

COAPLICACIÓN ENTRE EL CONSORCIO MICROORGANISMOS EFICIENTES Y BIOBRAS-16[®] AUMENTAN EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL FRIJOL COMÚN^a

CO-APPLICATION BETWEEN EFFICIENT MICROORGANISM CONSORTIUM AND BIOBRAS-16[®] INCREASING THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF COMMON BEANS

ALEXANDER CALERO HURTADO^{b *}, YANERY PÉREZ DÍAZ^b, LETICIA HERNÁNDEZ GONZÁLEZ^b, YENISLEY GARCÍA GUARDARRAMA^b, SILVIA M. PACHECO MÉNDEZ^b, YANEIDA RODRÍGUEZ PÉREZ^b, IVÁN CASTRO LIZAZO^c

Recibido para revisar 31-01-2023, aceptado 05-06-2023, versión final 15-06-2023.

Artículo Investigación

RESUMEN: Los bioestimulantes constituyen una práctica agrícola eficiente para aumentar el crecimiento y productividad de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar la coaplicación entre el consorcio microbiano Microorganismos eficientes (ME-50[®]) y Biobras-16[®] en el crecimiento y rendimiento del frijol común en épocas de siembras intermedias y tardías. Dos experimentos distribuidos en bloques al azar, con arreglo factorial 2×2 y cinco réplicas, se realizaron para determinar los efectos de la inoculación (100 mL L^{-1}) o no con el consorcio microbiano ME-50[®] combinado con la ausencia y presencia (aplicación foliar de Biobras-16[®] a 0.05 mL L^{-1}) en el incremento de los parámetros del crecimiento y productivos del frijol. Los resultados mostraron que la aplicación de los bioestimulantes ME-50[®] y Biobras-16[®] incrementaron el número de hojas trifoliadas, altura de la planta, la masa seca de la parte aérea, así como, el promedio de vainas por planta, los granos por planta, granos por vaina, la masa de 100 granos y el rendimiento, pero se lograron mejores resultados con la coaplicación entre ambos bioproductos en ambas épocas de siembras evaluadas. Los resultados de este estudio sugieren que la coaplicación entre los bioestimulantes ME-50[®] y Biobras-16[®] es una alternativa económica, viable y factible para aumentar la producción sostenible del frijol común en épocas intermedias y tardías.

PALABRAS CLAVE: bioestimulantes; época de siembra; microorganismos benéficos; *Phaseolus vulgaris*; rendimiento.

^aPérez Díaz, Y., Calero Hurtado, A., Hernández González, L., García Guardarrama, Y., Pacheco Méndez, S. M., Rodríguez Pérez, Y. & Castro Lizazo, I., (2023). Coaplicación entre el consorcio microorganismos eficientes y biobras-16[®] aumentan el crecimiento y la productividad del frijol común. *Rev. Fac. Cienc.*, 12 (2), 64–79. DOI: <https://10.15446/rev.fac.cienc.v12n2.107055>

^bCentro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS). Calle Martí # 247, Zaza del Medio, C.P. 62300, Taguasco, Sancti Spíritus, Cuba.

* Autor para correspondencia: alexcalero34@gmail.com

^cUniversidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” Carretera tapaste, Autopista Nacional, km 23 1 /2 , apartado 18-19, CP 32700, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT: Bio-stimulants constituting an efficient agricultural practice to increase plant growth and productivity. This study was carried out with the purpose of to evaluate the co-application between the microbial consortium efficient microorganism (ME-50[®]) and Biobras-16[®] in the growth and yield of common bean in intermediate and late sowing seasons. Two experiments distributed in random blocks, in a factorial arrangement (2×2), with five replicates, were performed to determine the effects of inoculation (100 mL L^{-1}) or not with the ME-50[®] microbial consortium combined with the absence and presence (foliar application at 0.05 mL L^{-1} of Biobras-16[®]) on increasing the bean growth and productive parameter. The results showed that the biostimulants application of ME-50[®] and Biobras-16[®] increased the number of trifoliolate leaves, plant height, dry mass of the aerial part, as well as, the average of pods per plant, grains per plant, grains per pod, mass of 100 grains and yield, but better results were achieved with the co-application between both bioproducts in both evaluated sowing seasons. The results showed that both biostimulants application ME-50[®] and Biobras-16[®] increased the number of trifoliolate leaves, plant height, the dry mass of the aerial part, as well as the average number of pods per plant, grains per plant, grains per pod, the mass of 100 grains and the yield, but better results were achieved with the co-application between both bioproducts in intermediate and late seasons. The findings of this study suggest that co-application between ME-50[®] and Biobras-16[®] is an economical, viable and feasible alternative to increase the sustainable production of common bean in intermediate and late seasons.

KEYWORDS: biostimulants; sowing season; beneficial microorganisms; *Phaseolus vulgaris*; yield.

1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un alimento esencial e importante en el consumo de los pobladores de América Latina y el Caribe, debido a su composición nutricional, que incluye proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas como tiamina, niacina y ácido fólico y minerales como calcio, hierro, fósforo, magnesio y zinc (Calero Hurtado *et al.*, 2022). Sin embargo, un esperado crecimiento en la población mundial, que puede alcanzar los 10 billones de habitantes en el 2050, hace que se incrementen las demandas de alimentos y la inseguridad alimentaria (Nchanji *et al.*, 2021). Además, el cambio climático y la privación de recursos fundamentales, indican que, abastecer a las urbes será un gran reto (Dohle *et al.*, 2019).

En la actualidad la producción de alimentos afronta diversos problemas como la degradación de los suelos (Hamdi *et al.*, 2019), escasas de fertilizantes (Singh *et al.*, 2020), tecnologías no apropiadas y cultivos/variedades no adaptadas a las condiciones edafoclimáticas (Del Buono, 2021), entre otros factores que afectan la fertilidad de los suelos, causan desbalances nutricionales que disminuyen el rendimiento y calidad de los productos y alimentos (Chetan *et al.*, 2021).

Los bioestimulantes son considerados herramientas agronómicas innovadoras en la actualidad y las evidencias científicas apoyan que tienen estímulos bióticos y abióticos (Aloo *et al.*, 2021; Bulgari *et al.*, 2019). Los bioestimulantes vegetales están constituidos por sustancias orgánicas o inorgánicas químico (aminoácidos, vitaminas, minerales, etc.) y/o microorganismos aplicados (Shahrajabian *et al.*, 2021). El uso de bioestimulantes en la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos comerciales ha aumentado en las últimas décadas (Keswani *et al.*, 2019). Además, son un medio económicamente atractivo y aceptable

para disminuir los insumos externos y de mejorar los recursos internos (Del Buono, 2021; Sible *et al.*, 2021).

El consorcio microbiano denominado Microorganismos eficientes (ME), es un bioestimulante compuesto por diferentes sustancias como nutrientes minerales (N, P, K y Ca) (Calero Hurtado, Olivera Viciado *et al.*, 2020) y la presencia de diversos grupos microorganismos benéficos (*Bacillus*, *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, *Rhizobium*, entre otros) (Carabeo *et al.*, 2022), que mejoran las propiedades de los suelos y benefician el crecimiento y desarrollo de las plantas (Avila *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022). Este bioestimulante puede aplicarse de diversas formas: inoculación de las semillas, inoculación del suelo, inoculación de las plántulas, aplicación foliar y la combinación entre la inoculación de las semillas, suelo y plántulas combinado con aspersiones foliares (Calero Hurtado *et al.*, 2019). Estudios anteriores reportan los efectos beneficiosos de este biofertilizante en el crecimiento y productividad del frijol (Calero Hurtado *et al.*, 2022) y la habichuela (Calero Hurtado, Pérez Díaz *et al.*, 2020).

Por otro lado, los brasinoesteroides son fitohormonas que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, poseen un amplio espectro de actividad antiestrés y promueven el rendimiento de cultivos de grano (Rodríguez *et al.*, 2021). El Biobras-16[®] (B16) es un bioestimulante producido en Cuba, que tiene como ingrediente activo un análogo espirostánico de brasinoesteroides y ha sido utilizada como estimuladora de los rendimientos agrícolas en varios cultivos de importancia económica (Rodríguez *et al.*, 2021). Los efectos benéficos del B16 fueron reportados anteriormente en el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol (Lorenzo *et al.*, 2018; Quintero *et al.*, 2018). Por lo tanto, los efectos benéficos de los bioestimulantes Microorganismos eficientes y B16 aplicados de forma individual han sido reportados anteriormente en la literatura, pero existen escasos relatos de su aplicación conjunta (coaplicación) en la mejora del crecimiento y productividad de las plantas. Consecuentemente, el objetivo de este estudio fue evaluar la coaplicación entre el consorcio microbiano ME-50 y B16 en el crecimiento y rendimiento del frijol común en épocas de siembra intermedia y tardía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Condiciones experimentales

Dos experimentos fueron concebidos en la Cooperativa de Créditos y Servicios “Mártires de Taguasco”, Sancti Spíritus, Cuba. El primer experimento fue desarrollado en época de siembra intermedia (ESI) de noviembre de 2019 a febrero de 2020 y el segundo en época de siembra tardía (EST) de enero a abril de 2020.

Las semillas de la variedad comercial de frijol “Velzaco largo” (VL) fueron obtenidas en la Empresa Provincial de Semillas de Sancti Spíritus, con 99% de germinación y de pureza física, respectiva. Esta variedad es de crecimiento determinado, adaptada a las tres épocas de siembras, diversos suelos cubanos y presenta un potencial de rendimiento de $2.7 t ha^{-1}$ (Minag, 2019). Antes de la siembra, las semillas fueron seleccionadas en base a la uniformidad de tamaño, sin manchas y deformaciones. En ambos experimentos la siembra se

realizó manualmente, a la distancia 0.50 m entre líneas y 0.08 m entre plantas y se depositaron tres semillas por sitio y a los 10 días posteriores a la emergencia, se eliminó la abundancia de plantas para dejar una planta en cada sitio y obtener una densidad de plantas aproximada de 250000 plantas ha⁻¹.

Los experimentos se desarrollaron en clima tropical con verano relativamente húmedo y una altitud de 50 m sobre el nivel medio del mar (Peel *et al.*, 2007). Los datos referentes a las precipitaciones, temperatura y humedad relativa se registraron en ambas épocas de siembra. Las precipitaciones acumuladas fueron de 105 mm en ESI y de 68 mm en EST, las temperaturas medias diarias fueron de 25.2 y 22.7°C en las ESI y EST, respectivamente, mientras que, la humedad relativa fue de 88.3% en ESI y de 77.9% en la EST. Los datos referidos a las variables anteriores fueron registrados por la Estación Municipal de Recursos Hidráulicos de Cabaiguán, Sancti Spíritus, Cuba.

2.2. Tipo de suelo y características

El suelo utilizado se clasificó como Pardo Sialítico según la clasificación de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015), Cambisol (IUSS-WRB, 2022). Este suelo presenta perfil ABC, de mediana a poca profundidad, es de color pardo a pardo oscuro y en ocasiones presenta colores verde azules cuando existen condiciones de oxidación en el medio, por el mal drenaje o compactación. Este es un suelo arcilloso con predominio de arcillas del tipo 2 : 1 Montmorillonita.

Las características fisicoquímicas (Tabla 1) fueron determinadas por la metodología de Raij *et al.* (2001). En resumen, las muestras fueron recolectadas en la capa de 0 – 20 cm y trasladadas para el laboratorio, en estas condiciones se colocaron las muestras nailon de polietileno en capas de 1 cm para su secado y disminución de la actividad microbiana. Posteriormente fueron tamizados en un tamiz con malla de 4 mm y las muestras fueron guardadas y conservadas en una nevera a –8°C para los análisis y determinación de las propiedades fisicoquímicas.

Los experimentos se condujeron bajo los criterios de mínimos insumos, sin la utilización de agroquímicos (omisión de la fertilización convencional u orgánica y plaguicidas sintéticos,) porque la incidencia de

Tabla 1: Características fisicoquímicas del suelo utilizado en los experimentos.

Suelo	MO	pH CaCl ₂	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
	g dm ⁻³		mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³			%
Cambisol	28.0	5.7	8.0	15.2	16.0	9.0	40.2	83.0	52.0

Nota: Valores representados por la media de tres muestras. MO: materia orgánica; P: fósforo; K⁺: potasio; Ca²⁺: calcio; Mg²⁺: magnesio; SB: suma de bases; V: saturación de bases

plagas y enfermedades no llegó al umbral de afectación económica. La preparación del suelo y las medidas fitotécnicas ejecutadas durante el desarrollo del cultivo como riego (aspersión), control de plagas, limpiezas (manuales), entre otras, se realizaron siguiendo las instrucciones para el cultivo (Minag, 2019).

2.3. Diseño experimental

En ambos experimentos fue utilizado un diseño experimental en bloques al azar, con arreglo factorial 2×2 , con cinco réplicas. Se evaluó la no inoculación y la inoculación al suelo a 100 mL L^{-1} con el consorcio microbiano denominado Microorganismos eficientes (ME-50[®]) combinado con la ausencia y presencia (aplicación foliar a la concentración 0.05 mL L^{-1}) de B16. El tamaño de las parcelas fue de 10.0 m^2 y el área útil de 4.0 m^2 .

2.4. Tratamientos

La inoculación al suelo con el consorcio ME-50[®] se realizó a la concentración de 100 mL L^{-1} , según los resultados expresados anteriormente por Calero Hurtado *et al.* (2022). Mientras que, el B16 se aplicó de forma foliar en las etapas vegetativas V3 y V5 y reproductiva R6 (Fernández *et al.*, 1986). La combinación de ambos bioestimulantes conllevaron a la formación de los siguientes tratamientos: -ME-B16: ausencia de ambos bioestimulantes; -ME+B16: sin inoculación con ME-50[®] y aplicaciones foliares de B16; +ME-B16: inoculación al suelo con ME-50[®] a 100 mL L^{-1} antes de la siembra y ausencia de B16 y +ME+B16: inoculación al suelo con ME-50[®] a 100 mL L^{-1} y aplicaciones foliares de B16.

2.5. Características de los bioproductos

Ambos bioestimulantes fueron donados gentilmente por la Sucursal de Labiofam de Sancti Spíritus. El inóculo del consorcio microbiano ME-50[®], compuesto por *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato ($5.4 \cdot 10^4 \text{ UCF mL}^{-1}$), *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 ($3.6 \cdot 10^4 \text{ UCF mL}^{-1}$) y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 ($22.3 \cdot 10^5 \text{ UCF mL}^{-1}$), con certificado de calidad emitido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), código R-ID-B-Prot-01-01, producidos sobre la base de desechos industriales de diferentes procesos industriales, melaza de la industria azucarera, suero de leche de la industria láctea, polvo de arroz de la industria arrocera y hojarasca recogidas en áreas de bambú, colocados en fermentación anaeróbica por 21 días y posteriormente preparado en una proporción de 1 kg de la masa fermentada en 10 dm^3 de agua y almacenados en condiciones anaeróbicas por cinco días (Olivera *et al.*, 2014), posteriormente fueron determinadas las características fisicoquímicas listadas en la Tabla 2 (Calero Hurtado, Olivera Viciado *et al.*, 2020).

El B-16, el ingrediente activo, es un análogo de brasinoesteroides, 1 g L^{-1} , obtenido a partir de compuestos naturales con actividad estimuladora del desarrollo vegetal.

Tabla 2: Características fisicoquímicas del consorcio microbiano Microorganismos eficientes (ME-50[®]).

MS	MO	C	pH	N	P	K	Ca	Mg	Na
(g)			(mg kg ⁻¹)						
15,3	78.8	4.3	3.6	19.0	3.8	36.7	56.11	24.30	0.07

2.6. Variables analizadas

Las observaciones de los parámetros del crecimiento y productivos del cultivo del frijol común, correspondieron con los descriptores recomendados para las etapas de crecimiento y desarrollo de la planta (Schoonhoven, 1987). Para la determinación de los parámetros del crecimiento como el número de hojas trifoliadas (HT), altura de la planta (AP) y la masa seca de la parte aérea (MSPA), se efectuaron en la etapa reproductiva R6 y se utilizó una muestra compuesta de 20 plantas por réplicas tomadas del área útil de la parcela. Los parámetros productivos observados como el promedio de vainas por planta (VP), granos por planta (GP), granos por vaina (GV) y la masa de 100 granos (MG, g), se realizaron en el momento de la cosecha (etapa R9) y se tomaron 20 plantas por réplicas en el área útil de la parcela, mientras que, el rendimiento (RD, t ha⁻¹) se tomaron todas las plantas del área efectiva (kg) y posteriormente se convirtió a t ha⁻¹.

2.7. Análisis estadísticos de los datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis descriptivo para variables continuas y cuantitativas, para distribución normal, al test de Shapiro-Wilk para la bondad de ajuste y se aplicó la prueba de Barlett para determinar la homogeneidad de la varianza. Después de comprobados los supuestos anteriores, se realizó un análisis multivariado (ANOVA de dos vías) para probar los efectos de los niveles de bioestimulantes utilizados (ME-50[®] y B16) y sus interacciones (ME×TH). Cuando la *F* fue significativa ($p < 0.05$), las medias se compararon por la prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($p < 0.05$). Todas las pruebas y los análisis descritos anteriormente se realizaron en el software R (R Core Team, 2023).

3. RESULTADOS

3.1. Efectos de los tratamientos en crecimiento de las plantas de frijol

El ANOVA de dos vías reveló interacción significativa ($p < 0.001$) entre los bioestimulantes ME-50[®] y B16 en los parámetros del crecimiento evaluados, hojas trifoliadas por planta (HTP), altura de la planta (AP) y la masa seca de la parte aérea (MSPA) de las plantas de frijol var. VL en ambas épocas de siembras evaluadas (Figura 1 a-d). Hubo un efecto altamente significativo ($p < 0.001$) en el número de HTP entre las épocas de siembra y entre los tratamientos. Las HTP fueron superiores en la época óptima en relación a la tardía (Figura 1 a,b), sin embargo, este parámetro fue incrementado con la aplicación de +ME+B16 en 44 % en ESI y 74 % en EST comparado con el tratamiento -ME-B16 y también fue superior en ~22 % en

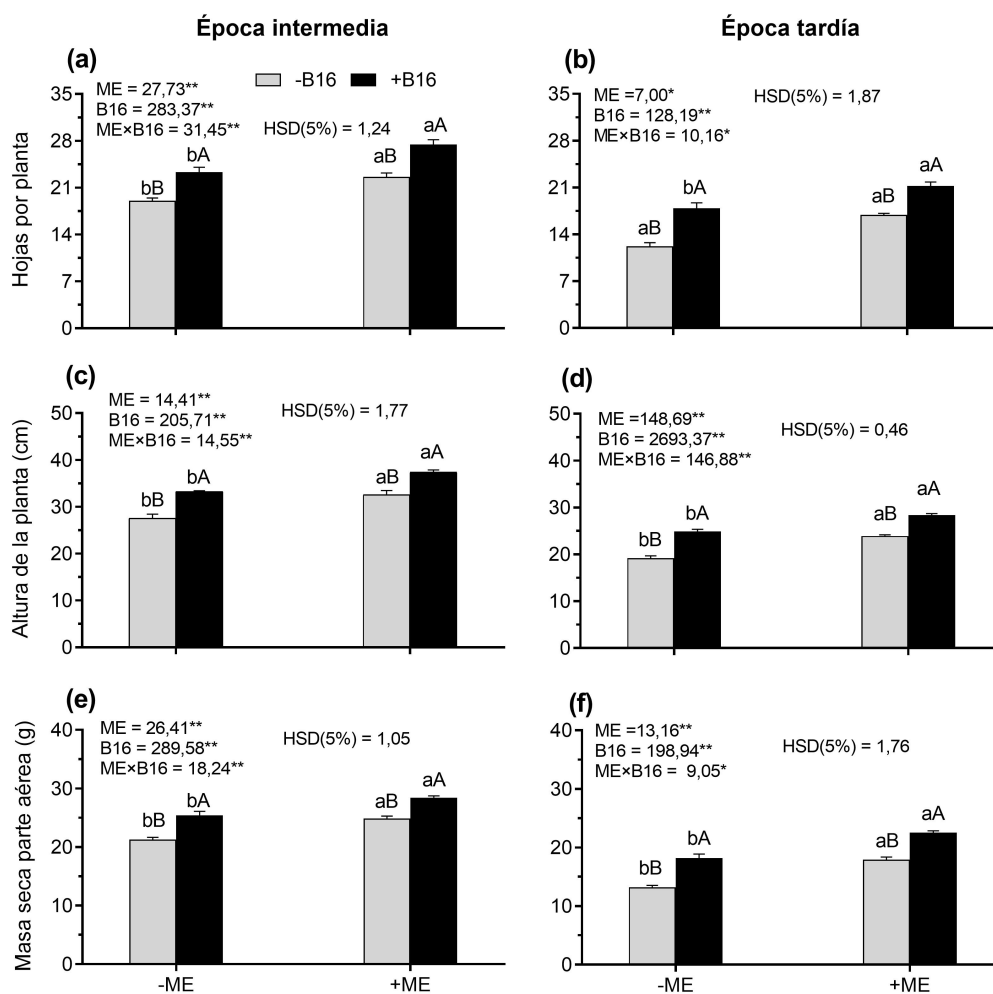


Figura 1: Hojas trifoliadas por planta en época intermedia (a) y en época tardía (b), altura de las plantas en época intermedia (c) y en época tardía (d), masa seca de la parte aérea en época intermedia (e) y en época tardía (f), en función de la aplicación de los -ME-B16, -ME+B16, +ME-B16 y +ME+B16. Valores representados por la media de cinco réplicas \pm desviación estándar (DE). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre la inoculación o con ME-50[®] en el mismo nivel de B16 y letras mayúsculas desiguales muestran diferencias estadísticas entre la ausencia y presencia de B16 en el mismo nivel de ME-50[®], de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$). Fuente: Elaboración propia.

ambas épocas en comparación con los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16, pero estos últimos, al mismo mostraron efectos similares y fueron superiores en relación al tratamiento -ME-B16 en 18 y 42 % en ESI y EST, respectivamente ($p < 0.001$) (Figura 1 a,b).

La AP mostró diferencias significativas ($p < 0.01$) entre las épocas de siembras y tratamientos estudiados. En la ESI las plantas mostraron un mayor crecimiento comparado con la EST (Figura 1 c,d). La AP mostró incrementos de 36 % en la ESI y 48 % en la EST bajo los efectos del tratamiento +ME+B16 en comparación con las plantas sin bioestimulantes -ME-B16; y también exhibió incrementos significativos ($p < 0.001$) de 14 y 16 % en las ESI y EST, respectivamente, comparado con los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16, no obstante, estos últimos tratamientos al mismo tiempo mostraron efectos similares entre ellos y revelaron incrementos de 19 % en ESI y 27 % en EST en comparación al tratamiento -ME-B16 ($p < 0.001$) (Figura 1c,d).

La MSPA fue significativamente superior ($p < 0.01$) en la ESI comparado con la EST (Figura 1 e,f). El tratamiento +ME+B16 mostró incrementos en la producción de MSPA de 34 y 74 % en la ESI y EST, respectivamente comparado con el tratamiento -ME-B16 y además exhibió un aumento en la MSPA de 13 % en la ESI y 26 % en la EST, comparado con los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16, sin embargo, estos últimos tratamientos a la misma vez mostraron efectos similares entre ellos y mostraron incrementos en la MSPA de 18 y 35 % en las ESI y EST, respectivamente, en comparación a las plantas sin tratamientos -ME-B16 (Figura 1 e,f).

Este estudio reporta por primera vez la coaplicación entre estos biofertilizantes favorecen el crecimiento del frijol en dos épocas de siembras diferentes. Los resultados exhibieron que las plantas de frijol muestran un mayor crecimiento en la época intermedia en relación a la época tardía. Estos efectos pueden deberse a condiciones edafoclimatológicas (Temperatura y humedad) que favorecen el desarrollo de este cultivo, porque en las épocas tardías las bajas temperaturas y la baja humedad afectan el crecimiento y desarrollo de estas plantas (Calero Hurtado, Quintero Rodríguez *et al.*, 2020). Adicionalmente, la coaplicación entre los bioestimulantes +ME+B16 beneficia aún más el crecimiento de las plantas de frijol en ambas épocas de siembra, debido principalmente a la incorporación de nutrientes esenciales como el N y Ca que intervienen el formación estructural y división celular, respectivamente (Prado, 2021). En consecuencia, la inoculación con el consorcio ME-50[®] se incorporan algunos géneros como: que ayudan a la solubilidad y mayor disponibilidad de los nutrientes minerales y otras sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas (Carabeo *et al.*, 2022). Los efectos benéficos de estos bioestimulantes sobre el crecimiento de las plantas de frijol fueron reportados previamente con la aplicación de consorcios de microorganismos (Calero Hurtado, Quintero Rodríguez *et al.*, 2020) y con Biobras-16 (Rodríguez *et al.*, 2021). Por lo tanto, estos resultados están en concordancia con nuestra hipótesis propuesta y muestra que la coaplicación entre el consorcio ME-50[®] y B16 son una alternativa eficiente y económica para incrementar el crecimiento de las plantas de frijol en épocas de siembra intermedia y tardía.

3.2. Efectos de los tratamientos en los parámetros productivos de las plantas de frijol

El ANOVA mostró interacciones significativas ($p < 0.01$) entre los bioestimulantes ME-50[®] y B16 en los parámetros productivos evaluados como el número de vainas por planta (NVP), granos por planta (GP) y granos por vaina (GV) del var. Velzco largo de frijol común (Figura 2 a-f). El NVP exhibió efectos significativamente ($p < 0.001$) superiores en la ESI en relación a la EST (Figura 2 a, b). No obstante, el tratamiento +ME+B16 reveló incrementos significativos en el NVP de 53 % en ESI y 66 % en EST comparado con la no aplicación de bioestimulantes -ME-B16 y también fue superior en 20 % en la ESI y 22 % en la EST en comparación a los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16; sin embargo, estos últimos tratamientos mostraron efectos similares ($p = 0.865$) y fueron superiores en 27 y 36 % en las ESI y EST, respectivamente respecto al tratamiento -ME-B16 ($p < 0.02$) (Figura 2 a, b).

El promedio de GP fue significativamente superior ($p < 0,003$) en la EPI que en la EST (Figura 2 c, d). La media de GP mostró incrementos significativamente ($p < 0,01$) superior en las plantas de frijol tratadas con +ME+FE en relación a los otros tratamientos evaluados, con incrementos de 70 y 55 GP en las ESI y EST, respectivamente en comparación a las plantas sin bioestimulantes -ME-B16, pero también reveló aumentos significativos ($p < 0,002$) de 32 % en la ESI y 38 % en la EST en comparación a las plantas tratadas con -ME+B16 y +ME-B16; sin embargo, estos últimos tratamientos al mismo tiempo mostraron efectos similares ($p = 0,619$) y fueron significativamente superiores ($p < 0.01$) en los GP en 48 y 37 % en las EPI y EST, respectivamente comparado con el tratamiento -ME-B16 (Figura 2 c, d).

Los GV exhibieron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las épocas de siembras, con mayor producción para este indicador en la ESI en comparación a la EST (Figura 1e, f). La aplicación combinada +ME+B16 mostró incrementos significativos en los GV de 81 % en la ESI y 83 % en la EST en comparación a las plantas que no fueron tratadas con bioestimulantes -ME-B16 y también mostró efectos significativos ($p < 0.03$) de 20 y 23 % en las ESI y EST, respectivamente en comparación a los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16, pero estos últimos mostraron efectos similares ($p = 0.593$) en los GV y fueron significativamente ($p < 0.001$) superiores en 51 % en la ESI y 59 % en la ESI comparado con el tratamiento -ME-B16 (Figura 2 e, f).

Los resultados del ANOVA de dos vías exhibieron interacciones significativas ($p < 0.0001$) entre las épocas de siembras en la MG y el rendimiento del frijol var. Velazco largo (Figura 3 a-d). La MG mostró efectos superiores en la EPI en relación a la EST ($p < 0.017$), sin embargo, las plantas tratadas con +ME+B16 revelaron incrementos significativos ($p < 0.001$) en la MG de 35 y 58 % en las ESI y EST, respectivamente, en comparación con las plantas no tratadas con bioestimulantes -ME-B16 y además fue significativamente superior en 17 % en la ESI y 20 % en la EST comparado con los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16; sin embargo, estos últimos al mismo tiempo mostraron efectos similares ($p = 0.667$) y superaron en 15 % en la ESI y 31 % en la EST en relación a las plantas no tratadas con bioestimulantes -ME-B16 ($p < 0.001$) (Figura 3 a, b).

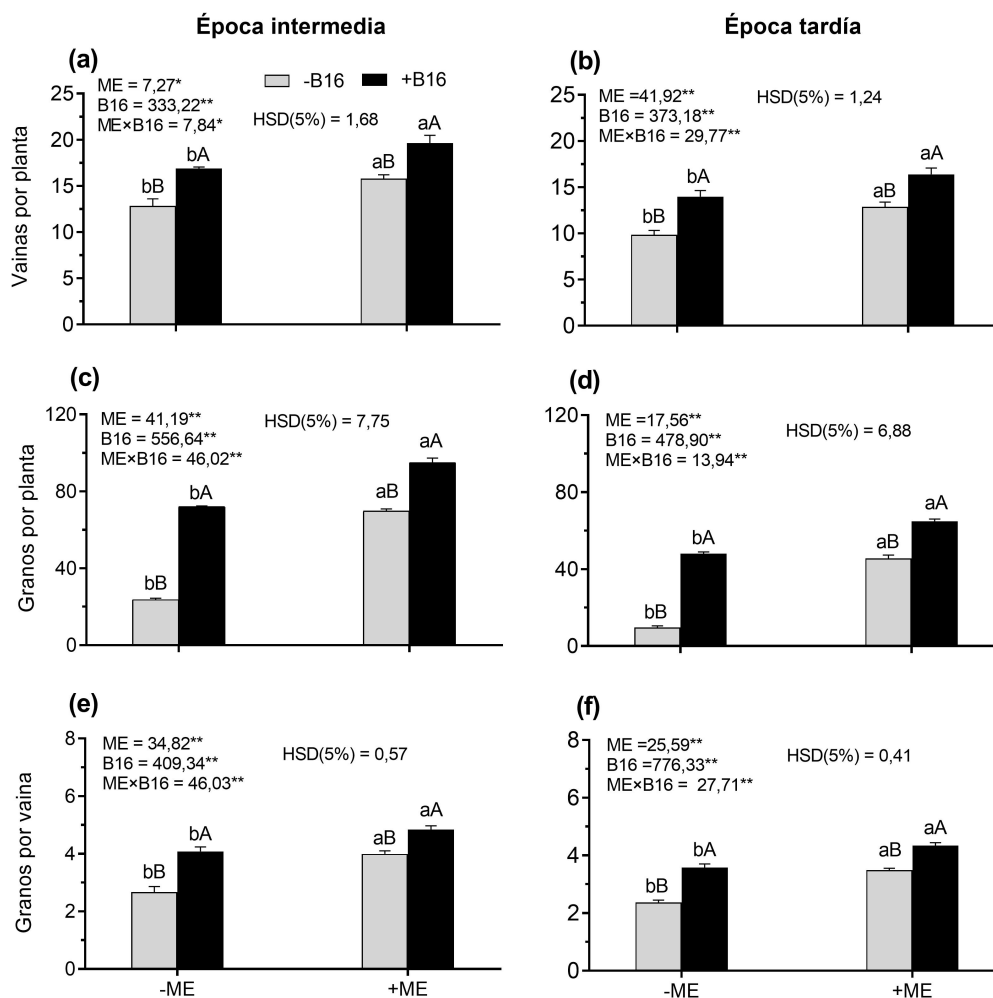


Figura 2: Número de vainas por planta en época intermedia (a) y en época tardía (b), granos promedio por planta en época intermedia (c) y en época tardía (d), granos por vaina en época intermedia (e) y en época tardía (f), en función de la aplicación de los tratamientos -ME-B16, -ME+B16, +ME-B16 y +ME+B16. Valores representados por la media de cinco réplicas \pm desviación estándar (DE). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre la inoculación o no con ME-50[®] en el mismo nivel de B16 y letras mayúsculas desiguales muestran diferencias significativas entre la ausencia y presencia de B16 en el mismo nivel de ME-50[®], de acuerdo con Tukey ($p < 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

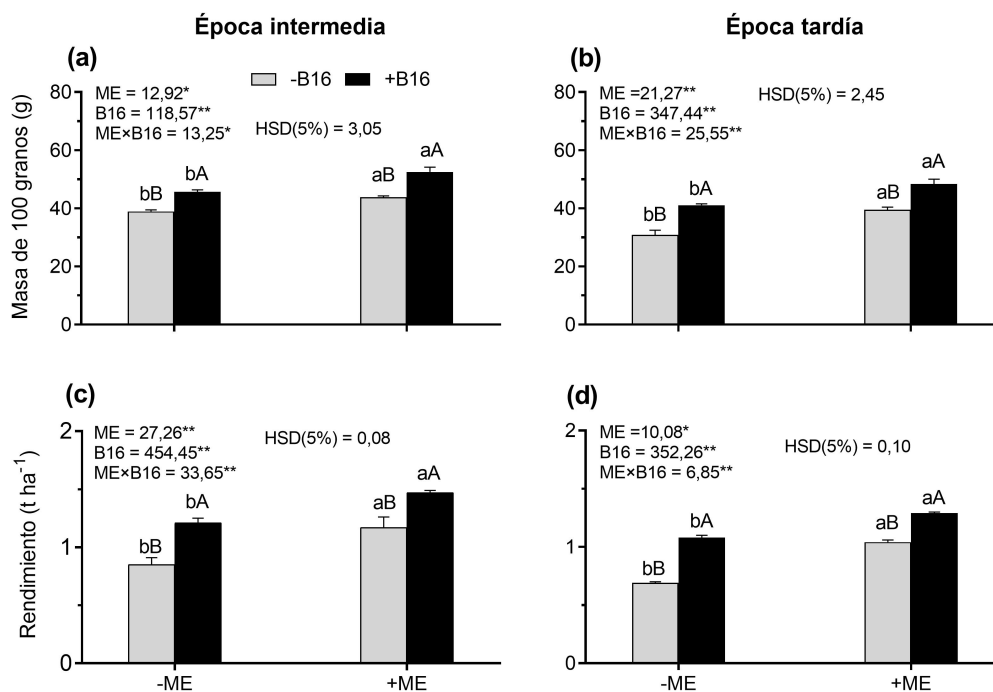


Figura 3: . Masa de 100 granos en época intermedia (a) y en época tardía (b), rendimiento en época intermedia (c) y en época tardía (d), en función de los tratamientos -ME-B16, -ME+B16, +ME-B16 y +ME+B16. Valores representados por la media de cinco réplicas \pm desviación estándar (DE). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre la inoculación o no con ME-50[®] en el mismo nivel de B16 y letras mayúsculas desiguales muestran diferencias significativas entre la ausencia y presencia de B16 en el mismo nivel de ME-50[®], de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$). Fuente: Elaboración propia.

El RD de las plantas de frijol mostró efectos significativos ($p < 0.001$) entre las épocas de siembras, con mayores resultados en la ESI respecto a la EST (Figura 3 c, d). Las plantas tratadas con +ME+B16 mostraron mayores rendimientos comparado con los tratamientos -ME-B16, -ME+B16 y +ME-B16, con incrementos de 73 % en la ESI y 87 % en la EST respecto a las plantas sin bioestimulantes (-ME-B16) y aumentos de 24 y 27 % en las ESI y EST, respectivamente en relación a los tratamientos -ME+B16 y +ME-B16 ($p < 0.011$), no obstante, estos últimos presentaron efectos similares ($p = 0.738$) y fueron significativamente superiores ($p < 0.002$) a las plantas no tratadas (-ME-B16) en 40 % en la ESI y 54 % en la EST (Figura 3 c, d).

Los resultados de este estudio verifican los efectos benéficos de la aplicación individual de ambos bioestimulantes en la producción de frijol en ambas épocas de siembras, pero la coaplicación entre ambos mostró mejores beneficios en el crecimiento y productividad de las plantas de frijol. Estos resultados concuerdan con nuestra hipótesis y fueron similares a los reportados anteriormente para este cultivo (Calero Hurtado *et al.*, 2022). Este incremento en los parámetros productivos pueden estar debido a una mejor nutrición de la plantas por la introducción de sustancias y nutrientes en la composición de los bioestimulantes (Calero Hurtado, Olivera Viciado *et al.*, 2020). Además, la incorporación de géneros de *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, entre otros, que ayudan a la disponibilidad de nutrientes y el biocontrol de patógenos (Carabeo *et al.*, 2022). Al mismo tiempo, estos resultados son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente en plantas de frijol con la combinación de este consorcio con bioestimulantes como el FitoMas-E[®] (Calero Hurtado *et al.*, 2022), Azofert[®] (Calero Hurtado, Quintero Roddríguez *et al.*, 2020) y con vermicompost lixiviado en habichuela (Calero Hurtado, Pérez Díaz *et al.*, 2020).

Finalmente, la hipótesis de este estudio fue verificada indicándose que la coaplicación entre el consorcio microbiano ME-50[®] y BB-16 es una alternativa económica y viable para la producción de frijol común en épocas de siembra intermedia y tardía.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación mostraron que el crecimiento y productividad del frijol fue superior en la época intermedia en relación a la tardía. Adicionalmente, los bioestimulantes Microorganismos eficientes y Biobras-16[®] mejoran los parámetros del crecimiento y rendimiento en las dos épocas de siembras evaluadas, pero la coaplicación entre ambos bioestimulantes es más prominente en la productividad del frijol en 24 y 27 % en las época intermedia y época tardía, respectivamente en comparación con la aplicación de individual de ambos bioestimulantes. Adicionalmente, los hallazgos de este estudio sugieren que la coaplicación entre los bioestimulantes Microorganismos eficientes y Biobras-16[®] (+ME+B16) es una alternativa factible y económica para la producción sostenible de frijol en épocas intermedias y tardías.

Contribución de los autores

Yanery Pérez-Díaz: Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación. Llevó a cabo el experimento, realizó el análisis de datos y escribió el manuscrito. Escribió el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial).

Alexander Calero-Hurtado: Diseñó la investigación. Responsable de la interpretación y validación de los resultados del análisis estadístico. Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Supervisó la ejecución de las actividades de investigación, incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Leticia Hernández-González: Participó en la toma de datos y creación de la base de datos. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Yenisley García-Guardarrama: Participó en la toma de datos y creación de la base de datos. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Silvia M. Pacheco-Méndez: Participó en la toma de datos y creación de la base de datos. Realizó la traducción del resumen. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Yaneida Rodríguez Pérez: Participó en la toma de datos y creación de la base de datos. Revisó el manuscrito original y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Iván Castro-Lizazo: Contribuyó a la digitalización de datos, preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Aprobó el borrador final para su envío y asume toda la responsabilidad por el contenido.

Referencias

- Aloo, B. N., Mbega, E. R., Tumuhairwe, J. B., & Makumba, B. A. (2021). Advancement and practical applications of rhizobacterial biofertilizers for sustainable crop production in sub-Saharan Africa. *Agriculture and Food Security*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/S40066-021-00333-6/TABLES/2>
- Avila, G. M. de A., Gabardo, G., Clock, D. C., & Junior, O. S. de L. (2021). Use of efficient microorganisms in agriculture. *Research, Society and Development*, 10(8), 1-13. <https://doi.org/10.33448/RSD-V10I8.17515>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY9060306>

- Calero Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Rodríguez-Lorenzo, M., & Rodríguez-González, V. (2022). Joint application of beneficial microorganisms consortium and FitoMas-E[®] increases the agricultural indicators of beans. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1), e2252. <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V25.N1.2022.2252>
- Calero Hurtado, A., Olivera Viciado, D., Pérez Díaz, Y., Hurtado, Y. G.-P., Yáñez Simón, L. A., & Peña Calzada, K. (2020). Management of different planting densities and application of efficient microorganisms increase rice productivity. *Idesia*, 38(2), 109-117. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200109>
- Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Hurtado, Y. G.-P., Yanes Simón, L. A., Peña Calzada, K., OliveraViciado, D., & Meléndrez Rodríguez, J. F. (2020). Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 9(1), 112–124. <https://doi.org/10.15446/REV.FAC.CIENC.V9N1.82584>
- Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Olivera Viciado, D., Quintero Rodríguez, E., Peña Calzada, K., Theodore Nedd, L. L., & Jiménez Hernández, J. (2019). Effect of different application forms of efficient microorganisms on the agricultural productive of two bean cultivars. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8927-8935. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.76272>
- Calero Hurtado, A., Quintero Rodríguez, E., Pérez Díaz, Y., Jiménez Hernández, J., & Castro Lizazo, I. (2020). Association between AzoFert[®] and efficient microorganism potentiates the growth and productivity of beans. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 37(4), 387-409. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v37.n4.04](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v37.n4.04)
- Carabeo, A., Jiménez, J., Gil, Z., Henderson, D., Adams, P., & Calero-Hurtado, A. (2022). Taxonomic identification and diversity of effective soil microorganisms: towards a better understanding of this microbiome. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 278-292. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101378>
- Chetan, F., Chetan, C., Bogdan, I., Pop, A. I., Moraru, P. I., & Rusu, T. (2021). The Effects of Management (Tillage, Fertilization, Plant Density) on Soybean Yield and Quality in a Three-Year Experiment under Transylvanian Plain Climate Conditions. *Land*, 10(2), 200. <https://doi.org/10.3390/LAND10020200>
- Del Buono, D. (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of The Total Environment*, 751, 141763. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141763>
- Dohle, S., Carlos, J., Mier, B., Egan, A., Kisha, T., & Khoury, C. K. (2019). Wild Beans (*Phaseolus* L.) of North America. In *North American Crop Wild Relatives* Vol. 2, pp. 99-117. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6>
- Fernández, F., Gepts, P. & López, M. (1986). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (A. L. de R. Guzman (ed.); 1ra ed.). Centro Internacional de Agricultura Tropical. 44 p.

- Hamdi, H., Hechmi, S., Khelil, M. N., Zoghلامي, I. R., Benzarti, S., Mokni-Tlili, S., Hassen, A., & Jedidi, N. (2019). Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. *Catena*, 172, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.015>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Publicado en formato digital (1st ed.). *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*.
- IUSS-WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4th ed.). <https://doi.org/10.1017/S0014479706394902>
- Keswani, C., Prakash, O., Bharti, N., Vílchez, J. I., Sansinenea, E., Lally, R. D., Borriss, R., Singh, S. P., Gupta, V. K., Fraceto, L. F., Lima, R. De, & Singh, H. B. (2019). Re-addressing the biosafety issues of plant growth promoting rhizobacteria. *Science of the Total Environment*, 690, 841-852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.046>
- Lorenzo, Ms. X. A. M., Muñiz, I. L. L., & Ramírez, I. J. G. (2018). Efecto de los bioestimulantes Biobras 16 y Quitomax sobre el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedad Delicias-364' en la agricultura suburbana de Aguada de Pasajeros. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 151-160. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/208>
- Ministerio de la Agricultura [Minag]. (2019). Instructivo técnico para la producción de frijol y maíz (Primera). Ministerio de la Agricultura.
- Nchanji, E., Lutomia, C. K., & Karanja, D. (2021). Immediate impacts of COVID-19 measures on bean production, distribution, and food security in Eastern Africa. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 10(2), 259-263. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2021.102.007>
- Olivera Vicedo, D., Ayala, J. L., Calero Hurtado, A., Santana, M. & Hernández, A. (2014). Prácticas agroecológicas en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba. Microorganismos eficientes (EM), una tecnología apropiada sobre bases agroecológicas. *Ciência Tecnologia Sociedade (Cts) na Construção da Agroecologia*, 7(1), 77-83.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Prado, R. de M. (2021). Introduction to Plant Nutrition. In R. de M. Prado (Ed.), Mineral nutrition of tropical plants (1st ed.). *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4_1
- Quintero, E., Calero, A., Pérez, Y., & Enríquez, L. (2018). Effect of different biostimulants in the yields of common beans. *Centro Agrícola*, 45(3), 73-80.

- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raij, B. van, Andrade, J. C., Cantarella, H., & Quaggio, J. . (2001). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais (2nd ed.). *Campinas: Instituto Agronômico*.
- Rodríguez, Y. S., Martínez, J. A., & Cruz, A. G. (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano | Salazar Rodríguez | Revista ECOVIDA. *Revista ECOVIDA*, 11(3), 225-249. <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/239/html>
- Schoonhoven, A. V. (1987). Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol (1st ed.). *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*. <http://hdl.handle.net/10568/69558>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Sustainable Agriculture Systems in Vegetable Production Using Chitin and Chitosan as Plant Biostimulants. *Biomolecules*, 11, 819. <https://doi.org/10.3390/biom11060819>
- Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy*, 11(7), 1297. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11071297>
- Silva, A. L. da, Cordeiro, R. S., & Rocha, H. C. R. da. (2022). Applicability of Efficient Microorganisms (EM) in agriculture: literature review. *Research, Society and Development*, 11(1), e32311125054-e32311125054. <https://doi.org/10.33448/RSD-V11I1.25054>
- Singh, A., Karmegam, N., Singh, G. S., Bhadauria, T., Chang, S. W., Awasthi, M. K., Sudhakar, S., Arunachalam, K. D., Biruntha, M., & Ravindran, B. (2020). Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature's debt. *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 1617-1642. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00510-4>