



Hongos micorrizógenos arbusculares y *Azotobacter chroococcum* en la producción de posturas de cocotero

Arbuscular mycorrhizal fungi and *Azotobacter chroococcum* in obtaining coconut seedlings

 Karen Alvarado-Ruffo¹,  Albaro Blanco-Imbert²,  Gloria M. Martín-Alonso³,
 Yoania Ríos-Rocafull⁴,  Ramón Capdesuñer-Rojas⁵,  Blanca M. de la Noval-Pons^{3*}

¹Universidad de Guantánamo, ave. Ernesto Che Guevara, km 1 ½ carretera a Jamaica. Reparto San Justo, Guantánamo, Cuba. CP 95100

²Instituto de Suelos Guantánamo, Departamento de Investigación, carretera 8 este, Ciudad Deportiva, Guantánamo, Cuba. CP 95100

³Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

⁴Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), calle 188 esq. 397, Santiago de la Vegas, Boyeros, La Habana, Cuba. CP10800

⁵Empresa Agropecuaria y Coco Baracoa, La Playa, Baracoa, Guantánamo. CP 95100, Cuba.

RESUMEN: El cocotero es un cultivo extendido, con importancia en la alimentación, la cosmética y la industria; sin embargo, su producción se ve afectada, entre otros factores, por el envejecimiento de las plantaciones, lo cual disminuye los niveles de productividad, por lo cual se hace imprescindible la obtención de posturas de calidad para la repoblación de las áreas de producción. Con el objetivo de estudiar el efecto combinado de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y cepas de *Azotobacter* en la producción de posturas de cocotero de alta calidad, se desarrolló un experimento en dos viveros de Baracoa, Guantánamo, Cuba, del cual se realizaron dos repeticiones en el tiempo. Se empleó el ecotipo domesticado de cocotero "Indio Verde-1" en dos suelos: Arenosol háplico (ARh) y Gleysol Flúvico háplico (GFLh), con la inoculación de tres cepas de HMA: *Glomus cubense*, *Rhizophagus irregularis* y *Funneliformis mosseae* y dos cepas de *Azotobacter*: *A. chroococcum* (CDM-1 aislada del suelo ARh y CDM-2 aislada del suelo GFLh). Se observó una respuesta diferencial de las especies de HMA en ambos suelos. La inoculación con *R. intraradices* favoreció el incremento de las variables germinación de las semillas, altura, diámetro del vástago y número de hojas, en el suelo ARh al combinarse su inoculación con la cepa *A. chroococcum* CDM-1, mientras que *G. cubense* fue el mejor tratamiento en el suelo GFLh, combinado con *A. chroococcum* CDM-2. A pesar de que se cuantificaron elevados niveles de las cepas autóctonas de HMA, en ambos suelos, las cepas inoculadas demostraron ser más eficientes que estas para la obtención de posturas de cocotero de calidad.

Palabras clave: *Cocos nucifera*, Mycorrhizae, Rizobacterias.

ABSTRACT: The coconut is a widely spread crop, with importance in food, cosmetics and industry; however, its production is affected, among other factors, by the aging of the plantations, which affects productivity levels, for which it is essential to obtain quality postures for the repopulation of the production areas. With the aim of studying the combined effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Azotobacter* strains in the production of high-quality coconut seedlings, an experiment was carried out in two nurseries in Baracoa, Guantánamo, Cuba, of which two repetitions in time. The domesticated coconut ecotype "Indio Verde-1" was used in two soils, Arenosol háplico (ARh) and Gleysol Flúvico háplico (GFLh), with the inoculation of three strains of AMF (*Glomus cubense*, *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*) and two of *A. chroococcum* (CDM-1 isolated from ARh soil and CDM-2 from GFLh soil). A differential response of AMF species was observed in both soils. The inoculation with *R. intraradices* favored the increase of the variables seed germination, height, stem diameter and number of leaves, in the ARh soil when its inoculation was combined with the strain *A. chroococcum* CDM-1, while *G. cubense* was the best soil treatment GFLh, combined with *A. chroococcum* CDM-2. Although high levels of autochthonous AMF strains were quantified in both soils (control), the inoculated strains proved to be more efficient than these for obtaining quality seedlings.

Key words: *Cocos nucifera*, Mycorrhizae, Rhizobacteria.

*Autor para correspondencia. bdelanov65@gmail.com

Recibido: 03/04/2023

Aceptado: 19/05/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Conceptualización-** Karen Alvarado-Ruffo, Blanca M. de la Noval-Pons. **Investigación-** Karen Alvarado-Ruffo, Yoania Ríos-Rocafull, Ramón Capdesuñer-Rojas. **Metodología-** Karen Alvarado-Ruffo, Blanca M. de la Noval-Pons. **Escritura del artículo-** Blanca M. de la Noval-Pons. **Curación de datos-** Karen Alvarado-Ruffo, Blanca M. de la Noval-Pons.

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

El cocotero es un cultivo de amplios usos lo que la convierten en una planta única. Tiene aplicaciones en la industria alimenticia (1, 2), como sustitutos de aceites y edulcorante (3), así como por su alto valor nutricional (4, 2). También, posee amplias aplicaciones en la industria cosmética (5-7), en la maderable y artesanal (8). Los subproductos como la fibra se emplean en la agricultura para la preparación de sustratos (9, 10), y en la pecuaria para la elaboración de aditivos para piensos (11). Además, tiene importantes aplicaciones en la medicina en enfermedades de la piel (12-14), cardiovascular (15-17) y esclerosis múltiple (18). Su empleo se ha extendido a más de 94 países de todo el mundo, proporcionando sustento para millones de personas en las regiones de Asia y el Pacífico (19). Sin embargo, en la mayoría de estos países se presenta un envejecimiento de las plantaciones que constituye la principal limitante para la obtención de altos rendimientos (20), efecto que se observa también en las plantaciones de Cuba. Esto produce afectaciones económicas para los productores y para las empresas que emplean sus derivados, como el aceite de coco, ya que tiene que importarlo de un mercado externo. Debido a esto se hace necesario la aplicación de tecnologías de producción de posturas de calidad, como paso crucial para la obtención de poblaciones vigorosas y productivas. La calidad del material de siembra determina en gran medida los rendimientos finales del coco, siendo la base para una producción exitosa (21).

El empleo de microorganismos, componentes activos de los biofertilizantes, puede representar una tecnología alternativa factible para mejorar el rendimiento de las plantas (22, 23). Las formulaciones efectivas de microorganismos de importancia agrícola, tales como fijadores de nitrógeno, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se han desarrollado como insumos valiosos para la producción de los cultivos (21).

Los HMA son el grupo microbiano de más amplia distribución geográfica de todos los microorganismos biofertilizantes con una gran adaptación a diversas condiciones de suelo (24). Desempeñan una importante función, contribuyendo de forma más eficiente a la supervivencia y crecimiento de las posturas, al jugar un papel crucial en la nutrición de las plantas (25, 26). Estudios realizados en la rizosfera de plantaciones adultas de cocotero han demostrado la rica diversidad de esta especie, cuyas raíces son colonizadas por los HMA (27).

Dentro de las PGPR se encuentra el género *Azotobacter*. Estas son bacterias asociativas de vida libre, con potencialidades entre las cuales se destacan la fijación de N y la producción de fitohormonas (28). También son antagonistas a patógenos del suelo (29), así como inductoras de resistencia sistémica en las plantas contra patógenos foliares y radicales (30).

En otros cultivos, diferentes al cocotero, se ha demostrado que la aplicación conjunta de los HMA y

Azotobacter promueven el crecimiento de las plantas (31, 32), por diferentes mecanismos como la regulación de hormonas de crecimiento vegetal (28) y la mejora de la nutrición (26) y constituyen un enfoque extremadamente útil para la agricultura sostenible, inclusive en ecosistemas afectados por algún estrés (33-35). El empleo conjunto de ambos grupos microbianos puede constituir una tecnología para la obtención de posturas de calidad, que conduzcan a plantaciones rejuvenecidas de alta productividad.

Por estas razones, se propuso como objetivo del presente trabajo estudiar el efecto combinado de los HMA y cepas de *Azotobacter* en la producción de posturas de cocotero de alta calidad, en vivero.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en los viveros de Playa Duaba con un suelo Arenosol háplico (ARh), y Cabacú con un suelo Gleysol Flúvico háplico (GFh), ambos del municipio Baracoa, Guantánamo, Cuba. Se empleó como sustrato la combinación Suelo: Humus de lombriz: Fibra de Coco (S:H:FC), en la relación 4:1:1 (v/v/v), teniendo en cuenta los resultados de trabajos previos (36). En cada vivero se empleó el suelo de la propia localidad para preparar los sustratos. Como control se emplearon sustratos conformados por la combinación de suelo y las fuentes orgánicas empleada en la proporción 1:1:1 v/v/v según se recomienda en el Instructivo técnico del cultivo del coco (37). Se realizó la caracterización parcial de los sustratos (38) y se cuantificó las poblaciones autóctonas de los HMA en cada tipo de suelo (39). En la [tabla 1](#) se muestra la caracterización parcial de los sustratos y los resultados de la cuantificación de las poblaciones autóctonas de HMA de los suelos.

Se empleó el ecotipo domesticado de cocotero "Indio Verde-1" (40), cuyas semillas fueron obtenidas de plantas madre sanas, las que fueron preparadas y sembradas según se refiere (36).

Se seleccionaron tres especies de HMA, las cuales procedieron del cepario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA): *Glomus cubense*, Y. Rodr. y Dalpé (41) cepa INCAM-4 (DAOM241198), con 92 esporas g⁻¹ de inóculo; *Rhizophagus irregularis* (Blaszk, Wubet, Renker y Buscot) Walker y Shüßler (42), cepa INCAM-11 (DAOM711363), con 73 esporas g⁻¹ de inóculo y *Funneliformis mosseae*, (Nicol. y Gerd.) Walker y Schüßler (42), cepa INCAM-2, con 57 esporas g⁻¹ de inóculo. Los inóculos se ajustaron para garantizar 215 esporas por semilla, (43). Para la aplicación se mezcló el inoculante con 600 mL de agua, en la cual se sumergió la semilla, por la parte de la entalladura, utilizando el método de recubrimiento de la semilla (44) con la modificación referida.

Todos los tratamientos inoculados con HMA fueron coinoculados con cepas de *A. chroococcum* pertenecientes al cepario del Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical (INIFAT), aisladas de los viveros que fueron objeto de estudio. En los

Tabla 1. Caracterización química parcial de los sustratos y poblaciones autóctonas de HMA de los suelos empleados

Sustrato	pH	MO	C/N	Poblaciones residentes de HMA
	(H ₂ O)	(g kg ⁻¹)		(esporas 50 g ⁻¹ suelo)
Vivero Playa Duaba (ARh)				
S: HL: FC (1:1:1)	7,46	320,4	17,21	923,33
S: HL: FC (4:1:1)	7,6	214	14,43	
Vivero Cabacú (GFh)				
S: HL: FC (1:1:1)	7,63	344,4	18	2676,67
S: HL: FC (4:1:1)	7,77	256	16,32	

Métodos: pH (H₂O), MO: materia orgánica; C/O relación Carbono/Nitrógeno (38); Poblaciones residentes de HMA (39)

tratamientos del vivero Playa Duaba se inoculó la cepa CDM-1 y en el vivero Cabacú la cepa CDM-2, en ambos casos, posterior a la inoculación de las especies de HMA, teniendo en cuenta los resultados de trabajos previos (36). Las cepas fueron preparadas según se refiere en el trabajo citado.

En el control no se realizó la inoculación de microorganismos. Se empleó un tratamiento adicional, conformado por la fertilización mineral (NPK 100 %) para lo que se empleó la fórmula completa 9:13:17 a razón de 45 g por semilla, fraccionado al 33 % a los 30 días posteriores a la siembra (dps) y el resto a los 90 dps, para evaluar el efecto de los HMA con respecto al control de la fertilización completa (37).

Se empleó un diseño en bloques al azar con tres réplicas. Cada parcela experimental dentro del bloque contenía 20 semillas sembradas a una distancia de 0,05 x 0,20 m.

El experimento tuvo una duración de 180 días. A los 120 dps se calculó el índice de velocidad de germinación (IVG) (36), según la fórmula:

$$IVG = \frac{\sum (\text{número de plantas germinadas a tiempo } n / \text{tiempo } n)}{n}$$

Para esta variable se calculó el por ciento de incremento de los tratamientos inoculados con relación al control.

A los 180 dps se muestrearon quince plantas por réplica y se evaluó la altura, el diámetro en la base del vástago, el número de hojas, el área foliar y la masa seca total (36). En la parte aérea se cuantificaron los contenidos de N, P y K (45).

Se realizó, además, la cuantificación de las variables micorrícicas, porcentaje de la colonización (%) (46) e intensidad de la colonización micorrícica (%) y las poblaciones autóctonas de HMA en la rizosfera, evaluada como número de esporas (39).

El experimento se repitió durante dos años, para lo cual se empleó un diseño en bloques al azar. Los datos fueron procesados mediante el Análisis de Varianza de Clasificación Simple y la comparación de las medias mediante la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan con un nivel de significación del 95 %. Los datos de la variable porcentaje de la colonización micorrícica se transformaron por la fórmula $\arcsen \sqrt{x}$. Se empleó el paquete estadístico STATGRAPHIC versión 15.2.

RESULTADOS

Al analizar los resultados de los diferentes indicadores evaluados, no se observó interacción entre el factor repetición en el tiempo, en ninguno de los viveros, por lo que se analizan las medias de ambas repeticiones.

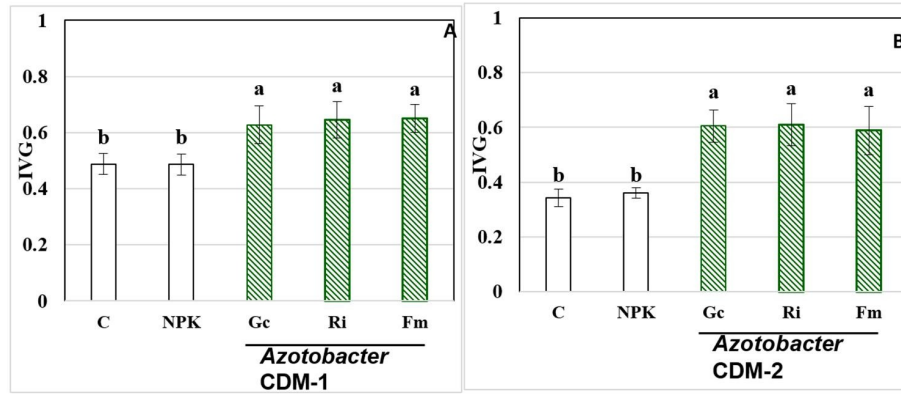
Con relación al IVG, se observó que la coinoculación con los HMA con las cepas de *A. chroococcum* aceleraron el proceso germinativo, independientemente de la cepa de HMA inoculada (Figura 1). El control y el tratamiento fertilizado (NPK) mostraron similitud entre ellos, pero diferencias con relación a los inoculados, en los dos suelos estudiados.

En el Vivero Cabacú (suelo GFh), se observaron porcentajes de incremento del tratamiento inoculado superiores a los obtenidos en el Vivero Playa Duaba (suelo ARh) (71-77 y 28-33, respectivamente), debido a que tanto el control como el tratamiento fertilizado mostraron valores más bajos en este último, lo cual demuestra que se obtuvo un mayor efecto micorrícico en el suelo GFh.

Al analizar los resultados del desarrollo vegetativo (Tabla 2) se observó una respuesta diferencial de las cepas de HMA estudiadas en los dos viveros, correspondientes a dos tipos de suelo. En el Vivero Playa Duaba se observó que el tratamiento coinoculado *R. intraradices* - *A. chroococcum* CDM-1 mostró niveles significativamente superiores al resto de las variantes, en todos los indicadores evaluados (altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y masa seca total). Con el empleo de *G. cubense* y *F. mosseae* se alcanzaron valores de altura, diámetro del tallo y área foliar similares estadísticamente con el control; sin embargo, en el resto de los indicadores fue inferior a este. El tratamiento fertilizado mostró los niveles más bajos en todos los indicadores.

A diferencia del Vivero Playa Duaba, en Cabacú los mejores resultados se obtuvieron con la combinación *G. cubense* - *A. chroococcum* cepa CDM-2, la cual superó de forma significativa al resto de los tratamientos en todos los indicadores evaluados. En los tratamientos inoculados con *R. irregularis* y *F. mosseae* se alcanzaron valores similares o inferiores al control en todos los indicadores evaluados, a excepción del área foliar donde superaron al control. En todos los casos el tratamiento fertilizado mostró los niveles más bajos.

Al analizar los contenidos de N, P y K en la planta, en el vivero Playa Duaba (suelo ARh), se destacaron los tratamientos de la coinoculación *R. irregularis* -



Medias con letras distintas para el mismo suelo difieren entre sí, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. HMA: *G. cubense* (Gc), *R. irregularis* (Ri) y *F. mosseae* (Fm). *Azotobacter*: *A. chroococcum*, cepa CDM-1 en Vivero Playa Duaba (A) y cepa CDM-2 en Vivero Cabacú (B)

Figura 1. Índice de velocidad de germinación (IVG) de semillas de cocotero, ecotipo Indio Verde-1, inoculadas con tres cepas de HMA y dos de *Azotobacter*

Tabla 2. Desarrollo vegetativo y contenido de nutrientes foliares de plántulas de cocotero, ecotipo Indio Verde-1, inoculadas con tres cepas de HMA y dos cepas de *A. chroococcum* (CDM-1 en Vivero Playa Duaba y CDM-2 en Cabacú)

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de hojas	Área foliar ($m^2 planta^{-1}$)	Masa seca total (g planta $^{-1}$)	N (g planta $^{-1}$)	P (g planta $^{-1}$)	K (g planta $^{-1}$)
Vivero Playa Duaba								
Control	108,77	b	3,02	b	3,11	d	1119,81	b
NPK	104,31	c	2,81	c	2,93	e	1111,81	c
<i>G. cubense</i>	107,74	b	3,02	b	3,98	b	1120,71	b
<i>R. intraradices</i>	115,19	a	3,21	a	4,24	a	1380,00	a
<i>F. mosseae</i>	108,72	b	2,97	b	3,71	c	1119,41	b
EEx:	1,18	0,04	0,05	0,49	0,89	0,1	0,02	0,07
Vivero Cabacú								
Control	108,54	b	2,98	b	2,93	c	1110,06	b
NPK	97,70	c	2,41	d	2,82	c	1085,70	d
<i>G. cubense</i>	117,55	a	4,19	a	4,31	a	1338,69	a
<i>R. intraradices</i>	109,02	b	3,03	b	4,20	a	1110,06	b
<i>F. mosseae</i>	95,81	c	2,68	c	3,13	b	1108,42	c
EEx:	1,19	0,04	0,06	0,49	0,89	0,11	0,02	0,07

Medias con letras distintas para el mismo suelo difieren entre sí, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($P < 0,05$). EEx: error estándar de la media

A. chroococcum CDM-1, con incremento de los contenidos de los tres elementos. En los tratamientos donde se emplearon *G. cubense* y *F. mosseae* se alcanzaron niveles intermedios, siendo superiores estadísticamente al control. El control y el tratamiento fertilizado mostraron similitud estadística, obteniendo los valores más bajos.

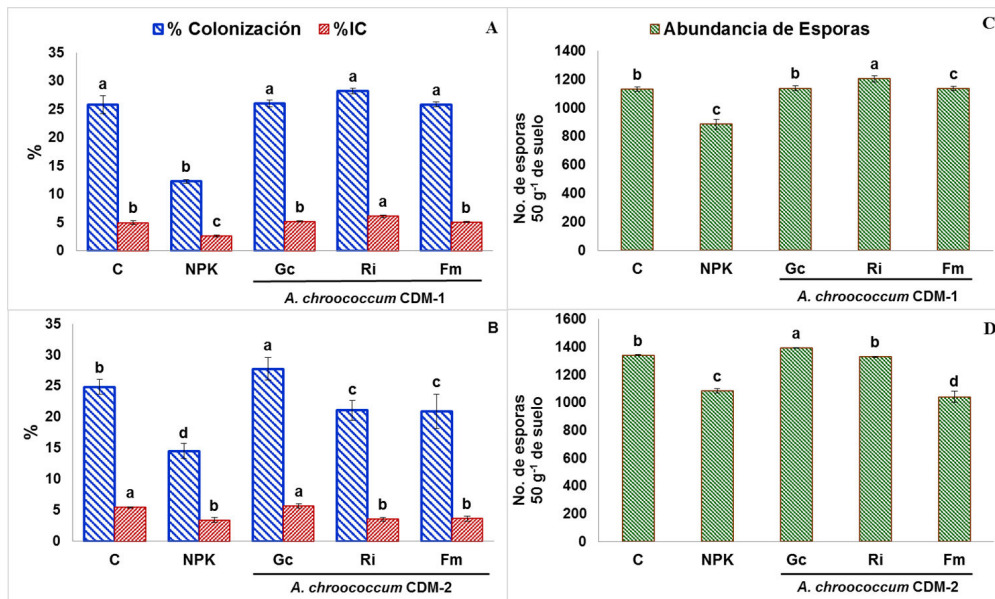
En el vivero Cabacú (suelo GFLh) se encontró efecto positivo sobre los contenidos de N, P y K con la combinación de *G. cubense* - *A. chroococcum* CDM-2, mientras que los tratamientos donde se emplearon *R. irregularis* y *F. mosseae* se obtuvieron valores intermedios, con diferencias significativas entre ellos. El control y el tratamiento fertilizado mostraron los niveles más bajos; sin embargo, el abonado orgánico (control) superó a la fertilización con NPK.

Con relación a los indicadores de la micorrización, en el vivero Playa Duaba (suelo ARh) el control mostró niveles de colonización similares a los obtenidos por

los tratamientos micorrizados (Figura 2); sin embargo, al analizar la IC la cepa de *R. irregularis* superó a todos los tratamientos, de forma similar a como se observó en el estudio del desarrollo vegetativo. Este comportamiento fue similar al observado en el análisis de la abundancia de las esporas, indicador en el que todos los tratamientos alcanzaron valores elevados.

En el vivero Cabacú (suelo GFLh) se observó un comportamiento similar al obtenido en el análisis del desarrollo vegetativo, para los tres indicadores evaluados; sin embargo, la coinoculación *G. cubense* - *A. chroococcum* CDM-2 superó de forma significativa a todos los tratamientos.

En el análisis conjunto de las variables evaluadas se observó que cuando se emplea el suelo ARh (vivero Playa Duaba), el mejor tratamiento resultó ser la coinoculación de *R. irregularis* - *A. chroococcum* CDM-1, mientras que con el suelo GFLh (vivero Cabacú) la combinación de



Medias con letras distintas para el mismo suelo difieren entre sí, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Control (C), *G. cubense* (Gc), *R. irregularis* (Ri), *F. mosseae* (Fm)

Figura 2. Indicadores micorrícicos, colonización e intensidad de la colonización (%IC) (A y B) y abundancia de esporas (C y D) en las raíces de las plantas de cocotero ecotipo Indio Verde-1 inoculadas con tres cepas de HMA en los viveros de Playa Duaba (A y C) y Cabacú (B y D)

G. cubense - *A. chroococcum* CDM-2 fue con la que se obtuvo los mejores resultados. En estos tratamientos, la coinoculación de los microorganismos indujo en las plantas un mejor aprovechamiento de nutrientes, incremento de la superficie fotosintética (área foliar) y mayor acumulación de biomasa (masa seca total).

DISCUSIÓN

En los suelos empleados para la preparación del sustrato en ambos viveros se encontraron niveles elevados de propágulos de HMA residentes (923,33 y 2676,67 esporas de HMA g^{-1} en los suelos ARh y GFLh, respectivamente, tabla 1), similares a los encontrados por otros autores en agroecosistemas similares, no disturbados (47, 48). Se observó un efecto de la simbiosis micorrícica sobre los diferentes indicadores evaluados.

El análisis de los resultados de la interacción HMA-*A. chroococcum* permite plantearse que es posible que la coinoculación pudo haber roto las barreras impuestas por la competencia de las cepas de HMA inoculadas con las autóctonas debido a que *Azotobacter* libera metabolitos activos que permiten el crecimiento del hongo. Además, modula la expresión de proteínas específicas activas que juegan un papel importante en la fisiología y establecimiento de la simbiosis, ya que estimulan la esporulación durante el estado vegetativo. Por otro lado, estas proteínas regulan la síntesis de ATP y amonio, que pueden ser empleadas en los procesos de absorción activa de fuentes de nitrógeno orgánico e inorgánico por el micelio, energía que también es utilizada por el hongo para su crecimiento (49). De forma similar a los resultados del presente trabajo, otros autores han observado que la inoculación conjunta de tres PGPR (*A. chroococcum*,

B. megaterium y *B. mucilaginosus*) con dos HMA resultaron en el incremento de la colonización micorrícica (50).

El cocotero es un cultivo que de forma natural establece simbiosis con los HMA (51) y se asocia con bacterias del género *Azotobacter* (36, 52), lo cual se evidenció en las plantas crecidas dentro de los controles evaluados (S-H-FC 1:1:1 y NPK 100%) los cuales no se inocularon, por lo que las poblaciones cuantificadas de ambos grupos microbianos, correspondieron a las autóctonas.

La respuesta positiva en relación al incremento de los contenidos de N, P y K en la parte aérea de las plantas con resultados de los tratamientos *R. irregularis* - *A. chroococcum* CDM-1 y *G. cubense* - *A. chroococcum* CDM-2, superiores a los controles NPK 100 % y 1:1:1 de S-H-FC pudiera estar dada por el efecto combinado del abono orgánico con la coinoculación de *Azotobacter chroococcum* y las cepas de HMA. Se conoce que los abonos orgánicos mejoran las propiedades físicas de los suelos por diferentes mecanismos (53), permitiendo mayor disponibilidad de los nutrientes, lo que favorece un mejor desarrollo de las plantas (54) y, por consiguiente, pudo incrementar la cantidad y calidad de los exudados radicales y con ello el establecimiento de las cepas de *A. chroococcum* y de HMA más eficientes para cada suelo.

A. chroococcum produce la secreción de fitohormonas que favorecen el crecimiento radical de las plantas, permitiendo mayor absorción de agua y absorción de nutrientes, además, posee la capacidad de solubilizar el fósforo, fijar nitrógeno atmosférico y hacer disponible el Fe a través de la producción de sideróforos (29). De esta forma, las plantas pueden disponer de mayor contenido de nutrientes obtenido a través del proceso de fijación de nitrógeno, pues el Fe constituye un cofactor importante para este mecanismo biológico (55).

Resultados experimentales evidencian que la estimulación por las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal es el resultado de varios mecanismos que actúan de forma conjunta y se activan simultáneamente. Las simbiosis de las plantas con los microorganismos del suelo confieren beneficios energéticos debido a la mejora de la nutrición de las plantas; el suministro de N y P del simbiote microbiano a la planta depende de la disponibilidad de ATP en el simbiote microbiano, que está regulada por su demanda de compuestos de carbono (56).

Es conocido que los HMA promueven el crecimiento vegetal por diferentes mecanismos, entre los que se encuentran la mejora del estatus hídrico (57) y el aumento de la absorción de elementos minerales presentes en el suelo, fundamentalmente los de difusión limitada como el P (34), el Zn y el Cu (58). Se plantea que puede existir una necesidad diferenciada en base a la demanda nutricional de la propia cepa de HMA inoculada, lo cual pudiera constituir una posible explicación a los resultados observados (59).

En sentido general, los resultados pudieron estar condicionados por la relación que se establece entre *A. chroococcum* y los HMA. Las cepas de *Azotobacter* inoculadas, al establecerse en el sustrato, pudieron producir fitohormonas que estimularon el crecimiento de las raíces en las plantas, induciendo la secreción de exudados radicales que permitieron la colonización de la cepa de HMA, según el tipo de suelo utilizado en el sustrato (60). Por otra parte, el pH que poseían los sustratos estaba en el rango óptimo para el crecimiento de *Azotobacter*, lo que favoreció el establecimiento de esta bacteria (61). A estos valores de pH, la bacteria pudo haber solubilizado los fosfatos insolubles lo que, al parecer, resultó favorable para el establecimiento de las cepas de HMA, teniendo en cuenta que este es uno de los factores que regula su establecimiento y funcionamiento (62).

Las diferentes especies de HMA estudiadas respondieron al sustrato en dependencia del suelo que lo conformó. Se observó un efecto en función de los altos niveles de propágulos autóctonos existentes, a pesar de poseer similitud en el pH, así como en el contenido de materia orgánica y en la relación C/N, lo que indicó que otras propiedades físico-químicas y biológicas de los sustratos pudieran estar influyendo en la respuesta diferencial de los HMA observadas, por lo que se hace necesario profundizar los estudios de inoculación micorrízica en estos suelos, ya que no existían resultados anteriormente publicados.

El micelio extraradical de los HMA puede trasladar de forma efectiva los productos de la actividad de las rizobacterias, cuando conviven en la rizosfera de las plantas, por lo que la respuesta de las mismas a la simbiosis micorrízica involucra la acción, también, de los microorganismos rizosféricos en su conjunto (63).

En la interacción HMA- *Azotobacter* se favoreció el incremento de los niveles de absorción de nutrimentos como nitrógeno, fósforo y potasio y su translocación

hacia el interior de la planta, con el incremento de la capacidad fotosintética y, por consiguiente, el aumento en los indicadores morfológicos evaluados, que permitieron la disminución del período de permanencia en el vivero.

En todos los casos, los tratamientos donde se obtuvieron los mejores resultados indican, además, que debió ocurrir una mayor capacidad de captación de energía solar para llevar a cabo la fotosíntesis, al mostrar mayor número de hojas y área foliar. Se ha observado que los HMA mejoran significativamente la tasa fotosintética y aumentan el contenido de clorofila (64, 34), lo que provocaría un elevado impacto sobre la tasa de crecimiento.

Se ha referido el efecto beneficioso en el crecimiento vegetal cuando se emplean inoculantes compuestos por bacterias fijadoras de nitrógeno y HMA, combinados con abonos orgánicos, con la reducción de los niveles de fertilizantes minerales empleados (58).

En una investigación realizada en posturas de cocotero con el uso de los HMA, se encontró un efecto positivo sobre el número, volumen y masa seca de las raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, a partir del cuarto mes posterior a la inoculación, lo cual mejoró la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes e indujo incrementos en el perímetro de la base del tallo y la masa seca de la parte aérea a partir del sexto mes (65).

Se ha demostrado en otros cultivos la acción positiva de las interacciones entre HMA y PGPR sobre la promoción del crecimiento (22, 23, 66), así como la de estos grupos microbianos y abonos orgánicos (67); sin embargo, estudios similares no se han realizado en coco con anterioridad, en el cual solo se habían empleado de forma independiente. Contar con resultados de la coinoculación de los HMA y *Azotobacter* en este cultivo permite potenciar el uso de los mismos y, de esta forma posibilitar la obtención de posturas de calidad, y por consiguiente, lograr el incremento de los rendimientos.

El estudio combinado de fuentes orgánicas, HMA y bacterias fijadoras de nitrógeno han demostrado que las fuentes combinadas proporcionan un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas en una etapa temprana (57).

Las prácticas de agricultura orgánica con enfoque en la construcción de bases de fertilidad biológica del suelo a través de la aplicación de insumos orgánicos y bioproductos, como los HMA y PGPR (*Azotobacter*), permiten la producción sostenible de coco, de una manera respetuosa con el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados se puede concluir que la coinoculación de *R. irregularis* con la cepa de *A. chroococcum* CDM-1 permite la obtención de posturas de coco de alta calidad para emplearse en el Vivero Playa Duaba con suelo ARh, mientras que la combinación de *G. cubense* y *A. chroococcum* CDM-2 muestran los mejores indicadores para el Vivero Cabacú con suelo GFh, ambos empleando como sustrato la combinación de S-H-FC (4:1:1), lo cual permite optimizar el empleo de los

abonos orgánicos locales. Se demuestra el efecto promotor del crecimiento de los HMA y *Azotobacter* combinado con abonos orgánicos para la obtención de posturas de coco.

BIBLIOGRAFÍA

- Qadi WSM, Mediani A, Benchoula K, Wong EH, Misnan NM, Sani NA. Characterization of Physicochemical, Biological, and Chemical Changes Associated with Coconut Milk Fermentation and Correlation Revealed by ¹H NMR-Based Metabolomics. *Foods*. 2023, 12(10):1971. doi: <http://doi.org/10.3390/foods12101971>.
- Wirkijowska A, Sobota A, Zarzycki P, Nawrocka A, Blicharz-Kania A y Andrejko D. Chemical, technological, and sensory evaluation of the suitability of coconut by-products in white rolls. *J Sci Food Agric*. 2022; 102(8):3370-3378. doi: <http://doi.org/10.1002/jsfa.11684>.
- Saraiva A, Carrascosa C, Ramos F, Raheem D, MariaLopes M y Raposo A. coconut sugar: chemical analysis and nutritional profile; health impacts; safety and quality control; food industry applications. *Int J Environ Res Public Health*. 2023, 19;20(4):3671. doi: <http://doi.org/10.3390/ijerph20043671>.
- Divya PM, Roopa BS, Manusha C y Balannara P. A concise review on oil extraction methods, nutritional and therapeutic role of coconut products. *Review J Food Sci Technol*. 2023, 60(2):441-452. doi: <http://doi.org/10.1007/s13197-022-05352-0>.
- Kaushik V, Chogale R y Mhaskar S. Single hair fiber assessment techniques to discriminate between mineral oil and coconut oil effect on hair physical properties. *Journal of Cosmet Dermatol*. 2021; 20(4), 1306–1317. doi: <http://doi.org/10.1111/jocd.13724>.
- Singh S, Lohani A, Mishra AK y Verma A. Formulation and evaluation of carrot seed oil-based cosmetic emulsions. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 2019; 21(2), 99-107. doi: <http://doi.org/10.1080/14764172.2018.1469769>.
- Sumit AF, Sharmin T y Ahmed T. Evaluation of the *in vitro* antimicrobial activity as well as preservative capacity of several popular cosmetic products available in the neighbouring shops in Bangladesh. *Mymensingh Medical Journal*. 2021; 30(2), 478-484. PMID: 33830132.
- Limonés BV, Fernández BMA. El cocotero: "El árbol de la vida". *Herbario CICY*. 2016; 8:107–110. Available from: http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/.
- Gopal M, Gupta A, Arunachalam V, Maheswarappa HP, Thomas GV, Jacob PM. Autochthonous nutrient recycling driven by soil microbiota could be sustaining high coconut productivity in Lakshadweep Islands sans external fertilizer application. *World J Microbiol Biotechnol*. 2022; 2;38(11):213. doi: <http://doi.org/10.1007/s11274-022-03373-7>.
- Tuckeldoe RB, Maluleke MK y Adriaanse P. The effect of coconut coir substrate on the yield and nutritional quality of sweet peppers (*Capsicum annuum*) varieties. *Sci Rep*. 2023; 15;13(1):2742. doi: <http://doi.org/10.1038/s41598-023-29914-0>.
- Masijn Q, Libberecht S, Meyfroot A, Goemaere O, Hanskens J y Fraeye I. Structure and physical stability of plant-based food gel systems: Impact of protein (mung bean, pea, potato, soybean) and fat (coconut, sunflower). *Heliyon*. 2023; 6; 9(9):e18894. doi: <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18894>.
- Deen A, Visvanathan R, Wickramarachchi D, Marikkar N, Nammi S, Jayawardanae BC y Liyanagea R. Chemical composition and health benefits of coconut oil: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021; 101(6), 2182-2193. doi: <http://doi.org/10.1002/jsfa.10870>.
- Fang C, Paul CR, Day CH, Chang R, Kuo C, Ho T, Hsieh DJ, Viswanadha VP, Kuo W y Huang C. Poria cocos (Fuling) targets TGFβ /Smad7 associated collagen accumulation and enhances Nrf2-antioxidant mechanism to exert anti-skin aging effects in human dermal fibroblasts. *Environmental Toxicology*. 2020; 36(5), 729–736. doi: <http://doi.org/10.1002/tox.23075>
- Neelakantan N, Seah JYH y van Dam RM. The Effect of Coconut Oil Consumption on Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Trials. *Circulation*. 2020; 141(10), 803-814. doi: <http://doi.org/10.1161/circulationaha.119.043052>
- Schwingshackl L, Schlesinger S. Coconut Oil and Cardiovascular Disease Risk. *Curr Atheroscler Rep*. 2023; 25(5):231-236. doi: <http://doi.org/10.1007/s11883-023-01098-y>
- Spiazzi BF, Duarte AC, Zingano CP, Teixeira PP, Amazarray CR, Merello EN, Wayerbacher LF, Farenzena LP, Correia PE, Bertoluci MC, Gerchman F, Colpani V. Coconut oil: an overview of cardiometabolic effects and the public health burden of misinformation. *Arch Endocrinol Metab*. 2023; 19;67(6):e000641. doi: <http://doi.org/10.20945/2359-3997000000641>
- Teng M, Zhao YJ, Khoo AL, Yeo TC, Yong QW y Lim BP. Impact of coconut oil consumption on cardiovascular health: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews*. 2020; 78(3), 249-259. doi: <http://doi.org/10.1093/nutrit/nuz074>
- Cuerda-Ballester M, Proaño B, Alarcón-Jimenez J, Bernardo N, Villaron-Casales C, Lajara Romance JM, Rubia Ortí JE. Improvements in gait and balance in patients with multiple sclerosis after treatment with coconut oil and epigallocatechin gallate. A pilot study. *Food Funct*. 2023; 14(2):1062-1071. doi: <http://doi.org/10.1039/d2fo02207a>
- Rethinam P. Chapter 2: International Scenario of Coconut Sector. In: Nampoothiri KUK, Krishnakumar V, Thampan PK, Achuthan Nair M, editors. *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives*. 2018; pp 21-56. Singapore: Springer. doi: http://doi.org/10.1007/978-981-13-2754_2
- Samosir YMS y Adkins SW. Improving acclimatization through the photoautotrophic culture of coconut (*Cocos nucifera*) seedlings: an *in vitro* system for the efficient exchange of germplasm. *In Vitro Cell Dev Plant*. 2014; 50:493–501. doi: <http://doi.org/10.1007/s11627-014-9599-z>

- [21] En: Nampoothiri, KUK, Krishnakumar, V, Thampan, PK, Achuthan Nair, M (eds.), *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives*. 2018. (pp. 227-322). Singapore: Springer. DOI: [10.1007/978-981-13-2754_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754_7).
22. Vafa ZN, Sohrabi Y, Sayyed RZ, Luh Suriani N y Datta R. Effects of the Combinations of Rhizobacteria, Mycorrhizae, and Seaweed, and Supplementary Irrigation on Growth and Yield in Wheat Cultivars. *Plants*. 2021; 10(4), 811. doi: [http://doi.org/10.3390/plants10040811](https://doi.org/10.3390/plants10040811)
23. Vishwakarma K, Kumar N, Shandilya C, Mohapatra S, Bhayana S y Varma A. Revisiting Plant–Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review. *Front. Microbiol.* 2020; 11:560406. doi: [http://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406).
24. Siim KS, Teele J, Martti V, Martin Z, Maarja Ö. Effects of land use on arbuscular mycorrhizal fungal communities in Estonia. *Mycorrhiza*. 2018; 28 (3): 259–268. DOI: [http://doi.org/10.1007/s00572-018-0822-3](https://doi.org/10.1007/s00572-018-0822-3).
25. Müller LM y Harrison MJ. Phytohormones, miRNAs, and peptide signals integrate plant phosphorus status with arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, 2019; 50, 132–139. [http://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.05.004](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.05.004)
26. Sarmiento-López LG, López-Meyer M, Sepúlveda-Jiménez G, Cárdenas L y Rodríguez-Monroy M. Photosynthetic performance and stevioside concentration are improved by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Stevia rebaudiana* under different phosphate concentrations. *Peer J*. 2020; 18p. [http://doi.org/10.7717/peerj.10173](https://doi.org/10.7717/peerj.10173)
27. Rajeshkumar PP, Thomas GV, Gupta A y Gopal M. Diversity, richness and degree of colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in coconut cultivated along with intercrops in high productive zone of Kerala, India. *Symbiosis*. 2015; 65, 125–14. [http://doi.org/10.1007/s13199-015-0326-2](https://doi.org/10.1007/s13199-015-0326-2)
28. Martin Del Campo JS, Rigsbee J, Bueno Batista M, Mus F, Rubio LM, Einsle O, Peters JW, Dixon R, Dean DR y Dos Santos PC. Overview of physiological, biochemical, and regulatory aspects of nitrogen fixation in *Azotobacter vinelandii*. *Crit Rev Biochem Mol Biol*, 2022; 57(5-6):492-538. [http://doi.org/10.1080/10409238.2023.2181309](https://doi.org/10.1080/10409238.2023.2181309)
29. Sumbul A, Ansari RA, Rizvi R y Mahmood I. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020; 27, 3634-3640. [http://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004)
30. Carmona A, Reyes JJ, Chiquito RG, Rincon G, Cerdan CR y Hernández LG. Biocontrol of postharvest fruit fungal diseases by bacterial antagonists: A Review. *Agronomy*. 2021; 9, 121. [http://doi.org/10.3390/agronomy9030121](https://doi.org/10.3390/agronomy9030121)
31. Kalapchieva S, Tringovska I, Bozhinova R, Kosev V, Hristeva T. Population response of rhizosphere microbiota of garden pea genotypes to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Int J Mol Sci*. 2023; 24(2):1119. [http://doi.org/10.3390/ijms24021119](https://doi.org/10.3390/ijms24021119)
32. Lamlo SF, Irshad A, Mosa WFA. The biological and biochemical composition of wheat (*Triticum aestivum*) as affected by the bio and organic fertilizers. *BMC Plant Biol*. 2023; 23(1):111. [http://doi.org/10.1186/s12870-023-04120-2](https://doi.org/10.1186/s12870-023-04120-2)
33. Sagar A, Rathore P, Ramteke PW, Ramakrishna W, Reddy MS y Pecoraro L. Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Their Synergistic Interactions to Counteract the Negative Effects of Saline Soil on Agriculture: Key Macromolecules and Mechanisms. *Microorganisms*. 2021; 9, 1491. [http://doi.org/10.3390/microorganisms9071491](https://doi.org/10.3390/microorganisms9071491)
34. Shi J, Wang X, Wang E. Mycorrhizal symbiosis in plant growth and stress adaptation: from genes to ecosystems. *Annu Rev Plant Biol*. 2023; 74:569-607. [http://doi.org/10.1146/annurev-arplant-061722-090342](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-061722-090342)
35. Wahab A, Muhammad M, Munir A, Abdi G, Zaman W, Ayaz A, Khizar C y Reddy SPP. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants*. (Basel) 2023; 12(17):3102. [http://doi.org/10.3390/plants12173102](https://doi.org/10.3390/plants12173102)
36. Alvarado K, Blanco A, Martín GM, Ríos Y, Capdesuñer R, Matos K, de la Noval BM. Influencia de un sistema de abonado orgánico y *Azotobacter chroococcum* sobre posturas de cocotero. *Cultivos Tropicales*. 2019; 40(1): a06-e06. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1495>
- [37] Instructivo técnico para el cultivo del COCO. 1ra Edición, edit. Biblioteca ACTAF, Ciudad de la Habana. 2011, 15p. Available from: <http://actaf.co.cu/index.php>.
- [38] Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. 1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones INCA. 2010. Available from: <http://mst.ama.cu/578/>.
39. Herrera PRA, Furrázola E, Ferrer RL, Fernández VR y Torres Y. Functional strategies of root hair and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 2004; 35(2),113-123. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181226079010>.
40. Alonso, M., Cueto, J.R., Santos, Y., Romero, W., LLauger, R. y Rohde, W. (2007). Variabilidad morfológica y molecular de una población de cocoteros verdes en la región de Baracoa. *Cultivos Tropicales*. 28(3), 69-75. Available from: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/download/293/pdf/813&ved=2ahUKEwjrla_53ZCJAXu_TDABHXhBA6MQFnoECBgQAQ&usq=AOvVaw3NkCnmnalNP5YOZQV6CY5i.
41. Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubenses* p. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 2011; 118(1): 337-347. doi [http://doi.org/10.5248/118.337](https://doi.org/10.5248/118.337).
42. Shūßler A, Walker C. 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. 2011, 58p. Available from: https://books.google.com/books/about/The_Glomeromycota.html?id=qjLywAACAAJ&redir_esc=y.
43. Sabio C. Evaluación de Mycoral® en tres variedades de cocotero resistentes al Amarillamiento Letal del cocotero para mejorar el crecimiento en condiciones de vivero [en línea] [Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo], Escuela Agrícola panamericana. Zamorano, Honduras. 2002; 37 p. [Consultado: 25 de mayo de 2012], Available from: <http://www.bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2209/1/cpa.2002-%20T101>.
 44. Fernández F, Gómez R, Vanegas LF, Noval BM, Martínez MA. Producto inoculante micorrizógeno; Cuba; Oficina Nacional de Propiedad Industrial Patente No. 22641, 2000. Available from: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf;jsessionid=ED1D72BCCE74B2DBD801D4D94327D0B1.wapp2nA?docId=CU4401498yrecNum=98yoffice=yqueryString=yprevFilter=%26fq%3DOF%3ACU%26fq%3DICF_M%3A%22A01N%22ysortOption=Pub+Date+DescymaxRec=135.
 45. Paneque VM, Calaña JM. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. INCA. La Habana. 2001; 29 p. Available from: <http://www.inca.edu.cu>.
 46. Giovanetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489–500. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>.
 47. Furrázola E, Covacevich F, Torres AY, Rodríguez RRM, Ley RJF, Izquierdo K, Fernández VR, Louro BRL. Functionality of arbuscular mycorrhizal fungi in three plant communities in the Managed Floristic Reserve San Ubaldo-Sabanalamar, Cuba. *International Journal Tropical Biology*, (2015). 63(2), 341–356. ISSN: 0034-7744.
 48. Furrázola GE, Rodríguez RRM, Torres AY, González GS, Ortega FR, Ley RJF. Hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycotina) en ecosistemas naturales y agrícolas en la Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata, Cuba. *Acta Botánica Cubana*, (2018). 217(1), 85–93. Available from: <https://www.revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/225>.
 49. Kumar BS, Bandyopadhyay P, Kumar P, Kumar MD, Prasad R, Kumari A, Chandra UK, Kumar YP, Varma A. Interaction of Piriformospora indica with *Azotobacter chroococcum*. *Scientific Reports*. 2015; 5(13911):1-13. <http://doi.org/10.1038/srep13911>
 50. Khalid M, Hassani D, Bilal M, Asad F y Huang D. Influence of bio fertilizer containing beneficial fungi and rhizospheric bacteria on health promoting compounds and antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. *Botanical Studies*. 2017; 58, 35. <http://doi.org/10.1186/s40529-017-0189-3>
 51. Lara-Pérez LA, Oros-Ortega I, Córdova-Lara I, Estrada-Medina H, O'Connor-Sánchez A, Góngora-Castillo E, Sáenz-Carbonell L. Seasonal shifts of arbuscular mycorrhizal fungi in *Cocos nucifera* roots in Yucatán, México. *Mycorrhiza*. 2020; 30(2-3):269-283. <http://doi.org/10.1007/s00572-020-00944-0>
 52. Pandey S y Gupta S. Diversity analysis of ACC deaminase producing bacteria associated with rhizosphere of coconut tree (*Cocos nucifera* L.) grown in Lakshadweep islands of India and their ability to promote plant growth under saline conditions. *J Biotechnol*. 2020; 20;324:183-197. <http://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.10.024>
 53. Ayamba BE, Abaidoo RC, Opoku A, Ewusi-Mensah N. Mechanisms for nutrient interactions from organic amendments and mineral fertilizer inputs under cropping systems: a review. *Peer J*. 2023; 4;11:e15135. <http://doi.org/10.7717/peerj.15135>
 54. Khanal U, Wilson C, Rahman S, Lee BL y Hoang VN. Smallholder farmers'adaptation to climate change and its potential contribution to UN's sustainable development goals of zero hunger and no poverty. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 281:124999. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124999>
 55. Sadvakasova AK, Kossalbayev BD, Token AI, Bauenova MO, Wang J, Zayadan BK, Balouch H, Alwasel S, Leong YK, Chang JS y Allakhverdiev SI. Influence of Mo and Fe on Photosynthetic and Nitrogenase Activities of Nitrogen-Fixing Cyanobacteria under Nitrogen Starvation. *Cells*. 2022; 5;11(5):904. <http://doi.org/10.3390/cells11050904>
 56. Ortíz J, Sanhueza C, Romero-Munar A, Hidalgo-Castellanos J, Castro C, Bascuñán-Godoy L, Coba de la Peña T, López-Gómez M, Florez-Sarasa I y Del-Saz NF. In Vivo Metabolic Regulation of Alternative Oxidase under Nutrient Deficiency-Interaction with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Bacteria. *Int J Mol Sci*. 2020; 12;21(12):4201. doi: <http://doi.org/10.3390/ijms21124201>.
 57. Santana LR, da Silva LN, Tavares GG, Batista PF, Cabral JSR y Souchie EL. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with maize plants during hydric deficit. *Sci Rep*. 2023; 27;13(1):1519. doi: <http://doi.org/10.1038/s41598-023-28744-4>.
 58. Sethi D, Subudhi S, Rajput VD, Kusumavathi K, Sahoo TR, Dash S, Mangaraj S, Nayak DK, Pattanayak SK, Minkina T, Glinushkin AP y Kalinitchenko VP. Exploring the role of mycorrhizal and *rhizobium* inoculation with organic and inorganic fertilizers on the nutrient uptake and growth of *Acacia mangium* saplings in acidic soil. *Forests*. 2021; 12(12):1657. doi: <http://doi.org/10.3390/f12121657>.
 59. Hodge A, Storer K. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*. 2015; 386 (1-2): 1-19. doi: <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1>.
 60. Bahrani A, Pourreza J, Hagh JM. Response of winter wheat to co-inoculation with *Azotobacter* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) under Different Sources of Nitrogen Fertilizer. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environment Sciences*. 2010; 8(1):95-103. ISSN: 1818-6769.
 61. Rico GMA. Capacidad promotora de crecimiento vegetal por bacterias del género *Azotobacter* y Actinomicetos aislados de cultivos de *Solanum tuberosum* Linnaeus, 1753 (Papa) cultivados en zonas altoandinas del Perú. [en línea] [Tesis en opción título profesional de Biólogo

- con Mención en Biología Celular y Genética] Facultad de Ciencias Biológica. E. A. P. de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima, Perú. 2009; 152 p. [Consultado: 20 de enero de 2018], Available from: http://www.cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/875/1/Rico_gm.pdf.
62. Rivera R, González PJ, Hernández JA, Martín G, Ruíz L, Fernández K, Simó J, García M, Pérez A, Riera M, Bustamante C, Joao JP, Ruiz M. La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos. En: VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, del 2 al 5 de Junio. La Habana, Cuba. 2015. Available from: https://www.researchgate.net/publication/279193397_La_importancia_del_ambiente_edafico_y_del_pH_sobre_la_efectividad_y_la_recomendacion_de_cepas_eficientes_de_HMA_para_la_inoculacion_de_los_cultivos
63. Zhang W, Li XG, Sun K, Tang MJ, Xu FJ, Zhang M y Dai CC. Mycelial network-mediated rhizobial dispersal enhances legume nodulation. *ISME J.* 2020; 4(4):1015-1029. doi: <http://doi.org/10.1038/s41396-020-0587-5>.
64. Huang D, Ma M, Wang Q, Zhang M, Jing G, Li C y Ma F. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced drought resistance in apple by regulating genes in the MAPK pathway. *Plant Physiol Biochem.* 2020; 149:245-255. doi: <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.020>.
65. Ilangamudali IMPS, Senarathne SHS. Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi based biofertilizer on early growth of coconut seedlings. *COCOS.* 2016; 22: 1-12. doi: <http://doi.org/10.4038/cocos.v22i1.5807>.
66. Pokluda R, Ragasová L, Jurica M, Kalisz A, Komorowska M, Niemiec M y Sekara A. Effects of growth promoting microorganisms on tomato seedlings growing in different media conditions. *PLoS ONE.* 2021; 16(11): e0259380. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0259380>.
67. Mesbah R, Ardakani MR, Moghaddam A y Rafiei F. Yield and morpho-physiological traits of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) as affected by azotobacter, mycorrhizal symbiosis and biochar application. *Plant Science Today.* 2021; 8(4): 986-994. doi: <http://doi.org/10.14719/pst.1378>.