



## Indicadores de calidad para posturas microinjertadas de *Theobroma cacao* inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares<sup>1</sup>

### Quality indicators for micrografted seedlings of *Theobroma cacao* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi

Alberto Pérez-Díaz<sup>2</sup>, Raúl Aranda-Azaharez<sup>3</sup>, Ramón Antonio Rivera-Espinosa<sup>4</sup>,  
Carlos Alberto Bustamante-González<sup>5</sup>, Yasmin Pérez-Suarez<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 24 de mayo, 2022. Aceptación: 14 de octubre, 2022. Este trabajo formó parte del Proyecto P13LH001313 “Sistema para uso del biofertilizante micorrízico EcoMic® y su manejo conjunto con otros bioproductos y prácticas culturales en la producción de alimentos. 2018-2022”, financiado por el Programa Producción de Alimentos y su Agroindustria de Cuba.
- <sup>2</sup> Universidad de Guantánamo, Ave. Che Guevara, km 2½ de la carretera a Baracoa, Guantánamo, Cuba. albertopd@cug.co.cu (autor para la correspondencia, <http://orcid.org/0000-00020966-7341>); yasmimps81@gmail.com (<http://orcid.org/0000-0003-1824-6757>).
- <sup>3</sup> Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa. Grupo Agroforestal. Guantánamo, Cuba. raula8171@gmail.com (<http://orcid.org/0000-0002-9090-8051>).
- <sup>4</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700. rrabracadabra14@gmail.com (<http://orcid.org/0000-0001-6621-7446>).
- <sup>5</sup> Instituto de Investigaciones Agroforestales (INAF), Unidad de Ciencia Técnica de Base Tercer Frente-Santiago de Cuba, Cruce de los Baños, Cuba. marlonalejandro2012@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-1136-8762>).

## Resumen

**Introducción.** Para el establecimiento adecuado de plantaciones de cacao, se deben garantizar tecnologías idóneas para la obtención de posturas (plantas jóvenes sembradas y desarrolladas en bolsas) de calidad en los viveros. **Objetivo.** Definir indicadores de calidad para posturas de cacao producida vía micro injertos, en función de las fuentes orgánicas y hongos micorrízicos arbusculares en un suelo Cambisol. **Materiales y métodos.** Entre 2018 y 2019, en el vivero de la Empresa Agroforestal y Coko de Baracoa, se evaluó la inoculación de las cepas *Glomus cubense* y *Rhizoglomus irregulare* en sustratos formados por humus de lombriz y cáscara de cacao compostada (3:1,5:1 v/v). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con cincuenta posturas por tratamiento, de ellas se evaluaron veinticinco. A los cuatro meses se evaluó: altura, diámetro del tallo, masa seca aérea, radical y total, concentración de nutrientes foliares (N, P, K), área foliar, índice de esbeltez, índice de calidad Dickson (ICD) y porcentaje de colonización micorrízica. Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple y se aplicó la prueba de comparación de Duncan (95 %). **Resultados.** La inoculación de *G. cubense* y *R. irregulare*, independiente de la fuente de abono orgánico, incrementaron significativamente la masa seca total (39 %), el área foliar (20 %) y el ICD (48 %), respecto los testigos. El ICD se relacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con la masa seca total y el área foliar ( $R^2 = 0,97$ ). La inoculación con *R. irregulare* y *G. cubense* incrementaron las concentraciones foliares de N, P y K. **Conclusiones.** Las variables masa seca total, el área foliar, el índice de esbeltez y el ICD, mostraron un carácter integrador del crecimiento de la planta y pueden ser indicadores de calidad para los micro injertos de cacao, a partir de relaciones suelo : abonos orgánicos e inoculación con *G. cubense* y *R. irregulare*.

**Palabras clave:** micorrizas arbusculares, indicadores, vivero, materia orgánica.



## Abstract

**Introduction.** For the proper establishment of cocoa plantations, suitable technologies must be guaranteed to obtain quality seedlings (young plants sown and developed in bags) in the nurseries. **Objective.** To define quality indicators for cocoa seedlings produced via micro-grafting, depending on organic sources and arbuscular mycorrhizal fungi in a Brown Sialitic soil. **Materials and methods.** Between 2018 and 2019 in the nursery of the Empresa Agroforestal y Cacao de Baracoa, the inoculation of the *Glomus cubense* and *Rhizoglyphus irregularis* strains in substrates formed by earthworm humus and composted cocoa husk (3:1,5:1 v/v) was evaluated. A completely randomized design was used, with 50 postures per treatment, of which 25 were evaluated. At four months, the following were evaluated: plant height, stem diameter, aerial, root and total dry mass, foliar nutrient concentration (N, P, K), leaf area, slenderness index, Dickson Quality Index (DQI), and the percentage of mycorrhizal colonization. A simple rank analysis of variance was performed and Duncan's comparison test (95 %) was applied. **Results.** The inoculation of *G. cubense* and *R. irregularis*, regardless of the source, significantly increased total dry mass (39 %), the leaf area (20 %) and the DQI (48 %) with respect to the controls. The DQI was significantly related ( $p < 0.05$ ) to total dry mass and leaf area ( $R^2 = 0.97$ ). The inoculation with *R. irregularis* and *G. cubense* increased the leaf N, P, and K concentrations. **Conclusions.** The variables total dry mass, leaf area, slenderness index, and DQI showed an integrative character of plant growth and can be used as quality indicators for cocoa micro-grafts, based on soil : organic fertilizer relationships and inoculation with *G. cubense* and *R. irregularis*.

**Keywords:** arbuscular mycorrhizae, indicators, nursery, organic matter.

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y cultural para los territorios en donde se produce (Arvelo Sánchez et al., 2017). En Cuba, su cultivo se concentra en la región oriental, debido a las características edafoclimáticas de zonas con suelos friables y altas precipitaciones anuales (1700 – 2500 mm), el 68 % de las plantaciones del país y el 80 % de la producción, se ubican en el municipio de Baracoa, de la provincia de Guantánamo (Suárez et al., 2013).

En el estudio de la cadena productiva del cacao (Selva-Hernández et al., 2015) en las provincias cacaoteras de Cuba (Guantánamo, Santiago de Cuba, Holguín y Granma), se definieron los factores limitantes que provocan los bajos rendimientos en el cultivo, dentro de los que se destacaron, la despoblación de las plantaciones por mal manejo, baja producción y baja calidad de posturas, poco uso de fertilizantes orgánicos (3,60 % abonos verdes, 31 % compost), poca disponibilidad de documentación técnica sobre el establecimiento y manejo de viveros y plantaciones, entre otras.

El empleo de técnicas agroecológicas como el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes constituyen alternativas para la nutrición de las plantas (Martín Alonso et al., 2014) y así lograr una agricultura resiliente (Le Mire et al., 2016; Mahanty et al., 2017). Se ha encontrado que la adición del humus de lombriz a los suelos y a los sustratos, incrementa el crecimiento y la productividad de *Solanum lycopersicum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., entre otros (Veobides Amador et al., 2018), mediante la mejora significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos y su acción bioestimuladora sobre el crecimiento de las plantas, mediante la producción de fitohormonas (Broz et al., 2016).

La cáscara de cacao es otro de los abonos orgánicos utilizados, que constituye un subproducto originado del procesamiento de sus frutos, que se acumulan en grandes cantidades en las áreas de cultivo. La misma posee características positivas, que la hacen idónea para la producción de posturas, como la alta capacidad de retención de

humedad, aireación y circulación del agua entre sus poros (Selva-Hernández, et al., 2015), aumenta la respiración microbiana y el N mineralizado sirve como fuente de nutrientes (Talade Atere et al., 2020).

El empleo de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), permite a la planta ampliar la exploración del sustrato a través del micelio y transportar nutrientes (Begum et al., 2019; Igiehon & Babalola, 2017) y agua (Augé et al., 2015) a la raíz, genera mejoras en los agregados del suelo, participación en los ciclos del carbono y del nitrógeno, lo que aumenta la resiliencia del ecosistema (Frey, 2019).

Durante más de veinte años en Cuba, se han desarrollado una serie de investigaciones relacionadas con el uso y manejo de los HMA-sustratos en diferentes agroecosistemas, cuyos resultados han brindado importantes aportes en diferentes cultivos a nivel de vivero y campo (Fundora Sánchez et al., 2011; Riera Nelson & Favier Mena, 2018; Rivera et al., 2020; Simó González et al., 2017).

De acuerdo con estudios previos, el *Theobroma cacao* es un cultivo micótrofo (Latacela Coello et al., 2017; Leblanc Ureña & Márquez Espinoza, 2014) y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plántulas de cacao favoreció el desarrollo de las plantas, con un aumento de la biomasa vegetal y raíces, así como la absorción de nutrientes (Bustamante-González & Rojas-Osoria, 2017; Camargo-Ricalde et al., 2012; Leblanc Ureña & Márquez Espinoza, 2014; Ricárdez-Pérez et al., 2020).

En la provincia de Guantánamo, Cuba, con la inoculación de posturas de caoba del país (*Swietenia mahagoni*, L.) y soplillo (*Lysiloma lastisiliquum*, Benth) con iguales proporciones de sustrato (5:1), formado por suelo Cambisol y estiércol ovino y las cepas *Glomus cubense* y *Rhizoglomus irregulare*, se encontró que el porcentaje de colonización de las especies forestales fue mayor con *R. irregulare* (44 – 50 %) que con *G. cubense* (39 – 40 %), pero superiores al testigo (Falcón Oconor et al., 2013). Esta es una condición que se apreció para estas cepas en estos tipos de suelos y proporción de sustrato, con independencia de las fuentes y cultivos.

En diferentes estudios se ha demostrado que la mayor efectividad por los HMA ocurre en los suelos con baja disponibilidad de P; así Falcón Oconor et al. (2021) encontraron mayor actividad y el beneficio de la simbiosis en especies forestales en sustratos deficientes en fósforo. Con respecto a esto, Rivera et al. (2020) informaron que con muy alta disponibilidad de nutrientes se obtienen los menores efectos de la inoculación con cepas eficientes y se alcanza la mayor efectividad con disponibilidad media, pero si es baja o nula, no funciona la simbiosis y se obtienen plantas con menor crecimiento y baja efectividad de la inoculación.

Los resultados obtenidos en Cuba al utilizar inoculantes simples de cepas “generalistas” con las especies vegetales en una amplia cantidad de cultivos y tipos de suelos, han permitido recomendar la aplicación de INCAM-11 (*R. irregulare*) a los cultivos en suelos Pardos, Húmicos Calcimórficos, Vérticos e incluso Ferralíticos Rojos, siempre que el pH-H<sub>2</sub>O sea de 7 a 8 (Riera Nelson & Favier Mena, 2018; Rivera et al., 2020). La aplicación de INCAM-4 (*G. cubense*) se recomendó para suelos cuyo pH se encuentra en el rango de 5,8 a 7,2, con una zona de solapamiento de la efectividad de ambas cepas entre pH 7 y 7,2 (Rivera et al., 2020). No obstante, existen cultivos que presentan compatibilidades específicas con algunas cepas y en ese caso, además de asociarse con la cepa recomendada de acuerdo con el pH del suelo, se asocian con la cepa compatible (Rivera et al., 2020).

En Cuba no se cuenta con información en la literatura sobre los requerimientos de nutrientes y las concentraciones que deben tener las hojas del cultivo de cacao en condiciones de vivero, pero en Perú, García Reyes (2018) estimó que las plantas en vivero entre 2 a 6 meses, requieren 2,4 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 0,6 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 2,4 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. Este vacío en el conocimiento limita la adecuada interpretación de los análisis foliares y por lo tanto, los valores usados como concentraciones de referencia para interpretar y comparar los resultados, son datos de investigaciones de otros países como Colombia, Brasil y Ghana, obtenidos en condiciones de producción con diferentes clones de cacao y con un suministro óptimo de nutrientes mediante fertilización química.

El análisis epistémico a los aportes de la diversidad de autores antes señalados, ha permitido conocer el no uso de indicadores para determinar la calidad de las posturas de cacao, ya que son utilizados en plántulas de café (da Silva Ardito et al., 2017; de Sousa Cruz et al., 2020; Marana et al., 2008; Pechara da Costa Jaeggi et al., 2018)

y forestales (Falcón Oconor et al., 2015; Falcón Oconor et al., 2021; Noguera-Talavera et al., 2014; Rodríguez-Ortiz et al., 2021). El objetivo de este trabajo fue definir indicadores de calidad para posturas de cacao producida vía micro injertos, en función de las fuentes orgánicas y hongos micorrízicos arbusculares en un suelo Cambisol.

## Materiales y métodos

### Descripción general

El trabajo se desarrolló en la Universidad de Guantánamo, en conjunto con la Empresa Agroforestal y Coco de Baracoa, durante el periodo 2018 - 2019, en el vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, localizado a 20 °22' latitud N y 74 °32' longitud O, municipio Baracoa, provincia de Guantánamo. Se utilizó un suelo Cambisol éutrico arcilloso (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015), algunas de sus características químicas se reflejan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características químicas del suelo Cambisol éutrico, en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018.

**Table 1.** Chemical characteristics of the Eutric Cambisol soil in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018.

M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	$P_2O_5$		$K_2O$		K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup>
		(mg 100 g suelo <sup>-1</sup> )						
32,44	6,15	142,14	122,32	9,14	21,40	0,90		

Los sustratos para el llenado de las bolsas (suelo: cáscara de cacao descompuesta, suelo / humus de lombriz en proporciones 3:1, 5:1 v/v) se caracterizaron por ser ligeramente básicos con altos contenidos de fósforo y potasio disponibles. Al disminuir la proporción de los abonos orgánicos en la mezcla (Cuadro 2) disminuyeron de forma proporcional los valores de fósforo y potasio disponibles. La cáscara de cacao se obtuvo de un proceso de compostaje.

**Cuadro 2.** Análisis químico de los sustratos 3:1 y 5:1 de suelo: cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), suelos: humus de lombriz (*Lumbricus terrestris*) en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018.

**Table 2.** Chemical analysis of the 3:1 and 5:1 soil substrates: cocoa (*Theobroma cacao* L.) husk, soils: earthworm humus (*Lumbricus terrestris*) in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018.

Sustratos	MO (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	$P_2O_5$ (mg 100 g <sup>-1</sup> )	$K_2O$ (mg 100 g <sup>-1</sup> )
Cáscara de cacao 3:1v/v	4,72	7,30	222,40	54,30
Cáscara de cacao 5:1v/v	3,80	7,35	121,20	45,20
Humus de lombriz 3:1v/v	4,50	7,40	234,40	61,30
Humus de lombriz 5:1v/v	3,82	7,30	134,90	53,90

El pH-H<sub>2</sub>O se determinó en una relación suelo: solución (1:2,5) por el método potenciométrico. La determinación de la materia orgánica por el método de Walkley-Black (oxidación del C con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,50 M en

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (18 M al 98 %) y valoración con SO<sub>4</sub>FeNH<sub>4</sub> (0,25 M). La determinación del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y el K<sub>2</sub>O se hizo por el método de Machiguín (solución extractiva de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> con concentración de 10 g L<sup>-1</sup>, pH 9,0) y valoración con ácido ascórbico. Los cationes intercambiables se obtuvieron por extracción 1/5 con NH<sub>4</sub>Ac 1 M pH 7 y determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (K).

Las características climáticas de la localidad se consideran adecuadas para el cultivo de cacao según Suarez et al. (2013). En una serie de diez años (2010 – 2020), se presentaron temperaturas promedio anuales de 25,50 °C y precipitaciones promedio anuales que variaron desde 1500 a 1800 mm, reportándose por encima de los 100 mm mensuales desde la segunda quincena de marzo hasta la primera de julio y desde septiembre hasta diciembre.

Para la conformación de los micro injertos se utilizaron los clones cubanos UF- 650 (patrón) y como yemas el clon UF – 654. Ambos materiales procedían del Banco de Germoplasma de Cacao de la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base de Baracoa (UCTB). Se utilizó como cubierta para el control de la insolación una malla sarán negra, con un paso de luz de 50 %, colocada a 2 m por encima de los bolsos, así como en el costado del vivero, para evitar la luz solar directa sobre las plántulas y se realizó el riego por goteo.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, donde se estudiaron la efectividad de la inoculación con hongos micorrízicos abusculares: con las cepas *Glomus cubense*/INCAM-4 y *Rhizogloium irregulare*/INCAM-11, en presencia de dos fuentes de abono orgánico, humus de lombriz (*Lumbricus terrestris*) especie *Eisenia fétida* (Savigny, 1826) y cacao (*Theobroma cacao*), ambas en relación 5:1 suelo: abono orgánico y en presencia de dos tratamientos control de 3:1 suelo: abono orgánico, con una u otra fuente, respectivamente. Las parcelas experimentales estuvieron conformadas por cincuenta posturas, de las cuales se evaluaron veinticinco.

Los tratamientos utilizados fueron:

- a) Suelo: cáscara de cacao 3:1v/v sin inocular (control).
- b) Suelo: humus de lombriz 3:1v/v sin inocular (control).
- c) Suelo: cáscara de cacao 5:1v/v + INCAM -11.
- d) Suelo: humus de lombriz 5:1v/v + INCAM -11.
- e) Suelo: cáscara de cacao 5:1v/v+ INCAM -4.
- f) Suelo: humus de lombriz 5:1v/v+ INCAM -4 .

Las cepas utilizadas del hongo micorrizico fueron *Glomus cubense*/INCAM-4 (Rodríguez et al., 2011) y *Rhizogloium irregulare* (Sieverding et al., 2014) *syn. Rhizophagus irregulare*/INCAM-11 procedentes del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de la Habana (INCA). Ambas se formularon como inoculantes “simples” en formulación sólida, con más de treinta esporas por gramos de producto y una cantidad indeterminada de micelios y raicillas infectivas.

El inoculante se preparó a partir de la aplicación de un aislado de cada cepa con un alto grado de pureza, a semillas de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk y cultivadas en un sustrato específico (Fernández Martín et al., 2002). Después de cuatro meses, se cortaron las plantas y se extrajo el sustrato enriquecido con propágulos de micorrizas. Este material se secó a temperatura ambiente a la sombra y se molió en forma de polvo (89 % < 0,84 mm). Los inoculantes consistieron en una mezcla de material de sustrato con propágulos micorrízicos que incluían raíces con micorrizas.

Al alcanzar los micro injertos de cacao una altura promedio de 5 cm en el germinador, se seleccionaron y se introdujeron en la mezcla de 1 kg de inoculante en 1 L de agua durante un minuto y posterior reposo de 30 min. Luego, los micro injertos micorrizados se trasplantaron a las bolsas de polietileno (14,5 cm x 24 cm) que contenían el sustrato preparado.

## VARIABLES EVALUADAS

Las variables evaluadas fueron:

a) Altura de las plantas (cm), la cual se utilizó cinta métrica y se midió desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal.

b) Diámetro del tallo (mm), medido por debajo de la cicatriz cotiledonal, con un pie de rey con precisión 0,05 cm.

c) Biomasa seca de la parte aérea y radical de doce plantas por tratamientos (g/planta), para ello se tomó la parte aérea y radical de las plantas, se secaron en estufa de circulación forzada, a 70 °C, hasta alcanzar valores de masa constante en balanza analítica digital ( $\pm 0,0001$  g de error) marca Sartorius.

d) Área foliar real (cm<sup>2</sup>), a partir de la longitud y ancho de las hojas y con base en la ecuación 1 descrita por Mollericono Alfaro et al. (2022).

$$AF = 0,6877 (\text{largo} \times \text{ancho}) + 0,5189 \quad (1)$$

e) Contenidos de nutrimentos en la parte aérea de plantas crecidas en vivero (N, P y K) (g/planta): se determinó el porcentaje de N, P y K a la masa seca de la parte aérea de las plantas. Se realizó la digestión húmeda con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y Se, para la posterior determinación de nitrógeno (N) por colorimetría con el reactivo de Nessler, fósforo (P) por determinación colorimétrica a partir de la reducción del complejo molibdo fosfórico y potasio (K) por fotometría de llama. Luego se calculó el contenido de N, P y K (g/planta) a través de la ecuación 2.

$$\text{Contenido del elemento (g/planta)} = [\text{Masa seca} \times \text{concentración del elemento}] / 100 \quad (2)$$

f) Índice de esbeltez (IE), se determinó por la ecuación 3.

$$IE = \text{altura de las plantas} / \text{diámetro del tallo} \quad (3)$$

g) Índice de calidad (ICD) de Dickson et al. (1960), para el cual se utilizó la ecuación 4.

$$ICD = \text{MST} / \text{RAD} + \text{RPAR} \quad (4)$$

Donde:

MST: peso seco total, g (aéreo+radical).

RAD: relación altura (cm)/diámetro (mm).

RPAR: relación peso seco parte aérea (g)/peso seco parte radical(g).

## PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

A los cuatro meses de inoculación se tomaron muestras de raíces finas de ocho plantas por parcela, ubicadas en la parte central del cantero. Las raíces fueron teñidas con tinta de bolígrafo azul Parker Quink lavable en agua (Rodríguez Yon et al., 2015) y evaluadas con el método de los interceptos (Giovannetti & Mosse, 1980).

Las raíces se lavaron con agua común y se secaron en estufa a 70 °C hasta peso constante. La tinta de bolígrafo azul Parker Quink lavable en agua, se preparó a razón de 25 mL en 1000 mL de ácido clorhídrico (1N) al 2,5 % (v/v). Luego, se clarificaron las raíces en solución de hidróxido de potasio al 10 % (m/v) incubado en estufa a 90 °C de 30 min a 1 h y luego se eliminó la solución al lavar tres veces con abundante agua de grifo. Se añadió la solución de tinta, se dejó en reposo por 15 min a temperatura ambiente y a continuación se colocó en la estufa de 10 a 15 min a 70 °C. La lectura de las muestras se realizó en estereoscopio (Carl Zeiss, Stemi 2000-C/50x). A partir de las lecturas se determinaron los porcentajes de colonización micorrízica.

## ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el procesamiento estadístico se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov - Smirnov (Sheskin, 2000) y la homogeneidad de la varianza por la prueba de Levene (Sheskin, 2000). Luego, se

realizó el análisis de varianza de clasificación simple, realizándose los correspondientes análisis de varianza por el programa Statgraphics versión 5.1 en ambiente Windows. Los datos de colonización micorrízica (porcentaje de colonización) fueron transformados por Arc.  $\text{sen}\sqrt{x}$ . Cuando el análisis de varianza fue significativo, se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiple de Duncan (Duncan, 1955) para 95 % de probabilidad, como criterio de comparación entre las medias de los tratamientos.

La relación entre los indicadores de calidad se ajustó a varios modelos de regresión y como criterio de selección se tomó el de mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

## Resultados

La inoculación de las posturas con *G. cubense* y *R. irregulare* en sustratos conformados por cáscara de cacao o humus de lombriz ambos en proporción 5:1, incrementaron la altura de la planta en ambos años, sin diferencias entre los mismos (Cuadro 3) y fueron significativamente superiores a los tratamientos no inoculados conformados por sustratos con una relación S/AO de 3/1. Los promedios en la altura de la plantas inoculadas con micorrizas alcanzaron valores de 31 cm, mientras que en los controles fueron entre 26 cm y 28 cm.

**Cuadro 3.** Efecto de la inoculación con dos cepas de HMA (*G. cubense* y *R. irregulare*) sobre indicadores morfológicos de los microinjertos de cacao (*Theobroma cacao*) en dependencia del sustrato, en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

**Table 3.** Effect of inoculation with two AMF strains (*G. cubense* y *R. irregulare*) on morphological indicators of cocoa (*Theobroma cacao*) micro-grafts depending on the substrate, in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)		Índice esbeltez (IE)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
3:1 S/CC (Control)	26,70 <sup>b</sup>	26,57 <sup>b</sup>	6,35 <sup>b</sup>	5,84 <sup>b</sup>	4,20 <sup>c</sup>	4,55 <sup>c</sup>
3:1 S/HL (Control)	28,14 <sup>b</sup>	27,93 <sup>b</sup>	6,40 <sup>b</sup>	5,98 <sup>b</sup>	4,39 <sup>d</sup>	4,67 <sup>d</sup>
5:1 S/CC+ INCAM-11	32,71 <sup>a</sup>	30,14 <sup>a</sup>	7,90 <sup>a</sup>	6,97 <sup>a</sup>	4,11 <sup>b</sup>	3,78 <sup>b</sup>
5:1 S/HL+ INCAM-11	31,25 <sup>a</sup>	30,43 <sup>a</sup>	7,62 <sup>a</sup>	6,87 <sup>a</sup>	3,54 <sup>a</sup>	3,43 <sup>a</sup>
5:1 S/CC+ INCAM-4	31,94 <sup>a</sup>	31,14 <sup>a</sup>	7,55 <sup>a</sup>	7,03 <sup>a</sup>	3,82 <sup>b</sup>	3,69 <sup>b</sup>
5:1 S/HL+ INCAM-4	31,71 <sup>a</sup>	31,57 <sup>a</sup>	7,54 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>	3,59 <sup>a</sup>	3,55 <sup>a</sup>
Es $\bar{x}$	1,02	1,17	0,30	0,21	0,01	0,02

\*S/CC: suelo / cáscara de cacao; S/HL: suelo / humus de lombriz. INCAM-4: *Glomus cubense* e INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para 95 % de probabilidad. / \* S/CC: soil / composted cocoa husk; S/HL: soil / earthworm humus. INCAM-4: *Glomus cubense* and INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Means with different letters in the same column differ from each other according to Duncan test for 95 % probability.

El diámetro del tallo no mostró diferencias significativas entre las cepas en los sustratos 5:1 con cáscara de cacao y humus de lombriz, con promedios entre 7,23 mm y 7,34 mm, pero con diferencias significativas respecto a los controles que alcanzaron promedios entre 6,10 mm y 6,19 mm.

Al evaluar el índice de esbeltez (relación altura/diámetro) los mejores valores se encontraron en los tratamientos donde se inocularon *G. cubense* (INCAM-4) y *R. irregulare* (INCAM-11), los cuales superaron estadísticamente ( $p < 0,05$ ) a los testigos; así, con la cepa INCAM-11 se alcanzó un promedio para los dos años de

3,71 y con INCAM-4 fue de 3,61, mientras que con 3:1 suelo / cáscara de cacao estuvo en 4,37 y con 3:1 suelo: humus de lombriz fue de 4,53; es de señalar que este indicador mientras menor valor presente será un indicador de mayor vigor y calidad de las plántulas.

La inoculación de las cepas de hongos micorrízicos en el sustrato 5:1 con cáscara de cacao o humus de lombriz, incrementaron significativamente la masa seca de la parte aérea y radical, respecto a los tratamientos control (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la inoculación de dos cepas de HMA (*G. cubense* y *R. irregulare*) con proporción y fuente de materia orgánica sobre la masa seca foliar, radicular y total (g/planta) en la producción de postura de cacao (*Theobroma cacao*), en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

**Table 4.** Effect of inoculation with two AMF strains (*G. cubense* y *R. irregulare*) with proportion and source of organic matter on shoot, root and total dry mass (g/plant) in cocoa (*Theobroma cacao*) seedling production, in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

Tratamientos	Masa seca aérea (g)		Masa seca radical (g)		Masa seca total (g)		Masa seca aérea / masa seca radical (g)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
3:1S/CC	2,55 <sup>c</sup>	2,67 <sup>c</sup>	0,37 <sup>c</sup>	0,35 <sup>c</sup>	2,92 <sup>c</sup>	3,02 <sup>c</sup>	6,89 <sup>d</sup>	7,62 <sup>c</sup>
3:1 S/HL	2,83 <sup>b</sup>	2,80 <sup>b</sup>	0,41 <sup>b</sup>	0,43 <sup>b</sup>	3,24 <sup>b</sup>	3,23 <sup>b</sup>	6,90 <sup>d</sup>	6,51 <sup>d</sup>
5:1 S/CC +INCAM-11	3,69 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>	4,32 <sup>a</sup>	6,47 <sup>b</sup>	6,32 <sup>b</sup>
5:1S/HL + INCAM-11	3,72 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	4,30 <sup>a</sup>	4,35 <sup>a</sup>	6,41 <sup>b</sup>	6,25 <sup>b</sup>
5:1 /CC + INCAM-4	3,70 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	4,26 <sup>a</sup>	4,31 <sup>a</sup>	6,60 <sup>c</sup>	6,43 <sup>c</sup>
5:1S/HL + INCAM-4	3,73 <sup>a</sup>	3,72 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	4,33 <sup>a</sup>	4,34 <sup>a</sup>	6,22 <sup>a</sup>	6,00 <sup>a</sup>
Es $\bar{x}$	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,021

\*S/CC: suelo / cáscara de cacao; S/HL: suelo / humus de lombriz. INCAM-4: *Glomus cubense* e INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para 95 % de probabilidad. / \*S/CC: soil / composted cocoa husk; S/HL: soil / earthworm humus. INCAM-4: *Glomus cubense* and INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Means with different letters in the same column differ from each other according to Duncan test for 95 % probability.

Para la masa seca total, se encontraron incrementos significativos similares como el alcanzado en sus componentes (masa seca aérea y masa seca radical). La inoculación con *Rhizoglyphus irregulare* y *Glomus cubense* durante los dos años evaluados, permitió incrementos de la masa seca total promedio de 39 % en relación con los tratamientos controles.

El efecto benéfico también se observó en la relación masa seca aérea / masa seca radical, con diferencias significativas entre las posturas con micorrizas y los tratamientos control. La inoculación con *G. cubense* (5:1 suelo / humus), superó estadísticamente al resto de los tratamientos, mientras que con 5:1 suelo / cáscara de cacao fue inferior a lo alcanzado con la cepa *R. irregulare* en ambos sustratos. El promedio de dos años para este indicador estuvo para el tratamiento con *G. cubense* en 6,31 y con *R. irregulare* fue de 6,36, en los tratamientos control estuvo entre 6,89 - 6,90. Este parámetro es muy importante para el establecimiento de las plantas en campo, pues mientras menor valor se obtenga en esta relación, existirá más vigor en la planta.

En cuanto al área foliar, la inoculación incrementó significativamente esta variable en ambos años en comparación con los tratamientos no inoculados y sin diferencias significativas entre las cepas; asimismo, no se encontró efecto significativo entre los sustratos (Cuadro 5). Se encontró como promedio de área foliar entre 1452



**Cuadro 5.** Efecto de la inoculación de dos cepas de HMA (*G. cubense* y *R. irregulare*) sobre la colonización micorrízica (%), el área foliar (cm<sup>2</sup>) y el índice de calidad de Dickson en posturas de cacao (*Theobroma cacao*), en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

**Table 5.** Effect of the inoculation of substrate AMF strains (*G. cubense* y *R. irregulare*) on mycorrhizal colonization (%), leaf area (cm<sup>2</sup>) and the Quality Index Dickson in cocoa (*Theobroma cacao*) micro-grafts, in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

Tratamientos	Infección (%)		Área foliar (cm <sup>2</sup> )		Índice calidad Dickson	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
3:1S/CC (Control)	16,05 <sup>b</sup>	17,24 <sup>b</sup>	1232,12 <sup>b</sup>	1241,11 <sup>b</sup>	0,27 <sup>c</sup>	0,28 <sup>c</sup>
3:1S/HL (Control)	18,17 <sup>b</sup>	19,14 <sup>b</sup>	1251,13 <sup>b</sup>	1272,14 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>
5:1S/CC+ INCAM-11	38,00 <sup>a</sup>	37,22 <sup>a</sup>	1495,14 <sup>a</sup>	1480,12 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>
5:1S/HL+ INCAM-11	37,00 <sup>a</sup>	37,00 <sup>a</sup>	1502,11 <sup>a</sup>	1493,12 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>
5:1S/CC+ <i>INCAM-4</i>	34,33 <sup>a</sup>	33,00 <sup>a</sup>	1431,15 <sup>a</sup>	1447,16 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>
5:1S/HL+ <i>INCAM-4</i>	33,00 <sup>a</sup>	34,00 <sup>a</sup>	1462,17 <sup>a</sup>	1468,13 <sup>a</sup>	0,42 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>
Es $\bar{x}$	1,11	1,15	57,07	53,88	0,01	0,02

\* S/CC: suelo / cáscara de cacao; S/HL: suelo / humus de lombriz. INCAM-4: *Glomus cubense* e INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para 95 % de probabilidad. / \* S/CC: soil / composted cocoa husk; S/HL: soil / earthworm humus. INCAM-4: *Glomus cubense* and INCAM-11: *Rhizoglyphus irregulare*. Means with different letters in the same column differ from each other according to Duncan test for 95 % probability.

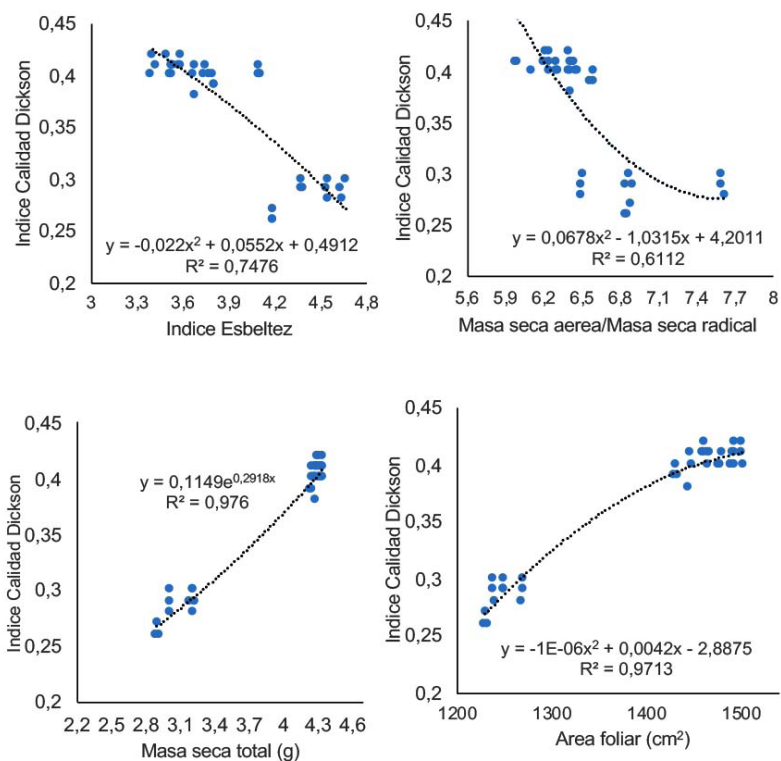
cm<sup>2</sup> y 1493 cm<sup>2</sup> en las posturas con micorrizas en ambos sustratos, lo que representó incrementos de un 14 – 20 % con respecto a los testigos no inoculados.

El porcentaje de colonización fúngica reflejó una respuesta significativa y similar a la inoculación de ambas cepas con valores entre 34 % y 37 %, sin presentar efecto de los sustratos y con valores significativamente superiores a los tratamientos no inoculados.

Los valores más altos del Índice de Dickson se obtuvieron en las posturas inoculadas, con diferencias significativas respecto a los tratamientos control. No se encontraron diferencias entre *R. irregulare* y *G. cubense* en ambos sustratos. El valor medio alcanzado con las cepas estuvo en 0,40, mientras en los testigos fue de 0,27, lo que representó un incremento de un 48 %.

El ICD se relacionó de forma positiva con los otros indicadores (Figura 1). Las mayores correlaciones se encontraron con la masa seca total ( $R^2= 0,97$ ) y el área foliar ( $R^2= 0,97$ ), seguida del IE ( $R^2= 0,74$ ) y con menos valor con la relación masa seca aérea / masa seca radical ( $R^2= 0,61$ ), lo que constituye una información valiosa para evaluar el manejo adecuado de las posturas de cacao y permitió tomar como criterio de calidad de una postura de cacao además del ICD, a la masa seca total y al área foliar.

La inoculación con las cepas de micorrizas incrementó las concentraciones de nutrientes en las hojas respecto a los controles (Cuadro 6). Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de nitrógeno entre las cepas, *R. irregulare* permitió valores superiores de N (24 – 25 g kg<sup>-1</sup>) con relación con *G. cubense* (21 – 23 g kg<sup>-1</sup>). Para las concentraciones de fósforo, la cepa *G. cubense* (2,50 – 2,53 g kg<sup>-1</sup>) superó significativamente a *R. irregulare* (2,39 – 2,46 g kg<sup>-1</sup>), pero ambas superaron a los testigos. En cuanto a las concentraciones de potasio foliar, no se encontraron diferencias entre los tratamientos con *R. irregulare* y *G. cubense*, pero sí respecto a los controles.



**Figura 1.** Relación entre índice de calidad de Dickson con índice de esbeltez, masa seca total (g), área foliar (cm<sup>2</sup>) y la relación masa seca aérea / masa seca radical en posturas de cacao (*Theobroma cacao*) en el vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018–2019.

**Figure 1.** Relationship between the Dickson Quality Index with the Slenderness Index, total dry mass (g), leaf area (cm<sup>2</sup>), and shoot dry mass / root dry mass ratio in cocoa (*Theobroma cacao*) seedlings in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018–2019.

**Cuadro 6.** Efecto de la inoculación de dos cepas de HMA (*G. cubense* y *R. irregularis*) sobre las concentraciones de nutrientes foliares (N,P,K) de las posturas de cacao (*Theobroma cacao*) (g kg<sup>-1</sup> de masa seca), en vivero del Centro de Gestión Paso de Cuba, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

**Table 6.** Effect of the inoculation with two AMF strains (*G. cubense* y *R. irregularis*) on foliar nutrient concentrations (N,P,K) of cocoa (*Theobroma cacao*) seedlings (g kg<sup>-1</sup> de mass dry), in the nursery of the Paso de Cuba Management Center, Baracoa, Cuba. 2018 – 2019.

Tratamientos	N		P		K	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
3:1 S/CC (Control)	20,20 <sup>c</sup>	21,18 <sup>c</sup>	2,10 <sup>d</sup>	2,20 <sup>d</sup>	21,10 <sup>b</sup>	22,20 <sup>b</sup>
3:1 S/HL (Control)	21,10 <sup>c</sup>	20,40 <sup>c</sup>	2,15 <sup>d</sup>	2,22 <sup>d</sup>	22,80 <sup>b</sup>	21,40 <sup>b</sup>
5:1 S/CC+ INCAM-11	21,20 <sup>b</sup>	22,40 <sup>b</sup>	2,38 <sup>c</sup>	2,40 <sup>c</sup>	23,90 <sup>a</sup>	24,15 <sup>a</sup>
5:1 S/HL+ INCAM-11	24,20 <sup>a</sup>	25,33 <sup>a</sup>	2,45 <sup>b</sup>	2,48 <sup>b</sup>	24,80 <sup>a</sup>	25,50 <sup>a</sup>
5:1 S/CC+ INCAM-4	20,80 <sup>b</sup>	21,30 <sup>b</sup>	2,50 <sup>a</sup>	2,53 <sup>a</sup>	24,20 <sup>a</sup>	24,40 <sup>a</sup>
5:1 S/HL+ INCAM-4	23,21 <sup>a</sup>	22,82 <sup>b</sup>	2,52 <sup>a</sup>	2,50 <sup>a</sup>	25,50 <sup>a</sup>	25,90 <sup>a</sup>
Es $\bar{x}$	0,15	0,17	0,015	0,019	0,15	0,13

\* S/CC: suelo / cáscara de cacao; S/HL: suelo / humus de lombriz. INCAM-4: *Glomus cubense* e INCAM-11: *Rhizoglyphus irregularis*. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para 95 % de probabilidad. / \* S/CC: soil / composted cocoa husk; S/HL: soil / earthworm humus. INCAM-4: *Glomus cubense* and INCAM-11: *Rhizoglyphus irregularis*. Means with different letters in the same column differ from each other according to Duncan test for 95 % probability.

## Discusión

Los promedios en la altura y del diámetro del tallo de las posturas de cacao obtenidas por microinjertos a los cuatro meses posterior a la inoculación con las cepas de micorrizas *G. cubense* y *R. irregulare* en un sustrato 5:1, fueron similares a los obtenidos en igual periodo, en posturas de cacao obtenidas por semillas por Suparno et al. (2015), con la aplicación del inóculo Mycofer (conformado por cuatro especies de HMA) y por Vallejos-Torres et al. (2022), con una mezcla de esporas de cuatro cepas de micorrizas (*Glomus* sp., *Rhizoglomus* sp., *Diversispora aurantia* y *Acaulospora* sp.) más compost, quienes obtuvieron como promedio altura entre 36 cm y 38 cm y diámetros del tallo de 7,26 mm, superiores al control. Esto sugiere que las posturas de cacao obtenidas vía microinjertos o por semillas, pueden responder a la inoculación con micorrizas con independencia de las cepas y el sustrato.

Los valores encontrados en el área foliar en las posturas con micorrizas en ambos sustratos coincidieron con los obtenidos por Vallejos-Torres et al. (2022), quienes al mejorar el sustrato para la producción de posturas de cacao con la aplicación de compost más una mezcla de esporas de cuatro cepas de micorrizas, obtuvieron como promedio 1400 cm<sup>2</sup> de área foliar.

La utilización del indicador área foliar para evaluar la calidad de una postura, por su carácter integrador del crecimiento óptimo de una planta, ha sido utilizado en viveros de diferentes cultivos. Los trabajos más detallados en Cuba, lo constituyen los realizados en cafeto (Sánchez Esmoris et al., 2011), en portainjertos de *Persea americana* L. (Fundora Sánchez et al., 2011), *Mussa* sp. (Simó González et al., 2017), *T. cacao* (Bustamante-González & Rojas-Osoria, 2017) y *Talipariti elatum* (sw.) fryxell (Falcón Oconor et al., 2015), donde se encontró respuesta positiva de las combinaciones de cepa de HMA-relación suelo: abono orgánico, con incrementos significativos en el crecimiento y área foliar, así como en la disminución de las cantidades aplicadas de abonos orgánicos en el sustrato.

El empleo de compost de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) en proporción de 20 % de la mezcla con suelo, permitió obtener efectos positivos en los índices de esbeltez y de calidad de Dickson en posturas de cacao respecto a la utilización de 10 y 40 % del abono y todos superaron al testigo (Orellana Tobar & Anaya Hernández, 2021).

Los resultados obtenidos en la inoculación de HMA con la disminución de la cantidad de abono orgánico en el sustrato (5:1), pudo estar relacionada con la menor cantidad el P disponible en el suelo respecto a la relación 3:1, mientras que el pH del suelo pasó de ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Con respecto al pH, las cepas *R. irregulare* y *G. cubense* funcionaron bien en el sustrato 5:1 con pH de 7,30-7,35, lo que coincide con Vallejos-Torres et al. (2022), quienes en el tratamiento compost más una mezcla de esporas de cepas de micorrizas aplicadas a posturas de cacao, encontraron que las especies *Glomus* sp. y *Rhizoglomus* sp. tuvieron un funcionamiento adecuado en pH por encima de 7.

Los promedios encontrados para los dos años, de 3,71 – 3,61 en las plantas inoculadas, en el índice de esbeltez (IE) se consideran adecuados para una postura según Marana et al. (2008). El IE (relación altura/diámetro) se desarrolló para evaluar distintas combinaciones de parámetros morfológicos y recomendado como indicador de un mayor vigor y calidad de las plántulas (Noguera-Talavera et al., 2014; Rodríguez-Ortiz et al., 2021); así, mientras menores valores se obtenga, serán plantas que podrían presentar una mayor resistencia mecánica a los fuertes vientos, más esbeltas y con tallos vigorosos (Romero-Marcano et al., 2021).

El crecimiento también fue favorecido, en biomasa aérea, radical y total, lo que representaría una mayor productividad. El comportamiento de la masa seca total de las posturas de cacao fue similar al observado para la masa seca aérea y la masa seca radical. Con la utilización de un sustrato 5:1 suelo Cambisol / cachaza y la inoculación de *Rhizoglomus irregulare* y *Glomus cubense* en posturas de cacao obtenidas por semillas híbridas, Bustamante-González & Rojas-Osoria (2017) informaron de incrementos de la materia seca en un 44 % respecto al testigo sin inocular.

Los valores obtenidos en la relación altura / diámetro del tallo y la relación masa seca aérea / radical, fueron superiores a los reportados por Marana et al. (2008) con el empleo de un sustrato de humus de lombriz / cáscara de arroz (4:1 v/v) en posturas de cafeto y estuvieron en los rangos establecidos por Müller et al. (1997), quienes sitúan a la relación masa seca aérea / radical entre cuatro y siete, y la altura / diámetro del tallo por debajo de seis.

La alta relación entre el ICD con el área foliar y la masa seca total, coinciden con lo obtenido por Dardengo et al. (2013) en posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.). La producción de materia seca y el área foliar permiten evaluar el crecimiento de las plantas en respuesta a la radiación solar incidente, en la que la cantidad total acumulada es un reflejo directo de la producción fotosintética neta sumada a la cantidad de nutrientes.

El ICD integra todos los parámetros de los demás índices calculados, permitió evaluar mejor las diferencias morfológicas entre las plantas de los diferentes tratamientos y se ha utilizado para predecir el comportamiento en viveros de *Talipariti elatum* (sw.) fryxell (Falcón Oconor et al., 2015), *Coffea* spp. (da Silva Ardito et al., 2017; de Sousa Cruz et al., 2020; Pechara da Costa Jaeggi et al., 2018) y en *Swietenia mahagoni*, L. Jacq (Falcón Oconor et al., 2021). Este índice fue el mejor parámetro para indicar la calidad de una planta, ya que expresó el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura, pero de mayor vigor, pues mientras mayor sea el ICD obtenido por una planta, se le considera de mayor calidad con respecto a otras (Dickson et al., 1960).

El trabajo más integral que definió los indicadores mínimos de calidad de una postura, lo realizaron Marana et al. (2008) en la producción de cafeto en tubetes con la aplicación de dos sustratos, uno de fertilizante de liberación lenta (Plantmax- café®) y otro a base de humus de lombriz / cáscara de arroz (4:1 v/v). Con la aplicación de 10 kg m<sup>-3</sup> Plantmax- café® las posturas alcanzaron un ICD de 0,21, IE de 4, masa seca total de 1,7 y relación masa seca aérea/radical de 4,7; por lo que los resultados obtenidos en las posturas de cacao vía microinjertos con la inoculación de cepas eficientes de micorrizas, reúnen las condiciones óptimas de una postura de calidad, según estos criterios.

En las posturas de cacao en su fase de vivero, la cantidad de NPK mostró la siguiente proporción de N > K > P, lo que coincidió con lo reportado por Ricárdez-Pérez et al. (2020) en posturas de cacao en México y en plantaciones establecidas en Ghana (Mohammed et al., 2020); estos nutrimentos se concentraron principalmente en las hojas, con valores superiores a los obtenidos en las raíces.

Estudios realizados en Colombia y Brasil, establecieron como adecuados los rangos para el nitrógeno de 18 – 25 g kg<sup>-1</sup> y para el fósforo de 1,5 – 2,5 g kg<sup>-1</sup>, a nivel foliar (Góes de Oliveira et al., 2019; Marrocos et al., 2020; Puentes-Páramo et al., 2016). Estos valores fueron similares a los obtenidos en las posturas de cacao inoculadas con HMA con un sustrato 5:1 con cáscara de cacao o humus de lombriz, lo que sugiere que dichas plantas tienen una adecuada concentración de nutrientes foliares, a partir de los criterios de esos autores. La cantidad de N, P y K, sustenta la efectividad de *Glomus cubense* y *Rhizogloium irregulare* con esos niveles de abono orgánico (5:1) para las posturas de cacao en un suelo Cambisol éutrico, al provocar una mayor asimilación de nutrientes por parte de las plantas micorrizadas y por lo tanto, mayor crecimiento, debido a que los HMA incrementan el volumen de suelo a explorar por las raíces a través de una red de hifas interconectadas, que favorece el aumento de la absorción de agua y elementos minerales presentes en el suelo, como los de difusión limitada como el P (Klabi et al., 2014). Por lo que, un funcionamiento micorrízico efectivo incrementa la absorción de los nutrientes del suelo (Medina & Azcon, 2010; Simó González et al., 2017).

Los resultados obtenidos en cuanto a la colonización fueron similares a los obtenidos por Leblanc Ureña & Márquez Espinosa (2014) al comparar diferentes cepas de HMA en viveros de cacao, en los cuales no se presentaron diferencias entre la inoculación de diferentes especies como *Glomus* sp., *Acaulospora* y *Glomus fasciculatum* con porcentajes de colonización de las raicillas de 31 %, mientras que reportaron valores del 14 % en el testigo no inoculado. La colonización micorrízica en los tratamientos no inoculados, permitió establecer la presencia de cepas residentes en el suelo, debido a que el cacao es un cultivo que de forma natural establece simbiosis con los HMA presentes en los suelos (Latacela Coello et al., 2017; Leblanc Ureña & Márquez Espinoza, 2014); sin embargo, el

porcentaje de colonización fue inferior a las plantas inoculadas, lo cual unido con las respuestas significativas a la inoculación obtenida en los diferentes indicadores de crecimiento de las posturas, avala la necesidad de inocular en estos suelos para obtener los beneficios de una micorrización efectiva.

La factibilidad de la aplicación de fuentes orgánicas de cáscara de cacao descompuesta y de humus de lombriz en las mezclas con suelo Cambisol para la producción en viveros de plantas de cacao por microinjertos en proporción 5:1 y la inoculación con cepas eficientes de HMA (*R. irregulare*, *G. cubense*), permitió no solo un ahorro de materia orgánica de 34 % en comparación con la relación 3:1, sino que se obtuvo posturas de calidad y cuya integración pueda ser la base para mejorar la eficiencia tecnológica de producción de cacao en Cuba.

Los resultados expuestos son una contribución científica a considerar en el manejo de las posturas de cacao en Cuba.

## Conclusiones

Con la utilización de un sustrato 5:1 de suelo / humus de lombriz o cáscara de cacao inoculado con *Rhizoglyphus irregulare*/INCAM-11 o *Glomus cubense*/INCAM-4 se incrementó el crecimiento y desarrollo de las posturas de cacao, por lo que su integración mejorará la tecnología de producción por microinjertos en el municipio de Baracoa-Cuba, como zona representativa del 68 % de las plantaciones del país.

Las variables masa seca total, área foliar, índice de esbeltez y ICD, mostraron un carácter integrador del crecimiento de la planta y pueden ser utilizados como indicadores de calidad para los microinjertos de cacao, a partir de relaciones suelo: abonos orgánicos e inoculación con *G. cubense* y *R. irregulare*.

La cantidad de N, P y K foliares encontradas en las posturas de cacao con micorrizas, pueden utilizarse como referencias para interpretar y comparar resultados en condiciones de viveros.

## Referencias

- Augé, R. M., Toler, H. D., & Saxton, A. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25, 13–24. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4>
- Arvelo Sánchez, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, A. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Begum, N., Qin, Ch., Abass Ahanger, M., Raza, S., Ishfaq Khan, M., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bustamante-González, C., & Rojas-Osoria, M. (2017). Efecto de cepas de micorrizas y la riqueza del sustrato en el crecimiento de posturas de *Theobroma cacao* L y los índices de utilización de nutrientes. *Café Cacao*, 16(1), 22–34. <https://zenodo.org/record/4632358#.YmNwYtrMKCg>
- Broz, A. P, Verma, P. O., & Appel, C. (2016). Nitrogen dynamics of vermicompost use in sustainable agriculture. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 7(11), 173–183. <https://doi.org/10.5897/JSSEM2016.0587>

- Camargo-Ricalde, S. L., Montaña-Claudia, N. M., De la Rosa-Mera, C. J., & Montaña-Arias, S. A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 1–19.
- da Silva Ardito, A. C., Saggin Júnior, O. J., Ortega Fors, R., Correa da Costa, S. R., & Ribeiro da Silva, E. M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi selection for *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner clonal cultivar conilon. *Coffee Science*, 12(4), 486–497. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1352>
- de Sousa Cruz, R., Vieira Araújo, F. H., Cabral França, A., Tadin Sardinha, L., & Miranda Machado, C. M. (2020). Physiological responses of *Coffea arabica* cultivars in association with arbuscular mycorrhizal fungi. *Coffee Science*, 15, Article e151641. <https://doi.org/10.25186/cs.v15i.1641>
- Dardengo, M. C. J. D., Fernandes de Sousa, E., Fialho dos Reis, E., & de Amaral Gravina, G. (2013). Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. *Coffee Science*, 8(4), 500–509. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/512>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11(1), 1–42. <https://doi.org/10.2307/3001478>
- Falcón Oconor, E., Cobas López, M., Bonilla Vichot, M., Rodríguez Leyva, O., Romero Castillo, C. V., & Rodríguez Leyva, E. (2021). Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 311–325. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.15>
- Falcón Oconor, E., Riera Nelson, M. C., & Rodríguez Leyva, O. (2013). Efecto de la inoculación de hongos micorrizógenos sobre la producción de posturas forestales en dos tipos de suelos. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 32–39. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/issue/view/86>
- Falcón Oconor, E., Rodríguez Leyva, O., & Rodríguez Matos, Y. (2015). Aplicación combinada de micorriza y Fitomas-E en plantas de *Talipariti elatum* (sw.) fryxell (Majagua). *Cultivos Tropicales*, 36(4), 35–42. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1075>
- Fernández Martin, F., Gómez Álvarez, R., Vanegas López, L. F., Martínez Silva, M. A., de la Noval Pons, B. M., & Rivera Espinosa, R. (2002). *Producto inoculante micorrizógeno* (Certificado de Patente N° 22641). Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. <https://bit.ly/3IWz7ID>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (World Soil Resources Report 106). <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- Frey, S. D. (2019). Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 237–259. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331>
- Fundora Sánchez, L. R., Rivera Espinosa, R., Martín Cárdenas, J. V., Calderon Puig, A., & Torres Hernández, A. (2011). Utilización de cepas eficientes de hongos micorrizicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos Tropicales*, 32(2), 23–29. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/63>
- García Reyes, G. M. (2018). *Efecto de fertilización en drench de plántulas de Theobroma cacao L. grupo criollo, en vivero, Río Negro – Satipo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12894/4878>

- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscularmycorrhizal infection in roots. *The New Phytologist*, *84*(3), 489–500. <https://www.jstor.org/stable/2432123>
- Góes de Oliveira, M., Partelli, F. L., Cayô Cavalcanti, A., Gontijo, I., & Duarte Vieira, H. (2019). Soil patterns and foliar standards for two cocoa clones in the States of Espírito Santo and Bahia, Brazil. *Ciência*, *49*(10), Article e20180686. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180686>
- Igiehon, N. O., & Babalola, O. O. (2017). Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *101*, 4871–4881. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8344-z>
- Klabi, R., Hamel, C., Schellenberg, M. P., Iwaasa, A., Raies, A., & St-Arnaud, M. (2014). Interaction between legume and arbuscular mycorrhizal fungi identity alters the competitive ability of warm-season grass species in a grassland community. *Soil Biology and Biochemistry*, *70*, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.019>
- Latacela Coello, W., Colina Navarrete, E., Castro- Arteaga, C., Santana Aragón, D., León Paredes, J., García Vásquez, G., Goyes Cabezas, M., & Vera Suarez, M. (2017). Efectos de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre poblaciones de micorrizas asociadas al cultivo de cacao. *European Scientific Journal*, *13*(6), 464–479. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p464>
- Le Mire, G., Nguyen, M. L., Fassotte, B., du Jardin, P., Verheggen, F., Delaplace, P., & Haissam Jijakli, M. (2016). Review: implementing plant biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. *Biotechnol, Agronomy, Society and Environment*, *20*(S1), 299–313.
- Leblanc Ureña, H. A., & Márquez Espinoza, E. E. (2014). Efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de cacao en vivero. *Tierra Tropical*, *10*(2), 191–200.
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*, 3315–3335. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
- Marana, J. P., Miglioranza, É., de Pádua Fonseca, É., & Hiroshi Kainuma, R. (2008). Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, *38*(1), 39–45. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100007>
- Marrocos, P. C. L., Loureiro, G. A. H. de A., de Araujo, Q. R., Sodré, G. A., Ahnert, D., Escalona-Valdez, R. A., & Baligar, V. C. (2020). Mineral nutrition of cacao (*Theobroma cacao* L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(10), 1498–1509. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739295>
- Martín Alonso, G. M., González Cañizarez, P. J., Rivera Espinosa, R., Arzola Batista, J., & Pérez Díaz, A. (2014). Efecto de la aplicación de estiércol vacuno e inoculación micorrizica sobre el crecimiento y producción de semillas de *Canavalia ensiformis* en suelos ferralíticos rojos lixiviados. *Cultivos Tropicales*, *35*(1), 86–91. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/814>
- Medina, A., & Azcón, R. (2010). Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *10*(3), 354–372. <http://doi.org/10.4067/S0718-95162010000100009>
- Mohammed, A. M., Robinson, J. S., Verhoef, A., & Midmore, D. J. (2020). Nutrient Stocks and Distribution in Ghanaian Cocoa Ecosystems. *International Journal of Agronomy*, *2020*, Article 885631. <https://doi.org/10.1155/2020/8856314>

- Mollericona Alfaro, M. D., Laime Calle, E. E., & Merma Santos, E. A. (2022). Estimación no destructiva del área foliar en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a partir de mediciones lineales en la hoja. *Estación Experimental Sapecho. Apthapi*, 8(1), 2310–2319. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/120>
- Müller, M. M. L., Miglioranza, E., & Fonseca, E. de P. (1997). Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo em tubetes. *Revista Unimar*, 19(3), 777–786.
- Noguera-Talavera, A., Reyes-Sánchez, N., Membreño, J. J., Duarte-Aguilar, C., & Mendieta-Araica, B. (2014). Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleifera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. *La Calera*, 14(22), 21–27. <https://doi.org/10.5377/calera.v14i22.2652>
- Orellana Tobar, S. A., & Anaya Hernández, A. (2021). Efecto del compost de *Eichhornia crassipes* en la calidad de plantas en vivero de *Theobroma cacao*. *Project, Design and Management*, 3(1), 73–88. <https://doi.org/10.35992/pdm.v3i1.612>
- Pechara da Costa Jaeggi, M. E., Gradice Saluci, J. C., Rangel Rodrigues, R., de Amaral Gravina, G., & de Lima, W. L. (2018). Alternative substrates in different containers for production of conilon coffee seedlings. *Coffee Science*, 13(1), 80–89. <https://doi.org/10.25186/CS.V13I1.1382>
- Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., & Aranzazu-Hernández, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329–336. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- Riera Nelson, M. C., & Favier Mena, A. (2018). Respuesta del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*, Grantz) a la aplicación de micorrizas en suelos Pardos del Valle de Guantánamo. *Contemporary Problems of Social Work*, 4(2), 130–137. <https://doi.org/10.17922/2412-5466-2018-4-2-130-137>
- Ricárdez-Pérez, J. D., Gómez-Álvarez, R., Álvarez-Solís, J. D., Pat-Fernández, J. M., Jarquín-Sánchez, A., & Ramos-Reyes, R. (2020). Vermicomposta y micorriza arbuscular, su efecto en la nutrición del cacao en fase de invernadero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3), Article e2282. <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/2282>
- Rivera, R., Martín, G., Simó, J., Penton, G., García-Rubio, M., Ramírez, J., González, P. J., Joao, J. P., Ojeda, L., Tamayo, Y., & Bustamante, C. (2020). Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, Article 97. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3294>
- Rodríguez Yon, Y., Arias Pérez, L., Medina Carmona, A., Mujica Pérez, Y., Medina García, L. R., Fernández Suárez, K., & Mena Echeverría, A. (2015). Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 18–21. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/961>
- Rodríguez, Y., Dalpé, Y., Séguin, S., Fernández, K., Fernández, F., & Rivera, R. A. (2011). *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*, 118, 337–347. <http://doi.org/10.5248/118.337>
- Rodríguez-Ortiz, G., José-Hernández, Y., Enríquez-del Valle, J. R., & Campos-Angeles, G. V. (2021). Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. *CIENCIA ergo-sum*, 28(1), Artículo e13. <https://doi.org/10.30878/ces.v28n1a7>
- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R., & Maza, I. J. (2021). Calidad morfológica en plántulas de moringa (*Moringa oleifera*, Lam.) producidas en sustratos compuestos de suelo y estiércol animal. *CIENCIA UNEMI*, 14(35), 54–72. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss35.2021pp54-72p>



- Sánchez Esmoris, C., Rivera Espinosa, R., Caballero Bencosme, D., Cupull Santana, R., Gonzalez Fernández, C., & Urquiaga Caballero, S. (2011). Abonos verdes e inoculación micorrizica de posturas de cafeto sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 11–17. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/31>
- Selva-Hernández, F. F., Ochoa-Mena, P., & Sánchez-Durán, O. (2015). Factores limitantes en la cadena productiva del cacao en Cuba. *Café Cacao*, 14(2), 12–18. <https://zenodo.org/record/4632284#.YmNCz9rMKCg>
- Sheskin, D. J. (Ed.). (2000). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedure* (2<sup>nd</sup> ed.). Chapman & Hall/CRC.
- Sieverding, E., Alves da Silva, G., Berndt, R., & Oehl, F.(2014). *Rhizogloinus*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*, 129(2), 373–386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Simó González, J. E., Ruiz Martínez, L. A., & Rivera Espinosa, R. (2017). Inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares y relación suelo Pardo-abonos orgánicos en la aclimatización de vitroplantas de banano. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 102–111. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/15>
- Suparno, A., Prabawardani, S., Yahya, S., & Taroreh, N. A. (2015). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi increase the growth of cocoa and coffee seedling applied with ayamaru phosphate rock. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 199–210. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n5p199>
- Suárez, G. M., Florido Bacallao, R., Soto Carreño, F., & Caballero Núñez, A. (2013). Bases para la zoonificación agroecológica en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio de criterios de expertos. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 30–37. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/424>
- Talade Atere, C., Omofowa Osunde, M., & Olayinka, A. (2020). Microbial dynamics and nutrient mineralization in soil amended with cacao pod and water hyacinth composts: Implication for nitrogen fixed by soybean. *Communications in Soil Science and Planta Analysis*, 51(19), 2466–2478. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1836202>
- Vallejos-Torres, G., Torres, S. C., Gaona-Jimenez, N., Saavedra, J., Tuesta, J. C., Tuesta, O. A., Becerra, A. G., Marín, C., & Alguacil, M. del M. (2022). The combined effect of arbuscular mycorrhizal fungi and compost improves growth and soil parameters and decreases cadmium absorption in cacao (*Theobroma cacao*, L.). *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 5174–5182. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00992-9>
- Veobides Amador, H., Guridi Izquierdo, F., & Vázquez Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102–109. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1488>