DOI: https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0243

LA YUCA (*Manihot esculenta Crantz*): REVISIÓN DEL USO DE BIOFERTILIZANTES Y SU IMPACTO EN LA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN ECUADOR

CASSAVA (*Manihot esculenta Crantz*): A REVIEW OF THE USE OF BIOFERTILIZERS AND THEIR IMPACT ON SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ECUADOR

Castro-Landín Alfredo Lesver [1]; Navarro-Salto Gema Elizabeth [2];
Pardo-Reyes Paola Stefanía [3]; Gras-Rodríguez René [4]

[1] Universidad Estatal del Sur de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental. Jipijapa, Ecuador. Correo: alfredo.castro@unesum.edu.ec. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6340-8749.

[2] Universidad Estatal del Sur de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental. Jipijapa, Ecuador. Correo: gema.navarro@unesum.edu.ec. ORCID ID: https://orcid.org/orcid.org/0009-0001-5603-7481

[3] Universidad Estatal del Sur de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental. Jipijapa, Ecuador. Correo: paola.pardo@unesum.edu.ec. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4384-0662

[4] Universidad Estatal del Sur de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental. Jipijapa, Ecuador. Correo: rene.gras@unesum.edu.ec. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6220-9422

Resumen

El cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz) es fundamental para la seguridad alimentaria y la economía rural en Ecuador, especialmente en la región costa y la provincia de Manabí. Sin embargo, los rendimientos actuales están muy por debajo de su potencial debido a factores como la baja fertilidad de los suelos y el uso limitado de tecnologías sostenibles. Este artículo revisa el impacto del uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como biofertilizantes en el cultivo de la yuca, destacando los beneficios en términos de incremento de rendimientos, reducción en el uso de fertilizantes químicos, beneficios ambientales y económicos, y su aplicabilidad en Manabí. Los HMA han demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar la absorción de nutrientes, restaurar suelos degradados y disminuir la huella de carbono en sistemas agrícolas tropicales. La implementación de HMA en Ecuador representa una estrategia viable para promover una agricultura más competitiva y sostenible.

Palabras clave: Yuca, hongos micorrízicos arbusculares, biofertilizantes, agricultura sostenible, Ecuador, Manabí.

Abstract

The cultivation of cassava (Manihot esculenta Crantz) is essential for food security and rural economy in Ecuador, especially in the coastal region and the province of Manabí. However, current yields are far below their potential due to factors such as low soil fertility and limited use of sustainable technologies. This article reviews the impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as biofertilizers in cassava cultivation, highlighting the benefits in terms of yield increase, reduced chemical fertilizer use, environmental and economic advantages, and applicability in Manabí. AMF have proven to be effective tools for optimizing nutrient uptake, restoring degraded soils, and reducing the carbon footprint in tropical agricultural systems. The implementation of AMF in Ecuador represents a viable strategy to promote more competitive and sustainable agriculture.

Keywords: Cassava, arbuscular mycorrhizal fungi, biofertilizers, sustainable agriculture, Ecuador, Manabí.

Información del manuscrito:
Fecha de recepción: 16 de octubre de 2024.
Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2024.
Fecha de publicación: 10 de enero de 2025.

1. Introducción

La yuca (Manihot esculenta Crantz) es un cultivo de gran relevancia económica y alimentaria a nivel mundial, sirviendo como fuente principal de carbohidratos para más de 800 millones de personas en países en desarrollo (FAO, 2019). En Ecuador, especialmente en la región costa y la provincia de Manabí, la yuca es fundamental para la seguridad alimentaria y el sustento económico de numerosas familias campesinas, utilizándose tanto para consumo humano como en la industria alimentaria y la alimentación animal (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020).

En Manabí, el cultivo de yuca es una tradición arraigada en las comunidades rurales, integrándose en sistemas de policultivo junto con maíz, plátano y otros cultivos tropicales. Sin embargo, los rendimientos promedio, que oscilan entre 8 y 10 t/ha, están por debajo del potencial agronómico, el cual puede superar las 35 t/ha en condiciones óptimas de manejo (Carpio, 2022).

Diversos factores contribuyen a estos bajos rendimientos, incluyendo la limitada disponibilidad de insumos agrícolas, el uso ineficiente de fertilizantes químicos y la degradación de los suelos debido a prácticas agrícolas intensivas (Carreón Abud, 2017). Esta situación se agrava por las condiciones de pobreza rural, la escasa tecnificación y el acceso restringido a tecnologías sostenibles.

En este contexto, el uso de biofertilizantes, como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se presenta como una alternativa prometedora para mejorar la productividad de la yuca de manera sostenible. Los HMA son hongos del suelo que establecen asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, incrementando la eficiencia en la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y mejorando la resistencia del cultivo frente a factores adversos como sequías y patógenos (Hernández-Acosta et al., 2021).

A nivel global, se han reportado incrementos significativos en el rendimiento de la yuca mediante la combinación de HMA con dosis óptimas de fertilizantes minerales,

además de una reducción en la dependencia de estos últimos (Carreón Abud, 2017). Sin embargo, en Ecuador, el conocimiento sobre el uso de estas tecnologías sigue siendo limitado, a pesar de que su implementación podría contribuir a enfrentar desafíos como la pérdida de fertilidad de los suelos y el impacto ambiental de los fertilizantes químicos (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020).

Este artículo tiene como objetivo analizar y sintetizar los hallazgos de investigaciones recientes sobre el uso combinado de HMA y fertilizantes en el cultivo de la yuca, con especial énfasis en las condiciones agroecológicas de la región costa del Ecuador y la provincia de Manabí. Se busca destacar las tendencias y avances en el uso de biofertilizantes como una herramienta para promover una agricultura sostenible y competitiva, alineada con las necesidades de los agricultores locales.

2. Materiales y métodos

2.1 Criterios de Selección de Estudios

Los estudios incluidos en esta revisión se seleccionaron de bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, y Google Scholar, además de fuentes locales como reportes técnicos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador. Se priorizaron investigaciones publicadas entre 2010 y 2023 con los siguientes criterios:

1. Evaluación del efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de la yuca en condiciones tropicales.
2. Comparación de tratamientos con fertilizantes químicos versus combinaciones con HMA.
3. Resultados relacionados con el rendimiento del cultivo, absorción de nutrientes, sostenibilidad ambiental y beneficios económicos.
4. Estudios realizados en suelos similares a los encontrados en la región costa de Ecuador, con

especial énfasis en la provincia de Manabí.

2.2 Fuentes de Información

Se recopilaron datos de:

- Experimentos de campo realizados en la provincia de Manabí por el INIAP, evaluando la interacción entre dosis de fertilizantes NPK y biofertilizantes.
- Publicaciones académicas sobre el uso de HMA en sistemas tropicales.
- Reportes técnicos de organismos internacionales, como la FAO y el CIAT, sobre el uso de biofertilizantes en yuca.

2.3 Análisis de Datos

Los datos se sistematizaron en función de:

- **Incrementos en el rendimiento agrícola:** Expresados en toneladas por hectárea.
- **Reducción de fertilizantes químicos:** Expresada como porcentaje de reducción en kg/ha de NPK.
- **Evaluaciones económicas:** Costo-beneficio de la implementación de HMA frente a tratamientos convencionales.
- **Impacto ambiental:** Incluyendo mejoras en la estructura del suelo, eficiencia en la absorción de nutrientes, y reducción de lixiviación.

2.4 Resultados de Estudios Relevantes

A continuación, se presenta un resumen de experimentos realizados en diferentes localidades tropicales para evaluar el impacto del uso de HMA en el cultivo de la yuca:

***Tabla 1**. Efecto de la inoculación con HMA en el rendimiento de yuca en diferentes localidades*

Localidad	Tratamiento	Rendimiento (t/ha)	Incremento (%)	Referencia
Cuba	Inoculación con EcoMic®	19.1	32.6	Hernández et al. (2012)
México	HMA + fertilización NPK	25.0	25.0	Medina et al. (2012)
Colombia	HMA + biofertilizantes	22.5	35.0	Rodríguez et al. (2018)

***Nota**: El incremento (%) se calcula en comparación con el tratamiento control sin inoculación.*

2.5 Limitaciones

- La heterogeneidad de los suelos en Manabí puede influir en la efectividad de los HMA, requiriendo una adaptación específica por localidad.
- Disponibilidad y costo de biofertilizantes en zonas rurales.

3. Resultados y discusión

En esta sección se analizan los hallazgos obtenidos en estudios recientes sobre el efecto del uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de la yuca. Estos estudios destacan los incrementos en el rendimiento del cultivo, la reducción en el uso de fertilizantes químicos, y los beneficios económicos y ambientales derivados de la implementación de HMA en regiones tropicales.

3.1 Incrementos en el Rendimiento Agrícola

El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ha demostrado ser una herramienta eficaz para incrementar la productividad del cultivo de yuca en diferentes contextos agroecológicos. Por ejemplo, el hongo Rhizophagus irregularis ha generado resultados significativos en Colombia, donde el rendimiento del cultivo mejoró considerablemente incluso con la aplicación de dosis reducidas de fósforo. Este hongo optimiza la absorción de nutrientes esenciales, promoviendo un crecimiento más eficiente y sostenible, lo que resalta su potencial en sistemas agrícolas con recursos limitados (Ceballos et al., 2013).

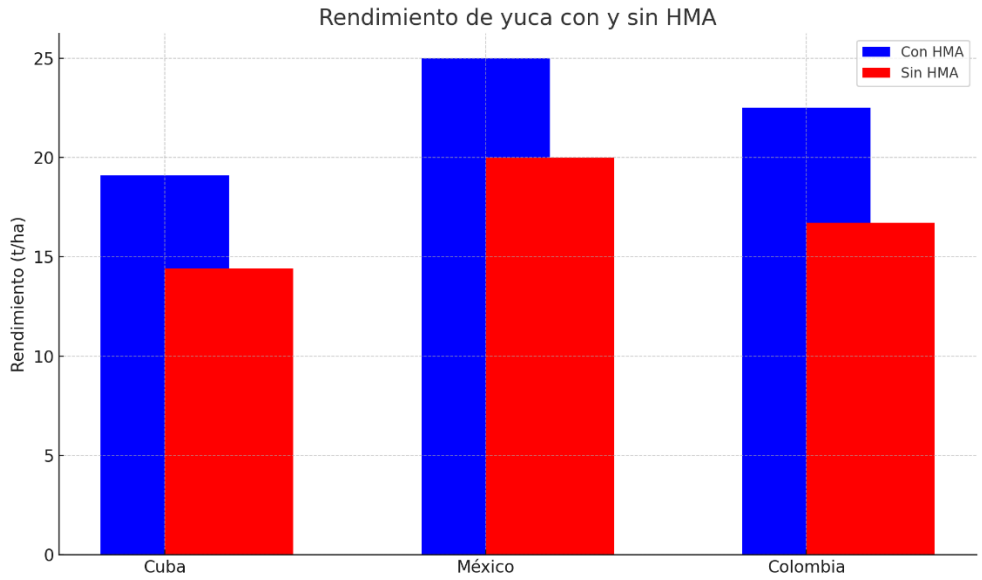
En África Occidental, los HMA nativos también han jugado un papel fundamental en el fortalecimiento de la resiliencia del cultivo frente a condiciones adversas. Especies como Acaulospora colombiana y Ambispora appendicula han sido identificadas como agentes clave para mejorar el crecimiento de la yuca y su tolerancia al estrés hídrico. Estos hongos no solo facilitan la absorción de agua y nutrientes, sino que también contribuyen a la estabilidad del ecosistema agrícola, favoreciendo un manejo más sostenible del suelo (Séry et al., 2016).

Estas evidencias subrayan la importancia de los HMA como

aliados en la producción de yuca, ofreciendo soluciones adaptativas que aumentan tanto la productividad como la sostenibilidad en diferentes entornos agrícolas.

Asimismo, el uso combinado de HMA y fertilizantes NPK ha mostrado incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de yuca en diversos estudios. En Cuba, la inoculación con el biofertilizante EcoMic® produjo un aumento del 32.6 % en la producción, alcanzando rendimientos de 19.1 t/ha en comparación con los 14.4 t/ha obtenidos en el control sin inoculación (Hernández et al., 2012). De manera similar, en México, la combinación de HMA con fertilización NPK incrementó el rendimiento en un 25 %, alcanzando 25 t/ha (Medina et al., 2012). En Colombia, resultados consistentes mostraron un aumento del 35 %, con un rendimiento final de 22.5 t/ha cuando se emplearon HMA junto con biofertilizantes (Rodríguez et al., 2018).

Figura 1. *Incremento en el rendimiento de yuca con y sin HMA en tres localidades.*



Nota. El gráfico muestra el aumento del rendimiento (t/ha) al utilizar HMA en comparación con el control (sin HMA) en Cuba, México y Colombia. Los datos indican un incremento promedio del 32 % al emplear HMA. Fuente: Hernández et al. (2012), Medina et al. (2012), Rodríguez et al. (2018).

3.2 Reducción en el Uso de Fertilizantes Químicos

La implementación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir significativamente la cantidad de fertilizantes químicos aplicados sin

comprometer los rendimientos del cultivo. Por ejemplo, en Cuba, el tratamiento con EcoMic® permitió disminuir en un 50 % la cantidad de fertilizantes NPK aplicados, manteniendo niveles altos de productividad (Hernández et al., 2012). De manera similar, en México, la combinación de HMA con el 50 % de la dosis estándar de NPK alcanzó rendimientos comparables a los obtenidos con el 100 % de NPK en sistemas convencionales, evidenciando un importante ahorro en insumos químicos (Medina et al., 2012).

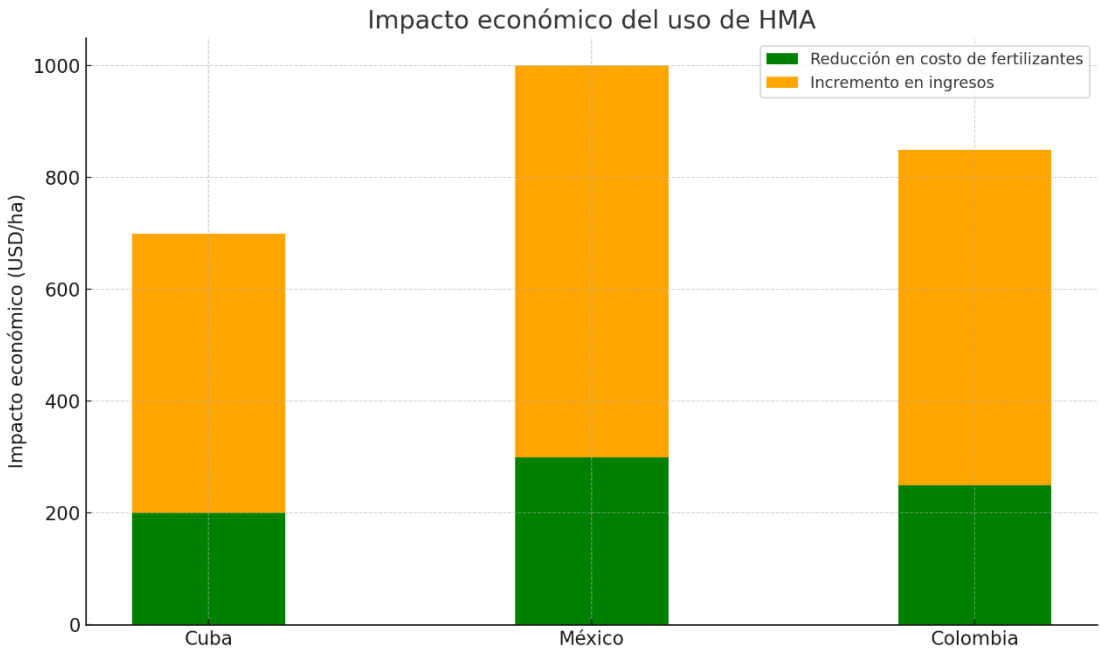
En regiones con suelos de baja fertilidad, como Kenia y Tanzania, los HMA han optimizado el uso de fósforo, superando las limitaciones asociadas con la inhibición de su absorción en suelos tropicales. En estos ensayos, se logró reducir las dosis de fósforo aplicado manteniendo rendimientos elevados, lo que reafirma la eficiencia de los HMA en contextos agrícolas desafiantes (Peña Venegas et al., 2021).

Por otro lado, el uso de HMA nativos ha mostrado su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes esenciales, reduciendo así la dependencia de fertilizantes químicos. Estas estrategias, aplicadas en suelos con baja disponibilidad de fósforo, no solo promueven una agricultura más sostenible, sino que también fomentan un manejo más eficiente de los recursos naturales (Kang et al., 1980).

3.3 Impactos Económicos

El uso de HMA genera beneficios económicos tangibles al disminuir los costos de fertilización química y al aumentar los ingresos derivados de mayores rendimientos. Por ejemplo, en un estudio realizado en México, la reducción en el uso de fertilizantes representó un ahorro del 30 % en los costos de producción. Al mismo tiempo, los ingresos netos se incrementaron en un 20 % gracias a la mejora en los rendimientos agrícolas, demostrando que la implementación de HMA es una inversión rentable para los agricultores (Medina et al., 2012).

Figura 2. *Impacto económico del uso de HMA en tres localidades.*



Nota. El gráfico desglosa el impacto económico del uso de HMA en términos de reducción de costos de fertilizantes y aumento de ingresos por rendimientos incrementados en tres localidades. Fuente: Hernández et al. (2012), Medina et al. (2012), Rodríguez et al. (2018).

3.4 Beneficios Ambientales

El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) aporta múltiples beneficios ambientales que refuerzan su relevancia en la agricultura sostenible. Una de sus principales contribuciones es la mejora de la estructura del suelo, promoviendo la formación de agregados estables que incrementan la retención de agua y nutrientes, fundamentales para el desarrollo del cultivo en suelos con baja fertilidad.

Además, los HMA contribuyen a reducir la lixiviación de nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio, al optimizar la eficiencia en su absorción por las plantas. Esto minimiza las pérdidas de nutrientes hacia los cuerpos de agua cercanos, lo que no solo mejora la eficiencia del uso de fertilizantes, sino que también reduce el impacto ambiental asociado a la contaminación por nutrientes (Hernández-Acosta et al., 2021).

Otro aspecto relevante es la disminución de la huella de carbono. Al sustituir parcialmente los fertilizantes químicos por biofertilizantes como los HMA, se reduce la dependencia de insumos cuya producción implica altos costos energéticos y emisiones

significativas de gases de efecto invernadero (Carreón Abud, 2017).

Estos beneficios se han observado en estudios específicos. En África, la aplicación de HMA en sistemas de cultivo ha demostrado su capacidad para restaurar suelos degradados, aumentando la retención de agua y nutrientes esenciales y mejorando la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas (De Bauw et al., 2021). En Camerún, se ha evidenciado una relación estrecha entre la biodiversidad de HMA y las propiedades del suelo, lo que resalta su potencial para incrementar la productividad de la yuca mediante una gestión adecuada de estos microorganismos (Sarr et al., 2019).

En conjunto, los HMA se consolidan como una herramienta clave no solo para optimizar la producción agrícola, sino también para mitigar los impactos ambientales asociados a la agricultura convencional, promoviendo un equilibrio entre productividad y sostenibilidad.

3.5 Aplicabilidad en la Provincia de Manabí

A pesar de que los estudios específicos sobre el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la provincia de Manabí son limitados, las condiciones agroecológicas de la región sugieren un alto potencial para su aplicación en los sistemas de cultivo locales. Los suelos de baja fertilidad, característicos de la región, junto con el predominio de prácticas agrícolas tradicionales, hacen de la incorporación de HMA una estrategia viable para mejorar la productividad de la yuca de manera sostenible. En este contexto, las investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) representan un punto de partida valioso para el diseño de programas piloto que promuevan el uso de estas tecnologías en la provincia.

La experiencia acumulada en otras regiones refuerza la viabilidad del uso de HMA en contextos similares al de Manabí. Por ejemplo, en Colombia, la gestión de suelos ácidos en ecosistemas de sabana ha mostrado resultados prometedores con la incorporación de HMA en cultivos de yuca. Estos hongos no solo mejoraron la fertilidad del suelo, sino que también contribuyeron a incrementar los rendimientos de manera sostenible (Dodd et al., 1990).

De manera similar, investigaciones realizadas en Manokwari, Indonesia, evidenciaron una alta colonización de HMA en los suelos locales. Este hallazgo confirma la adaptabilidad de estos microorganismos a diferentes condiciones agroecológicas y destaca su papel fundamental en el fortalecimiento de los sistemas agrícolas regionales. En esta región, los HMA demostraron ser efectivos para optimizar la absorción de nutrientes esenciales, fomentando la sostenibilidad del manejo agrícola (Suparno et al., 2023).

En resumen, la implementación de HMA en Manabí representa una oportunidad para potenciar la productividad de la yuca y contribuir a la sostenibilidad ambiental, especialmente en suelos con limitaciones nutricionales. Aprovechar la adaptabilidad de estos hongos y su capacidad para integrarse en sistemas agrícolas diversos puede transformar las prácticas agrícolas locales, promoviendo tanto la resiliencia como la competitividad de los agricultores de la región.

Discusión y Conclusiones

El análisis detallado del uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de la yuca ha permitido identificar múltiples beneficios en términos de productividad, sostenibilidad y viabilidad económica. A continuación, se presentan las principales conclusiones de esta revisión:

Incremento en la Productividad Agrícola

El uso de HMA ha demostrado ser una herramienta eficaz para incrementar el rendimiento del cultivo de yuca en diversas regiones agroecológicas. Por ejemplo, en Colombia, el hongo Rhizophagus irregularis generó incrementos significativos en los rendimientos, incluso con dosis reducidas de fósforo, al optimizar la absorción de nutrientes esenciales (Ceballos et al., 2013). En África Occidental, especies como Acaulospora colombiana y Ambispora appendicula mejoraron la tolerancia de la yuca al estrés hídrico y fortalecieron la resiliencia del cultivo frente a condiciones adversas (Séry et al., 2016).

En otros estudios, como los realizados en Cuba, México y Colombia, el uso combinado de HMA y fertilizantes NPK incrementó los

rendimientos entre un 25 % y un 35 %, mostrando la capacidad de estas asociaciones simbióticas para potenciar la productividad agrícola en sistemas con recursos limitados (Hernández et al., 2012; Medina et al., 2012; Rodríguez et al., 2018).

Reducción en el Uso de Fertilizantes Químicos

Los HMA también han demostrado su capacidad para reducir significativamente la necesidad de fertilizantes químicos, especialmente fósforo, sin comprometer los rendimientos. En Cuba, la aplicación de EcoMic® permitió disminuir en un 50 % la cantidad de NPK utilizada, mientras que en México, la combinación de HMA con el 50 % de NPK alcanzó rendimientos equivalentes al uso convencional del 100 % de NPK (Hernández et al., 2012; Medina et al., 2012).

En Kenia y Tanzania, los HMA superaron las limitaciones asociadas con la inhibición por fósforo en suelos tropicales, optimizando la absorción de este nutriente y manteniendo altos niveles de productividad (Peña Venegas et al., 2021). Estas estrategias promueven un manejo más sostenible del suelo y una menor dependencia de fertilizantes químicos, con beneficios económicos y ambientales.

Beneficios Ambientales

Desde un enfoque ambiental, los HMA contribuyen de manera significativa a la sostenibilidad agrícola. Su aplicación mejora la estructura del suelo, promoviendo la formación de agregados estables que incrementan la retención de agua y nutrientes. Además, los HMA reducen la lixiviación de nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio, minimizando el impacto ambiental asociado con la contaminación de cuerpos de agua (Hernández-Acosta et al., 2021).

El uso de HMA también disminuye la huella de carbono al reducir la dependencia de fertilizantes químicos, cuya producción genera emisiones de gases de efecto invernadero (Carreón Abud, 2017). En África, su aplicación en suelos degradados ha restaurado la productividad del suelo, mientras que en Camerún se ha demostrado que la biodiversidad de HMA está estrechamente relacionada con las propiedades del suelo, destacando su importancia para la sostenibilidad

agrícola (De Bauw et al., 2021; Sarr et al., 2019).

Aplicabilidad en la Provincia de Manabí

En Manabí, la diversidad agroecológica, que incluye áreas con suelos de baja fertilidad y prácticas agrícolas tradicionales, representa un entorno adecuado para implementar tecnologías basadas en HMA. Estas condiciones hacen del uso de HMA una estrategia viable para potenciar la productividad de la yuca y mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas locales.

Estudios en Colombia han demostrado la eficacia de los HMA en suelos ácidos de ecosistemas de sabana, mejorando la fertilidad del suelo y los rendimientos del cultivo de manera sostenible (Dodd et al., 1990). De manera similar, investigaciones en Indonesia han evidenciado una alta colonización por HMA en suelos locales, confirmando su adaptabilidad a diferentes contextos agroecológicos y su capacidad para fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas (Suparno et al., 2023).

La implementación de HMA en Manabí podría transformar las prácticas agrícolas de la región, ofreciendo soluciones sostenibles que beneficien tanto a la productividad como al medio ambiente.

Perspectivas y Recomendaciones

1. **Investigación aplicada:** Es crucial realizar estudios locales que evalúen la eficacia de cepas nativas y comerciales de HMA bajo las condiciones específicas de Manabí.
2. **Programas piloto:** Desarrollar programas piloto en colaboración con instituciones como el INIAP para validar y promover el uso de HMA entre pequeños agricultores.
3. **Capacitación y divulgación:** Implementar talleres y campañas de sensibilización para informar a los agricultores sobre los beneficios económicos, ambientales y productivos del uso de HMA.

4. Conclusiones

El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representa una herramienta integral para incrementar la productividad de la yuca, reducir la dependencia de

insumos químicos y mitigar los impactos ambientales de la agricultura convencional. Su implementación en Manabí y en otras regiones tropicales puede contribuir significativamente al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles, resilientes y competitivos.

Bibliografía

Carpio, C. P. (2022). Ecuadorian food: Muchines de yuca. Recuperado de https://visitecuadorandsouthamerica.com/en/ecuadorian-food-muchines-de-yuca/

Carreón Abud, Y. (2017). Beneficios de los hongos micorrícicos arbusculares en la agricultura. Saber Más. Recuperado de https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/90-numero-12/178-beneficios-de-los-hongos-micorricicos-arbusculares-en-la-agricultura.html

Ceballos, I., Ruiz, M., Fernández, C., Peña, R., Rodríguez, A., Sanders, I. R., & Ferrol, N. (2013). The in vitro mass-produced model arbuscular mycorrhizal fungus Rhizophagus irregularis significantly increases yields of the globally important food security crop cassava. PLoS ONE, 8(8), e70633. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070633

De Bauw, P., Sanginga, N., Tondoh, J. E., & Merckx, R. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve soil structure and nutrient retention in degraded tropical soils. Soil Biology and Biochemistry, 155, 108180. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108180

Dodd, J. C., Arias, I., Koomen, I., & Hayman, D. S. (1990). The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. Plant and Soil, 122(2), 229–240. https://doi.org/10.1007/BF02851973

FAO. (2019). Cassava: A global perspective. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/ca7348en

Hernández, A., González, J., & Pérez, N. (2012). La efectividad del biofertilizante EcoMic® en el cultivo de la yuca. Cultivos Tropicales, 33(1), 5–10. Recuperado de https://www.scielo.sld.cu

Hernández-Acosta, E., Banuelos, J., & Trejo-Aguilar, D. (2021). Revisión: Distribución y efecto de los hongos micorrízicos en

el agroecosistema de café. Revista de Biología Tropical, 69(2), 445–460. https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.44812

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2020). Cuarta llamada práctica del cultivo de yuca se desarrolla en la provincia de Manabí. Recuperado de https://www.iniap.gob.ec/cuarta-llamada-practica-del-cultivo-de-yuca-se-desarrolla-en-la-provincia-de-manabi/

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2020). La yuca, uno de los rubros más importantes para la soberanía alimentaria. Recuperado de https://www.iniap.gob.ec/la-yuca-uno-de-los-rubros-mas-importante-para-la-soberania-alimentaria/

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2020). Yuca y camote. Recuperado de https://www.iniap.gob.ec/yuca-y-camote/

Kang, B. T., & Osiname, O. A. (1980). Nutrient requirements of cassava. International Institute of Tropical Agriculture. Recuperado de https://www.iita.org

Medina, A., Azcón, R., & Barea, J. M. (2012). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización en el crecimiento de yuca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(2), 315–328. Recuperado de https://www.scielo.org.mx

Peña Venegas, C. P., Herrera, M. A., Bonfante, P., & Andrade, G. (2021). Phosphorus efficiency and arbuscular mycorrhizal fungi: A sustainable approach for cassava cultivation in phosphorus-poor soils. Agriculture, Ecosystems & Environment, 319, 107554. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107554

Rodríguez, C., Sánchez, F., & Pérez, Y. (2018). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares en yuca. Boletín de Ciencias Agropecuarias, 16(2), 15–25. Recuperado de https://www.scielo.org.co

Sarr, A., Niang, A., Ndoye, I., & Gueye, M. (2019). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in cassava cultivation systems in Cameroon. Journal of Plant Nutrition, 42(15), 1752–1764. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1625779

Séry, D. J., Kouadio, J. P. E. N., Kouamé, F. N., Gnahoua, G. M., Kouadio, K. K. H., & Fofana, I. (2016). Native arbuscular mycorrhizal fungi improve cassava (Manihot esculenta Crantz) growth and tolerance to drought stress. African Journal of Biotechnology, 15(31), 1675–1684.

https://doi.org/10.5897/AJB2016.15440

Suparno, S., Pratiwi, A. E., & Marpaung, B. O. (2023). Colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in cassava cultivated in acidic soils of Manokwari, Indonesia. Mycorrhiza, 33(1), 15–24. https://doi.org/10.1007/s00572-022-01080-4