



Microorganismos autóctonos como alternativa para la biofertilización de *Glycine max* (L.) Merrill¹

Autochthonous microorganisms as an alternative for the biofertilization of *Glycine max* (L.) Merrill

Wilson Geobel Ceiro Catasú², Ramiro Remigio Gaibor Fernández³, Carlos Augusto Vargas Gálvez⁴,
Harri Botello Guevara², Gesly Bonilla Landaverri⁵, Oandis Sosa Sánchez²

¹ Recepción: 4 de julio, 2022. Aceptación: 18 de noviembre, 2022. Este trabajo formó parte de una investigación del Posdoctorado en Ciencias Agrícolas y Ambientales, Escuela de Estudios de Posgrado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

² Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento Agronomía, Bayamo, Cuba. wceiroc@gmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-2065-2279>); hbotello@nauta.co.cu (<https://orcid.org/0000-0003-3989-6919>); oandis.sosa@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8231-3822>).

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Carrera de Agronomía, Quevedo, Ecuador. rgaibor@uteq.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-0981-2000>).

⁴ Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Zacapa (CUNZAC), La Laguna, Guatemala. carlosvargas@cunzac.edu.gt (<https://orcid.org/0000-0003-1754-1244>).

⁵ Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Ciudad de Guatemala, Guatemala. gesly77@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9793-9983>).

Resumen

Introducción. Soya (*Glycine max* (L.) Merrill) posee importancia económica y nutricional por sus niveles proteicos y contenido de aceite vegetal de calidad biológica, necesarios para la alimentación humana y animal. Las alternativas microbianas de biofertilización de este cultivo podrían representar una opción para su producción con bajos insumos en condiciones tropicales. **Objetivo.** Evaluar el efecto de microorganismos autóctonos (MA) como alternativa de biofertilización de *G. max* en condiciones de bajos insumos de producción. **Materiales y métodos.** El experimento se estableció en una finca situada en la localidad El Coco, Yara, Granma, Cuba, sobre un suelo Pardo Mullido Carbonatado, durante el año 2021. Se usaron semillas certificadas de *G. max* cv. Incasoy-27. La siembra se realizó en primavera a una distancia de 0,70 m x 0,04 m. Se utilizaron tres dosis de MA (12, 24 y 36 L ha⁻¹) y un testigo absoluto. Se evaluaron variables del crecimiento, rendimiento y sus componentes. Se utilizó un diseño de bloques al azar; los datos se procesaron mediante ANDEVA, regresión lineal, correlación y análisis de componentes principales. **Resultados.** Los MA bioestimularon el crecimiento de *G. max* en un rango de 12 % y 24 %, mientras que el rendimiento se favoreció entre 16 % y 44 %. El análisis de correlación de Pearson señaló que la masa de semillas por planta y la cantidad de vainas por planta, constituyeron las variables más correlacionadas con el rendimiento. **Conclusión.** Con la inclusión de MA se logró una bioestimulación del crecimiento en longitud de las plantas de *G. max* cv. Incasoy-27 en comparación con el testigo y el rendimiento agrícola se potenció.

Palabras clave: bioestimulación, crecimiento, rendimiento, soya.



Abstract

Introduction. Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) has economic and nutritional importance due to its protein levels and vegetable oil content of biological quality, necessary for human and animal feed. The microbial alternatives for biofertilization of this crop would represent an option for its production with low inputs in tropical conditions. **Objective.** To evaluate the effect of autochthonous microorganisms (MA) as an alternative for biofertilization of *G. max* under low-input production conditions. **Materials and methods.** The experiment was established in a farm located in the town of El Coco, Yara, Granma, Cuba, on a Carbonated Fluffy Brown soil, during the year 2021. Certified *G. max* cv. Incasoy-27 seeds were used. Sowing was carried out in spring at a distance of 0.70 m x 0.04 m. Three doses of MA (12, 24, and 36 L ha⁻¹) and an absolute control were used. Variables of growth, yield, and their components were evaluated. A randomized block design was used. Data were processed by ANOVA, linear regression, correlation, and principal component analysis. **Results.** The MA biostimulated the growth of *G. max* in a range of 12 % and 24 %, while the yield was favored between 16 % and 44 %. Pearson's correlation analysis indicated that the seeds mass per plant and number of pods per plant were the variables most strongly interrelated with yield. **Conclusion.** The inclusion of MA achieved a biostimulation of plants length growth of *G. max* cv. Incasoy-27 compared to the control and the agricultural yield was enhanced.

Keywords: biostimulation, growth, yield, soybean.

Introducción

La agricultura enfrenta un gran desafío en la producción sostenible de alimentos para abastecer a la población mundial. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estimó un crecimiento poblacional de un 13 % para el año 2030 y un 30 % para 2050, por tanto, se necesitará un incremento del 70 % de las producciones agrícolas para satisfacer los problemas de desnutrición y garantizar la seguridad alimentaria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019).

El cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merrill), se consideró entre los diez de mayor importancia en el mundo, con más de 90,2 millones de hectáreas cultivadas cada año, que alcanzan producciones que superan las 345,96 millones de toneladas. De acuerdo con lo expuesto, *G. max* se valora como un cultivo clave para la economía de Cuba, debido a que posee un alto valor nutritivo, sus semillas alcanzan contenidos de proteínas entre 38 % y 42 % y de 18 % a 20 % de aceite vegetal. Su consumo se incrementa cada día, debido a la necesidad de utilizar el grano como materia prima en la elaboración de piensos concentrados para animales y en la alimentación humana como aditivo en la industria alimentaria (Gutiérrez-Castrellón et al., 2019).

En Cuba existen dos cultivares de esta planta, Incasoy-24 e Incasoy-27, que muestran las mejores características de adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas para las siembras en la época de primavera, periodo caracterizado por frecuentes y abundantes lluvias, altas temperaturas y fotoperiodo de días largos, factores favorables para el desarrollo de un cultivo de bajos insumos (Falconi Moreano et al., 2017).

Los elementos nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P), representan los nutrimentos de mayor importancia para la producción de *G. max*. No obstante, la utilización de estos macronutrientes en forma química es limitada para pequeños agricultores, por sus altos costos y efectos a largo plazo sobre el medio ambiente, por tanto, se hace necesario valorar otras alternativas sustentables de biofertilización capaces de mantener los niveles productivos y calidad de la cosecha, sin afectar el medio ambiente (Zhang et al., 2014). La biofertilización a base de bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos autóctonos (MA), constituyen una opción viable frente a las formas de nutrición

convencionales. Los MA se consideran un cultivo mixto de microorganismos benéficos que al ser inoculados incrementan la actividad biológica del suelo y los mecanismos de defensa, potencian la nutrición, el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Álvarez et al., 2012; Núñez Sosa et al., 2017).

Los MA al interactuar con las plantas, favorecen la síntesis de aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas antioxidantes que benefician el desarrollo vegetal, a su vez la aplicación de MA incrementa las poblaciones microbianas del suelo, equilibran a nivel edáfico el agroecosistema, potencian la nutrición de las plantas y su crecimiento, así como suprimen ciertas especies fitopatógenas (Kumari Meena & Singh Meena, 2017).

En los MA están presentes microorganismos de cuatro grupos principales: bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos. Las bacterias actúan sobre la síntesis de aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y carbohidratos, así como en la degradación de la materia orgánica en el suelo. Las levaduras se relacionan con la producción de hormonas y enzimas que intervienen en la división celular activa en las plantas, sus secreciones son sustratos útiles para la alimentación de otros microorganismos eficientes como los hongos, considerados como especies relacionadas con la transformación y degradación de restos orgánicos, lo cual aporta elementos nutritivos a las plantas y sintetizan metabolitos secundarios y antibióticos que regulan las poblaciones de microorganismos fitopatógenos. Los actinomicetos intervienen en la descomposición de los residuos orgánicos del suelo y como antagonistas de ciertas especies fitopatógenas (Caro Castro et al., 2019; Goswami et al., 2014).

La acción conjunta de estos grupos microbianos posee un efecto en la activación de importantes procesos fisiológicos-metabólicos en las plantas, que mejoran el crecimiento, el rendimiento y las propiedades del suelo (Lambert et al., 2019). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de microorganismos autóctonos como una alternativa de biofertilización de *G. max* en condiciones de bajos insumos de producción.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento, condiciones edáficas y su preparación

La investigación se realizó en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, asociado a la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida “Octavo Congreso Campesino”, ubicada en las coordenadas 20°14'54,0"N y 76°56'21,5"W, en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma en Cuba. El tipo de suelo utilizado para la investigación fue un Pardo Mullido Carbonatado, caracterizado por tener horizontes A, B y C, formados bajo un proceso de sialitización, con textura franco-arcillosa y un horizonte B sílico que caracteriza a este grupo edáfico. Con capacidad de intercambio catiónico ≥ 30 cmol kg⁻¹ de arcilla y contenido de hierro libre ≤ 3 % (Hernández Jiménez et al., 2015). La preparación del suelo se realizó con la maquinaria agrícola, se usó el laboreo mínimo y las labores de rotura, grada, cruce, grada y surcado, a profundidades de 20-30 cm.

Manejo del cultivo y características del microorganismo eficiente autóctono usado

Se usaron semillas certificadas del cv. Incasoy-27 procedentes de la Empresa de Semillas de Granma con una viabilidad ≥ 85 %. La siembra se realizó en época de primavera con óptima humedad en el suelo, el 20 de abril de 2021, a una distancia de 0,70 x 0,04 m de forma manual. Se realizó un manejo agroecológico del cultivo, sin riego, debido a las suficientes precipitaciones en el periodo (310 mm). A los veinte días de sembrado se efectuó un deshierbe con azada, no se aplicaron fertilizantes inorgánicos y al no presentarse plagas, fue innecesario su control.

El biofertilizante usado fue de microorganismos autóctonos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos), preparado en la propia finca con agua de pozo de óptima calidad, el mismo contenía tres componentes en su

formulación: mineralógico (cloruro de sodio, 200 g en 200 L de agua), microbiológico (inóculo microbiano de la propia finca, 200 g de mantillo en 200 L de agua) y nutritivo (pasta nutritiva de origen vegetal que protege su composición por propiedad intelectual, 400 g en 200 L de agua). Una vez agregados los tres componentes al recipiente que contenía los 200 L de agua, se homogenizaron, se empleó un sello hermético y se dejaron fermentar a la oscuridad durante 72 h. El MA obtenido registró las siguientes características: pH 6,6, CE 1,4, poblaciones de bacterias totales $\geq 2 \times 10^{12}$ UFC, hongos, levaduras y actinomicetos totales $\geq 2 \times 10^{10}$ UFC; estas se determinaron por técnicas convencionales, según lo descrito por Vanderzant y Splittstoesser (1992), en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Granma, Cuba.

Evaluaciones del crecimiento, rendimiento y sus componentes

La longitud de las plantas (cm) se determinó cuando inició el proceso de formación de vainas (10 % de vainas por plantas), se evaluó con una regla milimetrada desde la base del tallo hasta el ápice en veinticinco plantas por cada tratamiento, tomadas al azar en cinco puntos de cada unidad experimental. Al momento de la cosecha, cien días posteriores a la siembra, se evaluaron las variables: cantidad de vainas por plantas, semillas por vainas, semillas por plantas, masa de semillas por plantas (g), masa de mil semillas (g), similar a como se realizó en la variable antes descrita y se estimó el rendimiento al 14 % de humedad ($t\ ha^{-1}$), donde H = masa de semillas en la parcela $\times (100 - \text{humedad de la semilla}) \times 10\ 000\ m^2 / (100 - 14) \times \text{área de la parcela}\ (m^2)$.

Tratamientos y procesamiento estadístico

Se utilizaron como tratamientos las tres dosis del MA y un testigo absoluto sin aplicación, el biofertilizante se aplicó en dos momentos, 15 días después de la siembra (fase de desarrollo vegetativo) y cuando las plantas presentaron $\leq 10\ %$ de floración (inicio de la fase reproductiva), las aplicaciones se realizaron en horario matutino con una asperjadora manual, dedicada a la aplicación del MA. La investigación se realizó en condiciones de campo, se utilizó un diseño de bloques al azar (4x4), las unidades experimentales (parcelas) tenían una dimensión de 10 m de largo por 10 m de ancho (100 m^2), con catorce surcos del cultivo y alrededor de 3571 plantas. Los tratamientos se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el estudio sobre el efecto de bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos autóctonos (MA) como alternativa de biofertilización de *Glycine max*. Poblado El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

Table 1. Treatments used in the study on the effect of bacteria, yeast, fungi, and actinomycetes autochthonous (MA) as an alternative for biofertilization of *Glycine max*. El Coco town, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

Tratamientos	Dosis
T0. Testigo absoluto	Sin MA
T1. 1 L de MA* X Mochila de aspersión manual de 16 L	12 L ha^{-1}
T2. 2 L de MA X Mochila de aspersión manual de 16 L	24 L ha^{-1}
T3. 3 L de MA X Mochila de aspersión manual de 16 L	36 L ha^{-1}

MA: microorganismos autóctonos: bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos. / MA: autochthonous microorganisms: bacteria, yeast, fungi and actinomycetes.

Previo al análisis estadístico, se comprobó que los datos cumplieron con la prueba de normalidad Shapiro-Wilk (Hanusz et al., 2016). Se realizó el ANDEVA unifactorial y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) (Keselman & Rogan, 1977). Además, al mismo tiempo se efectuaron pruebas estadísticas robustas de regresión lineal y correlación de Pearson; para los análisis se utilizó el paquete InfoStat (StatSoft Inc., 2017).

Resultados

El análisis de regresión lineal mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Un 84 % de las variaciones de la longitud de las plantas se debió al efecto de las dosis de bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos autóctonos (MA), se obtuvo la ecuación de regresión (Figura 1). El resultado puso de manifiesto que al incrementarse las dosis de MA, se alcanzó un mayor crecimiento en longitud, con un rango de 75,24 cm a 7,84 cm en comparación con el testigo absoluto (66,52 cm).

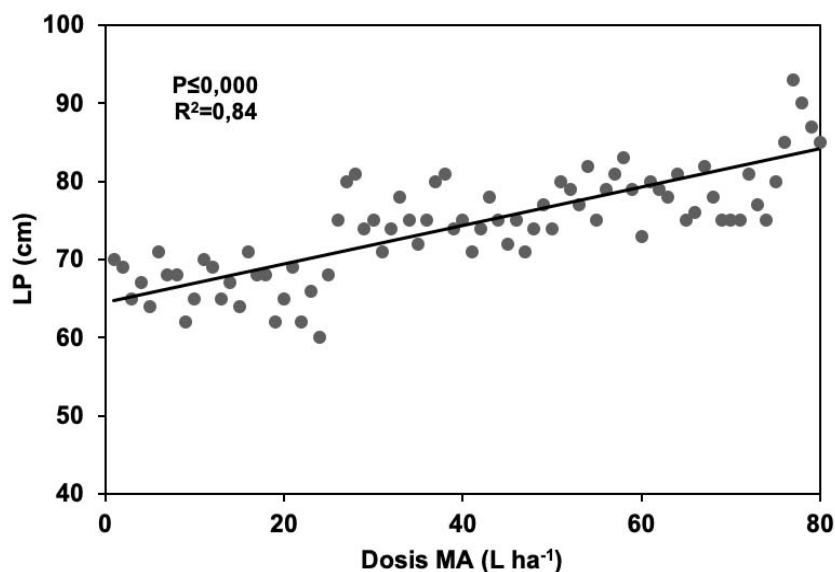


Figura 1. Recta de regresión lineal por efecto de la biofertilización con microorganismos autóctonos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos) sobre longitud de plantas (LP) de soya (*Glycine max*) cv. Incasoy-27 en un suelo Pardo Mullido Carbonatado en época de primavera. Resultado obtenido en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, ubicada en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

Figure 1. Linear regression line due to the effect of biofertilization with autochthonous microorganisms (bacteria, yeasts, fungi, and actinomycetes) on the length of soybean (*Glycine max*) plants (LP) cv. Incasoy-27 on a Brown Fluffy Carbonated soil in spring. Result obtained in the farm of extensionist farmer Luis A. López Chávez, located in the town of El Coco, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

La mayor cantidad de vainas por plantas se logró en T3 (197,04), seguido de T2 (176,72) y T1 (164,76), mientras que el T0 alcanzó el menor valor (160,24) (Figura 2). En la variable semillas por vainas los valores variaron entre 2,40 y 3,12, los tratamientos T3 y T2 alcanzaron los mayores valores sin diferencias entre sí, seguidos de T1 que no mostró diferencias significativas con T2 y el T0 alcanzó el menor valor, sin diferenciarse



Figura 2. Efecto de la biofertilización con microorganismos autóctonos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos) sobre la cantidad de vainas en soja (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, establecida en un suelo Pardo Mullido Carbonatado en época de primavera. Resultados obtenidos en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, ubicada en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

A (T0: se evidencia una menor cantidad de vainas por planta en el testigo absoluto), B (T3: se muestra una mayor cantidad de vainas por planta con la aplicación de 36 L ha⁻¹ del MA).

Figure 2. Effect of biofertilization with autochthonous microorganisms (bacteria, yeasts, fungi, and actinomycetes) on the number of pods in soybean (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, established in a Brown Fluffy Carbonated soil in spring. Results obtained on the farm of the extensionist farmer Luis A. López Chávez, located in the town of El Coco, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

A (T0: A lower number of pods per plant is evident in the absolute control), B (T3: A higher number of pods per plant is shown with the application of 36 L ha⁻¹ of MA).

con T1. La mayor cantidad de semillas por plantas se obtuvo en T3 (615,00), seguido de T2 (508,96) y T1 (440,80), mientras que T0 experimentó el menor resultado (383,88).

La mayor masa de semillas por plantas se obtuvo en T3 (82,76 g), seguido de T2 (64,36 g) y T1 (54,60 g), T0 experimentó el menor resultado (46,24 g). La mayor masa de mil semillas se registró en T3 (125,00 g) y T2 (120,00 g), sin diferencias entre sí, los cuales difirieron con los que alcanzaron menores valores T1 (104,67 g) y T0 (98,67 g). El mayor rendimiento agrícola con base a un 14 % de humedad, se constató en T3 (0,68 t ha⁻¹), seguido de T2 (0,53 t ha⁻¹), T1 (0,45 t ha⁻¹), y T0 (0,38 t ha⁻¹) (Cuadro 2).

Los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas resultaron ser positivos y altamente significativos, lo cual señaló una relación entre el rendimiento agrícola y todas las variables evaluadas. Las asociaciones más altas se registraron entre el rendimiento agrícola, la masa de semillas por planta (0,99) y las vainas por planta (0,96), le prosiguieron la masa de mil semillas (0,82) y las semillas por planta (0,75). Mientras

Cuadro 2. Efecto de la biofertilización con microorganismos autóctonos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos) sobre las variables componentes del rendimiento y rendimiento agrícola en soya (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, establecida en un suelo Pardo Mullido Carbonatado en época de primavera. Resultados obtenidos en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, ubicada en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

Table 2. Effect of biofertilization with autochthonous microorganisms (bacteria, yeasts, fungi, and actinomycetes) on the component variables of yield and agricultural yield in soybean (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, established on a Brown Fluffy Carbonated soil in spring. Results obtained in the farm of extensionist farmer Luis A. López Chávez, located in the town of El Coco, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

Tratamientos*	VP	SV	SP	MSP (g)	M1000S (g)	R (t/ha ⁻¹)
T0 (testigo)	160,24 a	2,40 a	383,88 a	46,24 a	98,67 a	0,38 a
T1	164,76 b	2,68 ab	440,80 b	54,60 b	104,67 a	0,45 b
T2	176,72 c	2,88 bc	508,96 c	64,36 c	120,00 b	0,53 c
T3	197,04 d	3,12 c	615,00 d	82,76 d	125,00 b	0,68 d
CV	2,92	15,07	14,62	5,79	4,13	6,31

* dosis de microorganismos autóctonos (MA), preparado en la finca. VP: vainas por planta, SV: semillas por vainas, SP: semillas por planta, MSP: masa de semillas por planta, M1000S: masa de mil semillas, R: rendimiento agrícola, CV: coeficiente de variación. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$). / * MA doses, prepared on the farm. VP: pods per plant, SV: seeds per pods, SP: seeds per plant, MSP: mass of seeds per plant, M1000S: mass of a thousand seeds, R: agricultural yield, CV: coefficient of variation. Different letters in the columns indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0,05$).

que entre las variables masa de semillas por planta y vainas por planta, semillas por planta y semillas por vaina, así como masa de mil semillas y masa de semillas por planta, experimentaron una fuerte correspondencia entre sí (Cuadro 3). El grupo de variables más interrelacionadas con el rendimiento agrícola de la soya cv. Incasoy-27 bajo las condiciones experimentales evaluadas, fueron la masa de semillas por planta y la cantidad de vainas por planta.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables componentes del rendimiento y el rendimiento agrícola en (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, establecida sobre un suelo Pardo Mullido Carbonatado en época de primavera. Resultados obtenidos en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, ubicada en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

Table 3. Pearson's correlation coefficients between the component variables of yield and agricultural yield in soybean (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, established on a Brown Fluffy Carbonated soil in spring. Results obtained in the farm of extensionist farmer Luis A. López Chávez, located in the town of El Coco, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

VP	SV	SP	MSP	M1000S	R	
VP	1,00					
SV	0,44***	1,00				
SP	0,74***	0,93***	1,00			
MSP	0,96***	0,47***	0,75***	1,00		
M1000S	0,78***	0,69***	0,77***	0,82***	1,00	
R	0,96***	0,47***	0,75***	0,99***	0,82***	1,00

VP: vainas por planta, SV: semillas por vainas, SP: semillas por planta, MSP: masa de semillas por planta, M1000S: masa de mil semillas, R: rendimiento agrícola. *** Diferencias altamente significativas según análisis de correlación de Pearson. / VP: pods per plant, SV: seeds per pods, SP: seeds per plant, MSP: mass of seeds per plant, M1000S: mass of a thousand seeds, R: agricultural yield. *** Highly significant differences according to Pearson's correlation analysis.

El análisis de componentes principales explicó un 99 % de variabilidad total del modelo Biplot, debido a las observaciones. El componente uno expresó un 97,6 % de la variabilidad y el componente dos un 1,4 %. El primer componente separó al testigo y al tratamiento 12 L ha⁻¹ de las dosis más altas de biofertilización (24 y 36 L ha⁻¹). Las variables semillas por planta, longitud de las plantas, rendimiento, masa de semillas por planta y vainas por planta, se asociaron a la dosis de 36 L ha⁻¹, mientras que semillas por vaina evidenció una mayor asociación con la dosis de 24 L ha⁻¹ (Figura 3). Este análisis de componentes principales ratificó lo evidenciado en la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $p \leq 0,05$, Cuadro 2), donde fue posible un mayor rendimiento agrícola y longitud de las plantas a la dosis más alta de biofertilización con MA.

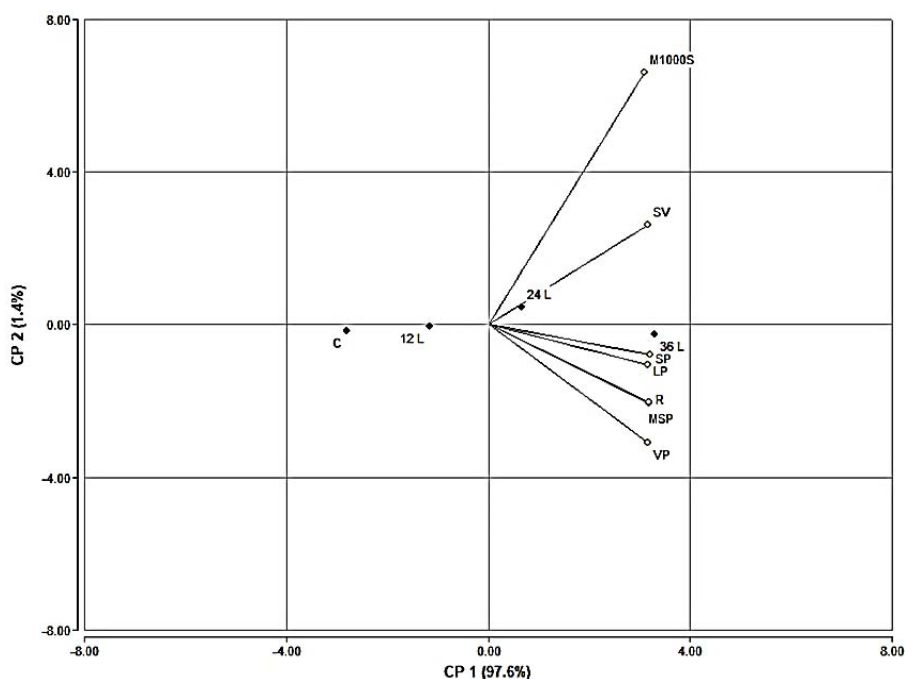


Figura 3. Modelo Biplot del efecto de la biofertilización con microorganismos autóctonos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos) en soya (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, establecida sobre un suelo Pardo Mullido Carbonatado en época de primavera. Resultados obtenidos en la finca del agricultor extensionista Luis A. López Chávez, ubicada en la localidad El Coco, municipio Yara, provincia Granma, Cuba. 2021.

VP: vainas por planta, MSP: masa de semillas por planta, R: rendimiento agrícola, LP: longitud de las plantas, SP: semillas por planta, SV: semillas por vainas, M1000S: masa de mil semillas, C: testigo absoluto, 12, 24 y 36 L de MA.

Figure 3. Biplot model on the effect of biofertilization with autochthonous microorganisms (bacteria, yeasts, fungi, and actinomycetes) on soybean (*Glycine max*) cv. Incasoy-27, established on a Brown Fluffy Carbonated soil in spring. Results obtained in the farm of extensionist farmer Luis A. López Chávez, located in the town of El Coco, Yara municipality, Granma province, Cuba. 2021.

VP: pods per plant, MSP: mass of seeds per plant, R: agricultural yield, LP: length of plants, SP: seeds per plant, SV: seeds per pod, M1000S: mass of one thousand seeds. C: absolute control, 12, 24, and 36 L of MA.

Discusión

La biostimulación del crecimiento entre 12 % y 24 % donde se aplicó MA, se atribuyó a una actividad fisiológica-metabólica, causante de potenciar los procesos de división, alargamiento de células y tejidos (Aung et

al., 2018; Goswami et al., 2014). Estos resultados se alcanzaron en época de primavera y superaron en más de un 15 % a los informados por Chacón Iznaga et al. (2011) en *G. max* cv. Incasoy-27 en la región occidental de Cuba, en época de frío.

Los MA intervienen en la solubilización y adquisición de nutrientes poco asimilables como P y K, elementos relacionados con el proceso de crecimiento de las plantas (Luna Feijoo & Mesa Reinaldo, 2016), lo cual se corresponde con el resultado expuesto en el presente estudio, así como los reportados por Liriano González et al. (2015) quienes evidenciaron que la combinación entre MA y *Trichoderma harzianum* potenciaron el crecimiento de los sistemas foliar y radical de plántulas de cebolla cv. H-7, y redujeron el tiempo de estas en el semillero.

La mayor cantidad de vainas y semillas por planta se obtuvo en los tratamientos biofertilizados comparados con el testigo absoluto, dicho resultado se atribuyó a una mayor altura de las plantas, lo cual incrementó la formación de vainas por planta. Al respecto, Ponce et al. (2003) informaron que este mismo cultivar en condiciones ambientales del occidente de Cuba, produjo como promedio 85 vainas por planta y 2,5 semillas por vainas sin biofertilización con MA, valores inferiores comparados con los registrados en la presente investigación.

Las variables masa de semillas por plantas y masa de mil semillas experimentaron una bioestimulación entre 5 % y 44 % en comparación con el testigo absoluto. Lo cual es probable que se debiera al mejoramiento del proceso de nutrición de las plantas. Al respecto, Sauvu-Jonasse et al. (2020) demostraron que plantas de soya de esta misma variedad establecidas en la provincia Mayabeque, Cuba, mejoraron la absorción de macronutrientes N, P y K por efecto de una biofertilización con MA a base de rizobacterias y hongos micorrizógenos arbusculares. Bajo las condiciones experimentales evaluadas, se alcanzó una bioestimulación del rendimiento agrícola en soya cv. Incasoy-27 entre 16 % y 44 % donde se aplicó MA. El resultado tiene correspondencia con el modo de acción de los MA, los cuales incrementan la absorción de agua y nutrientes, así como potencian el crecimiento, rendimiento y calidad de la cosecha (Alarcon Camacho et al., 2020). Se reportó que *G. max* cv. Incasoy-27 tuvo un rendimiento potencial de 3,0 t ha⁻¹ (Ponce et al., 2003), no logrado en este estudio, debido a determinados factores edafoclimáticos y de manejo, entre ellos, la época de siembra de primavera, las altas temperaturas predominantes (28±4 °C), el fotoperiodo de días largos, las condiciones edáficas de un suelo arcilloso y un manejo agronómico basado en bajos insumos, elementos diferentes al lugar donde se obtuvo el referido rendimiento potencial.

En Cuba, se obtuvieron incrementos del rendimiento de 61 % y 26 % en los cultivos de *Phaseolus vulgaris* L. y *Arachis hypogaea* L., respectivamente, debido a una biofertilización combinada MA + quitosano (Lambert et al., 2019), dicho resultado se encuentra en el rango productivo alcanzado en la presente investigación. Mientras que en *G. max* cv. Huasteca 400 en México, el rendimiento agrícola y el contenido de proteína del grano se favorecieron con la aplicación de MA a base de *Bradyrhizobium japonicum* y *Rhizophagus intraradices* (Díaz-Franco et al., 2021). Lo expuesto, pone de manifiesto el efecto beneficioso del MA sobre la productividad agrícola de diferentes especies de plantas.

En un estudio sobre correlación fenotípica y análisis de sendero en seis cultivares de *G. max*, se evidenció que las variables cantidad de vainas por planta y las vainas con tres semillas fueron las características que más aportaron al rendimiento agrícola cuando se inoculó la rizobacteria *Bradyrhizobium japonicum* sobre suelos Oxisoles en la Orinoquía colombiana (Valencia-Ramírez & Ligarreto-Moreno, 2012). En una investigación más reciente, donde se analizó la variabilidad del rendimiento en cuatro cultivares de *G. max* en época de primavera en Cuba, la cantidad de vainas por plantas fue la variable más asociada con el rendimiento (Roján-Herrera et al., 2020). Los resultados expuestos, poseen estrecha relación con la alta asociación encontrada entre las variables vainas por planta y el rendimiento de *G. max* en el presente estudio.

Los resultados de esta investigación se pueden atribuir al efecto benéfico integral de los MA sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad del cultivo, así como, a la bioestimulación de los procesos fisiológicos y metabólicos. Su actividad enzimática influye sobre el suelo, mejora sus propiedades y reduce la contaminación del medio ambiente (Haney et al., 2015). La actividad hormonal en zonas meristemáticas potencia la capacidad

fotosintética a través de un mayor desarrollo foliar (Kumar Enamala et al., 2020). La inducción de mecanismos de defensa sobre las plantas, denominado resistencia sistémica y el consumo de los exudados presentes en diferentes órganos, impiden la proliferación de plagas que afectan al cultivo (Díaz-Franco et al., 2021). Lo expuesto, son elementos claves que pudieron influir en los resultados obtenidos en la presente investigación.

Conclusiones

Se logró una bioestimulación del crecimiento en longitud de las plantas de *G. max* cv. Incasoy-27 entre 12 % y 24 %, donde se aplicaron bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos autóctonos (MA), comparado con el testigo, mientras que el rendimiento agrícola se potenció en un rango de 16 % y 44 %. Los resultados obtenidos muestran la importancia de validar a nivel comercial el empleo de MA como una alternativa de innovación local para la biofertilización de *G. max* en época de primavera y con bajos insumos de producción.

Referencias

- Alarcon Camacho, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, S. M., & Buendía Molina, M. A. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67–73. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Álvarez, J. L., Núñez Sosa, D. B., Liriano González, R., & Terence Monthy, G. (2012). Evaluación de la aplicación de microorganismos eficientes en col de repollo (*Brassica oleracea* L.) en condiciones de organopónico semiprotectado. *Centro Agrícola*, 39(4), 27–30. <https://bit.ly/3KmxFSg>
- Aung, K., Jiang, Y., & He, S. Y. (2018). The role of water in plant in plant-microbe Interaction. *The Plant Journal*, 93(4), 771–780. <http://doi.org/10.1111/tpj.13795>
- Caro Castro, J., Mateo Tuesta, C., Cisneros Moscol, J., Galindo Cabello, N., & León Quispe, J. (2019). Aislamiento y selección de actinomicetos rizosféricos con actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena). *Ecología Aplicada*, 18(2), 101–109. <http://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1329>
- Chacón Iznaga, A., Pedraza Herrera, C., Barreda Vladés, A., Colás Sánchez, A., Alemán Pérez, R., & Rodríguez Valdés, G. (2011). Caracterización agronómica del crecimiento en el cultivar de soya Incasoy-27 (*Glycine max* (L.) Merrill) en una época de siembra. *Centro Agrícola*, 38(3), 29–36. <https://bit.ly/419HusR>
- Díaz-Franco, A., Alejandro-Allende, F., Cisneros-López, M. E., Espinosa-Ramírez, M., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2021). Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (*Glycine max* (L.) Merrill). *Terra Latinoamericana*, 39, Artículo e725. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.725>
- Falconi Moreano, I. C., Tandazo Falquez, N. P., Mora Gutiérrez, M. C., & López Bermúdez, F. L. (2017). Evaluación agronómica de materiales de soya (*Glycine max*. (L) Merrill) de hiliun claro. *RECIAMUC*, 1(4), 850–860. <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/210>
- Goswami, D., Dhandhukia, P., Patel, P., & Thakker, J. N. (2014). Screening of PGPR from saline desert of Kutch: Growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus licheniformis* A2. *Microbiological Research*, 169(1), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.07.004>

- Gutiérrez-Castrellón, P., Vázquez-Frías, R., Jiménez-Gutiérrez, C., González-Rodríguez, R. Y., Quezada-Chalita, C. T., Greenawalt, S. R., Argüello-Arévalo, G. A., & Acosta-Rodríguez, P. (2019). Recomendaciones sobre la utilización de las fórmulas infantiles con proteína aislada de soya en la alimentación del lactante. Documento de posición basado en la evidencia. *Gaceta médica de México*, *155*(Suppl. 2), S1–S30. <https://doi.org/10.24875/gmm.m19000292>
- Haney, C. H., Samuel, B. S., Bush, J., & Ausubel, F. M. (2015). Associations with rhizosphere bacteria can confer an adaptive advantage to plants. *Nature Plants*, *1*(6), 1–9. <http://doi.org/10.1038/nplants.2015.51>
- Hanusz, Z., Tarasinska, J., & Zielinski, W. (2016). Prueba de Shapiro-Wilk con media conocida. *Revista estadística REVSTAT*, *14*(1), 89–100. <https://doi.org/10.57805/revstat.v14i1.180>
- Hernández Jiménez, A., Pérez Jiménez, J. M., Bosch Infante, D., & Castro Speck, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA.
- Keselman, H. J., & Rogan, J. C. (1977). La prueba de comparación múltiple de Tukey: 1953–1976. *Boletín Psicológico*, *84*(5), 1050.
- Kumar Enamala, M., Dixit, R., Tangellapally, A., Singh, M., Pudukotai Dinakarrao, S. M., Chavali, M., Reddy Pamanji, S., Ashokkumar, V., Kadier, A., & Chandrasekhar, K. (2020). Photosynthetic microorganisms (Algae) mediated bioelectricity generation in microbial fuel cell: Concise review. *Environmental Technology & Innovation*, *19*, Article 100959. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100959>
- Kumari Meena, S., & Meena Singh, V. (2017). Importance of soil microbes in nutrient use efficiency and sustainable food production. In V. Meena, P. Mishra, J. Bisht, & A. Pattanayak (Eds.), *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture* (pp. 3–23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_1
- Lambert, T., Santiesteban, R., Ceiro, W. G., Fernández, M. E., López, G. de las M., & Corrales, W. C. (2019). Efecto de bioproductos en la producción de *Phaseolus vulgaris* L. y *Arachis hipogea* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *36*(1), 59–66. <http://doi.org/10.22267/rcia.193601.98>
- Liriano González, R., Núñez Sosa, D. B., Hernández La Rosa, L., & Castro Arrieta, A. (2015). Evaluación de microorganismos eficientes y *Trichoderma harzianum* en la producción de posturas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Centro Agrícola*, *42*(2), 25–32. <https://bit.ly/3IfFaI3>
- Luna Feijoo, M. A., & Mesa Reinaldo, J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Científica Agroecosistemas*, *4*(2), 31–40. <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/84>
- Núñez Sosa, D. B., Liriano González, R., Pérez Hernández, Y., Placeres Espinosa, I., & Sianeh Zawolo, G. (2017). Respuesta de *Daucus carota*, L. a la aplicación de microorganismos nativos en condiciones de organopónico. *Centro Agrícola*, *44*(2), 29–35. <https://bit.ly/41clLAE>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. <https://www.fao.org/3/ca5162es/ca5162es.pdf>
- Ponce, M., de la Fé, C., Ortiz, R., & Moya, C. (2003). Informe de nuevas variedades. INCASOY-24 e INCASOY-27: Nuevas variedades de soya para las condiciones climáticas de cuba. *Cultivos Tropicales*, *24*(3), 49. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/569>

- Roján-Herrera, O., Maqueira-López, L. A. A., Solano-Flores, J., Núñez-Vázquez, M., & Robaina-Gil, H. C. (2020). Variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* L. Merrill). Parte II. Época de primavera. *Cultivos Tropicales*, 41(3), Artículo e04. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1558>
- Sauvu-Jonasse, C., Nápoles-García, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., Lamz-Piedra, A., & Ruiz-Sánchez, M. (2020). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de soya (*Glycine max* (L.) Merrill). *Cultivos Tropicales*, 41(3), Artículo e02. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1556>
- StatSoft Inc. (2017). *STATISTICA: Data analysis software system* (version 8.0.). www.statsoft.com
- Valencia-Ramírez, R. A., & Ligarreto-Moreno, G. A. (2012). Correlación fenotípica y análisis de sendero para el rendimiento de soya (*Glycine max* (L.) Merrill). *Acta agronómica*, 61(4), 353–363. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38137
- Vanderzant, C., & Splittstoesser D. F. (1992). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (3rd ed.). American Public Health Association.
- Zhang, N., He, X., Zhang, J., Raza, W., Yang, X. -M., Ruan, Y. -Z., Shen, Q. -R., & Huang, Q. -W. (2014). Suppression of *Fusarium* wilt of banana with application of bio-organic fertilizers. *Pedosphere*, 24(5), 613–624. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60047-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60047-3)