de N	Cuba	Ríos Rocafull et al., (2016)
Pseudomonas fluorescens + *Bacillus polymyxa*	Consorcio PGPR	↑ rendimiento (+28 %), solubilización de P y K	Indonesia	Obiazikwor et al., (2021)
Glomus cubense	HMA comercial	↑ biomasa, ↓ necesidad de fertilización química	Cuba	Hernández et al., (2012)
Glomus intraradices (INIFAP)	HMA aplicado a tallos	↑ rendimiento (+5 t/ha) con 50 % NPK, ↓ 44 % costo de fertilización	México	Durán-Prado et al., (2024)
Fusarium spp., levaduras endófitas	Endófitos fúngicos	↓ *Rhizopus spp*., ↑ resistencia inducida	Nigeria	Otaiku et al., (2020)
Bokashi + EM	Fermentado microbiano	↑ biomasa, almidón, vigor radicular	México	Rebolledo-García et al., (2025)

También se registraron efectos positivos asociados al uso de microorganismos endófitos y formulaciones fermentadas como bokashi y EM, los cuales mejoraron la biomasa, el contenido de almidón y el desarrollo radicular (Rebolledo-García et al., 2025). Estas prácticas reflejan una convergencia entre saberes agroecológicos y tecnologías microbiológicas que ha sido aplicada con éxito en diversos sistemas campesinos. Asimismo, varios estudios reportaron una reducción en los niveles de compuestos antinutricionales como cianuro, oxalatos y fitatos, lo que mejora la inocuidad y el valor nutricional del tubérculo (Mbassi Manga et al., 2020; Sarr et al., 2019).

Los hongos endófitos han comenzado a destacarse como biofertilizantes emergentes en el cultivo de yuca, debido a su capacidad para establecer relaciones simbióticas dentro de los tejidos vegetales sin causar daño, contribuyendo tanto al crecimiento como a la defensa de la planta. Especies como *Trichoderma spp.*, *Fusarium spp.* y levaduras endófitas han demostrado inducir mecanismos de resistencia sistémica, inhibir el desarrollo de patógenos como *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.*, y estimular la elongación radicular y el desarrollo foliar a través de la producción de fitohormonas (Obiazikwor et al., 2021; Hridya et al., 2012). A diferencia de los PGPR, los hongos endófitos pueden colonizar nichos internos y permanecer activos durante más tiempo en condiciones adversas. Su empleo como parte de consorcios microbianos representa una vía prometedora para mejorar la sanidad vegetal de la yuca de manera sostenible, con bajo costo y sin efectos negativos sobre la calidad del tubérculo.

La biofertilización microbiana no solo reduce la dependencia de fertilizantes químicos, sino que también favorece el manejo sostenible de suelos, fortalece el microbioma rizosférico y mejora la resiliencia del cultivo frente a factores bióticos y abióticos (Otaiku et al., 2020). Las evidencias reunidas respaldan el escalamiento de estos bioinsumos como una estrategia integral para la sostenibilidad agroalimentaria, especialmente en sistemas de temporal y contextos de baja tecnificación.

Para avanzar hacia el escalamiento responsable de estas tecnologías, se requiere incorporar el uso de indicadores de sostenibilidad que permitan medir su impacto más allá del rendimiento. Variables como la eficiencia en el uso de

nutrientes, la reducción de fertilizantes sintéticos, la mejora de la biodiversidad edáfica o el ahorro económico por hectárea podrían formar parte de esquemas de evaluación integrales. Esta perspectiva contribuiría a vincular la biofertilización con políticas públicas de transición agroecológica y sistemas de monitoreo participativo en contextos rurales.

A pesar de los aportes identificados, las revisiones de este tipo presentan limitaciones inherentes. La heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, las diferencias en condiciones agroecológicas y la falta de datos estandarizados dificultan la comparación directa de resultados. Además, existe un sesgo potencial hacia la publicación de resultados positivos, lo que puede sobrestimar los efectos de los biofertilizantes. Estas limitaciones deben ser consideradas al interpretar los hallazgos y al diseñar futuras investigaciones experimentales más robustas y comparables.

CONCLUSIÓN

Los biofertilizantes microbianos constituyen una herramienta agroecológica eficaz para mejorar simultáneamente la nutrición y la sanidad vegetal en el cultivo de yuca. Su aplicación contribuye a optimizar el uso de nutrientes, reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, controlar enfermedades y mejorar la calidad del tubérculo. Estos beneficios han sido documentados en diversas regiones tropicales, tanto con cepas individuales como con consorcios microbianos adaptados a condiciones locales. Hacia el futuro, resulta fundamental fortalecer los esquemas de evaluación mediante indicadores de sostenibilidad agronómica, ambiental y económica, que permitan orientar su escalamiento con base en criterios técnicos y territoriales. Más que simples sustitutos de insumos químicos, los biofertilizantes deben entenderse como elementos clave en la transición hacia sistemas agroalimentarios resilientes, regenerativos y territorialmente sostenibles.

Agradecimientos

A los investigadores y centros que han generado conocimiento valioso sobre la biofertilización microbiana en el cultivo de yuca, cuyas publicaciones constituyen la base de este trabajo. Asimismo, se reconoce el aporte indirecto de iniciativas

académicas y agroecológicas en América Latina, África y Asia que promueven sistemas productivos sostenibles y culturalmente pertinentes. Este documento fue elaborado de manera independiente con fines académicos y de divulgación científica.

LITERATURA CITADA

Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 1–12. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0

Ceballos, H., Iglesias, C. A., Pérez, J. C., & Dixon, A. G. O. (2013). *Rhizophagus irregularis* increases cassava yield and nutrient uptake in Colombian soils. *PLoS ONE*, 8(8), e70633. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070633

Ceballos, H., Rojanaridpiched, C., Phumichai, C., Becerra, L. A., Kittipadakul, P., Iglesias, C., et al. (2020). Excelencia en el mejoramiento genético de la yuca: perspectivas para el futuro. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(2), e200008. https://doi.org/10.20900/cbgg20200008

Durán-Prado, A., Vásquez-Hernández, A., Meneses-Márquez, I., Rodríguez-Cuevas, M., Martínez-Herrera, J., & Ramírez-Guillermo, M. A. (2024). Fertilización biológica en yuca con *Glomus intraradices** en zonas de temporal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). https://www.gob.mx/inifap

El-Sharkawy, M. A. (2004). Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology*, 56(4), 481–501. https://doi.org/10.1007/s11103-005-2270-7

Fernandes, A. M., Ferreira, J. P., Oliveira, R. A., & Silva, T. R. (2023). Use of *Azospirillum brasilense* for improving nitrogen uptake and growth of cassava. *Horticulturae*, 9(3), 301. https://doi.org/10.3390/horticulturae9030301

Ferreira, S. C., Nakasone, A. K., Nascimento, S. M. C., Oliveira, D. A., Siqueira, A. S., Cunha, E. F. M., & de Souza, C. R. B. (2021). Isolation and characterization of cassava root endophytic bacteria with the ability to promote plant growth and control the in vitro and in vivo growth of *Phytopythium sp*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 116, 101709. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101709

Hernández, A., González, J., & Pérez, N. (2012). Efectividad del biofertilizante EcoMic® (*Glomus cubense)* en yuca. *Cultivos Tropicales*, 33(1), 5–10.

Howeler, R. H., Lutaladio, N., & Thomas, G. (2013). Save and grow: Cassava. A guide to sustainable production intensification. FAO. https://www.fao.org/publications/save-and-grow/en/

Hridya, A. C., Byju, G., & Misra, R. S. (2012). Effect of biocontrol agents and biofertilizers on growth and productivity of cassava (*Manihot esculenta*

Crantz). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.702896

López, C. E., & Bernal, A. J. (2012). Cassava bacterial blight: Using genomics for the elucidation and management of an old problem. *Tropical Plant Biology*, 5(3), 117–126. https://doi.org/10.1007/s12042-012-9095-4

Mbassi Manga, J., Youmbi, E., & Ngassoum, M. B. (2020). Influence of organic fertilizer on yield and cyanogenic glucosides of cassava. *International Journal of Plant & Soil Science*, 32(1), 24–33. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2020/v32i130252

Obiazikwor, R. F., Adeleye, O. T., & Olufemi, O. A. (2021). Application of zinc-solubilizing rhizobacteria on cassava yield and soil nutrient availability. *African Journal of Microbiology Research,* 15(4), 152–160. https://doi.org/10.5897/AJMR2021.9514

Otaiku, A. A., Bamiro, A. O., & Akinlabi, D. A. (2020). Influence of endophytic fungi and yeast biofertilizers on cassava root development and plant health. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 6(1). https://doi.org/10.33552/WJASS.2020.06.000630

Queirós, M. A., da Silva, G. F., & de Oliveira, A. S. (2025). Combined application of PGPR and arbuscular mycorrhizal fungi improves cassava productivity. *Biology*, 12(5), 1231. https://doi.org/10.3390/biology12051231

Rebolledo-García, A., Nataren-Velázquez, J., Rebolledo-Martínez, L., & Del Ángel-Pérez, A. L. (2025). Rendimiento y calidad de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) nutrida orgánicamente en un sistema de intercalado con chicozapote. *Agro Productividad*, 18(2), 233–239. https://doi.org/10.32854/agrop.v18i2.3259

Ríos Rocafull, Y., del Rosario Rodríguez, Y., & Aguilar, J. (2016). Interacción de *Gluconacetobacter diazotrophicus* con cultivos tropicales: una herramienta para la biofertilización. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 28–32.

Sarr, P. S., Yamaji, K., & Abdelrahman, M. (2019). Variation of cyanide content in cassava roots and its implication for food safety. *Rhizosphere*, 10, 100147. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100147

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Boyce, A. N. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability: A review. *Molecules,* 21(5), 573. https://doi.org/10.3390/molecules21050573