



Artículo original

Aplicación complementaria de dos bioproductos incrementan la productividad del frijol común

Alexander Calero-Hurtado^{1*} 

Yanery Pérez-Díaz² 

Yainier González-Pardo Hurtado³ 

Dilier Olivera-Viciedo¹ 

Kolima Peña-Calzada¹ 

Iván Castro-Lizazo⁴ 

Jorge F. Meléndrez-Rodríguez³ 

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil

²Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS). Centro Universitario Municipal de Taguasco “Enrique José Varona”. Zaza del Medio, Taguasco, Cuba

³Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sancti Spíritus, Cuba

⁴Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba

* Autor para correspondencia: alexcalero34@gmail.com

RESUMEN

La suplementación con bioproductos (BP) puede constituir una alternativa eficiente para el manejo de los cultivos, sobre todo en aquellos que se utilicen bajas aplicaciones de fertilizantes minerales. El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación complementaria de los bioproductos ME-50[®] y FitoMas-E[®] (FE) en el aumento de la productividad del frijol común. Se realizó un experimento en condiciones de campo con el cultivar ‘Bat-304’ de frijol común. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques al azar, en esquema factorial 2×2. Fueron estudiados dos niveles de fertilización mineral (0 y 50 kg ha⁻¹) y la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹), con cinco repeticiones. A los 40 días después de la emergencia fue determinado el promedio de hojas trifoliadas por planta y en la cosecha

fueron evaluados el número de vainas por planta, granos por planta, granos por vaina, la masa de 100 granos y el rendimiento. Los resultados mostraron que la aplicación de los bioproductos ME-50 y FitoMas-E incrementaron los parámetros morfofisiológicos y productivos del frijol, con el consecuente incremento del rendimiento en presencia de la fertilización mineral. Los resultados indicaron que el bioproducto ME-50 fue superior al FitoMas-E en ambas condiciones de cultivo. Este estudio sugiere que la utilización de ambos bioproductos constituye una contribución importante al manejo productivo de la especie porque mejora los componentes productivos y consecuentemente el rendimiento.

Palabras clave: aplicación foliar, bioestimulantes, microorganismos benéficos, *Phaseolus vulgaris* L., rendimientos

Recibido: 05/07/2019

Aceptado: 25/05/2020

INTRODUCCIÓN

El frijol común *Phaseolus vulgaris* L., está considerado entre las plantas de granos alimenticios, es una de las especies más importantes para el consumo humano, porque en términos nutricionales, constituyen una fuente barata de proteínas y minerales ⁽¹⁾. América Latina es la región con mayor producción del grano, pero al mismo tiempo, la que más lo consume y se estima que más del 45 % de la producción mundial proviene de esta región ⁽²⁾.

En Cuba, el *P.vulgaris* constituye un alimento de la dieta básica diaria de las comidas. Es cultivado en la mayoría de las provincias de forma convencional o agroecológica, lográndose rendimientos de bajos a medios principalmente dados por las condiciones climatológicas, la incidencia de plagas y el manejo y aplicación de los fertilizantes orgánicos o minerales ⁽³⁾; estos últimos, que afectan el medio ambiente, tanto por sus residuos en los alimentos como por el efecto contaminante en los suelos y las cuencas acuíferas ⁽⁴⁾.

El desarrollo de sistemas que aseguren el uso eficiente de los fertilizantes sin afectar el medio ambiente es crucial para mantener la productividad de los cultivos en el futuro ⁽⁵⁾. Bajas aplicaciones de fertilizantes minerales complementados con la aplicación de bioproductos certifican una menor contaminación, ya que los microorganismos transforman todas estas sustancias en nutrientes asimilables para las plantas ⁽⁶⁾. Esta práctica aumenta la biomasa microbiana del suelo y los niveles de carbono y nitrógeno ⁽⁷⁾. También hay mucho interés en mejorar el suministro de nutrientes para los cultivos con las rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas (PGPR). Los biofertilizantes que contienen PGPR muestran cada vez más una promesa económica y un potencial de beneficios ambientales ⁽⁸⁾.

Actualmente entre los bioproductos utilizados en la producción agropecuaria cubana, se encuentra el FE desarrollado por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), este bionutriente es portador de un conjunto de intermediarios bioquímicos de alta energía extraordinariamente valioso para las plantas de cultivo, lo cual se evidencia en la resistencia al estrés y se ve reflejado en el incremento de los rendimientos y la mejora de la calidad de las cosechas ⁽⁹⁾. Estos efectos beneficiosos con la suplementación del FE han sido demostrados por varios investigadores en el cultivo del frijol ^(10,11).

Por otro lado, la tecnología de microorganismos eficientes (ME) también ha causado impactos en la producción agrícola en más de 80 países ⁽¹²⁾. Su empleo ha beneficiado a los agricultores ⁽¹³⁾, principalmente porque son introducidos un grupo de microorganismos benéficos que mejoran las condiciones del suelo y con ello la productividad de los cultivos ⁽¹⁴⁾. La utilización de bioproductos constituidos en base a esta tecnología ha favorecido la producción de varias especies, como el frijol común ⁽¹⁵⁻¹⁹⁾, la fresa ⁽²⁰⁾, el pepino ⁽²¹⁾ y la habichuela ⁽²²⁾.

Sin embargo, en la producción actual del frijol, una estrategia importante es la aplicación de fertilizantes minerales en el momento de la siembra y continuar con la suplementación de bioproductos para incrementar la productividad del grano. Por tanto, si son incrementados los indicadores morfofisiológicos y productivos explicaría mejor el aumento del rendimiento.

En vista de lo anterior, surgen las siguientes hipótesis: la aplicación complementaria de los bioproductos ME-50 y FitoMas-E pueden constituir una alternativa eficiente para aumentar la productividad del frijol común y todavía es posible determinar cuál bioproducto favorece más el rendimiento de este cultivo. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la aplicación complementaria de los bioproductos ME-50 y FitoMas-E en el aumento de la productividad del frijol común.

MATERIALES Y MÉTODOS

La siembra del cultivar de frijol común Bat-304 fue realizada en la Cooperativa de Créditos y Servicios “Mártires de Taguasco” (22°6′17.588″N; 79°22′33.544″O), Sancti Spíritus, Cuba, de noviembre de 2016 a febrero de 2017. Las semillas del cv. Bat-304 fueron obtenidas en la empresa de semilla de Sancti Spíritus con un 97 % de germinación, el cual presenta granos de color negro, un rendimiento potencial de 2,77 t ha⁻¹, hábito de crecimiento tipo III y un ciclo entre 75-85 días.

La siembra se realizó de forma manual a la distancia de 0,60 m entre hileras y 0,05 m entre plantas. Las variables climáticas fueron registradas por la Estación Municipal de Recursos Hidráulicos de Cabaiguán, la temperatura media diaria fue de 23,57 ± 2,80 °C, la humedad

relativa $82,40 \pm 6,50$ % y la precipitación pluvial acumulada durante el desarrollo de la investigación de 233,85 mm. El suelo fue clasificado como Pardo Sialítico Carbonatado ⁽²³⁾, denominado Cambisol ⁽²⁴⁾.

El diseño experimental fue en bloques al azar, distribuido en esquema factorial 2×2 . Fueron estudiados dos niveles de fertilización mineral (FM) (0 y 50 kg ha^{-1}) y la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L^{-1}) y FE (2 L ha^{-1}), con cinco réplicas. La concentración de ME-50 utilizada para la imbibición y las aplicaciones foliares fue seleccionada en base a los resultados obtenidos anteriormente para este cultivo ^(18,25), mientras que la dosis de FE fue escogida a través de las orientaciones y resultados previos para el cultivo del frijol ^(10,17).

Las parcelas fueron de $7,20 \text{ m}^2$ de tamaño, el área efectiva fue de $2,75 \text{ m}^2$ y el área total del experimento de 0,08 ha. El modo de aplicación de los tratamientos se muestra en la Tabla 1, las semillas fueron embebidas durante 2 h en las soluciones de ambos bioproductos (Tabla 1), después fueron colocadas en papel toalla para retirar el exceso de humedad (~ 30 min) y rápidamente se procedió a la siembra de las mismas. Las aplicaciones foliares de los bioproductos fueron realizadas con una asperjadora manual (ECHO MS-21H) de 7,6 litros de capacidad, aplicados en las etapas de fenológicas V3 y V4 (vegetativa) y la R5 (reproductiva) y la fertilización mineral se realizó a la dosis de 50 kg ha^{-1} antes de la siembra con la fórmula completa (N, P, K) ^(9,13,18) (Tabla 1).

Tabla 1. Modo de aplicación, dosis y concentraciones de los tratamientos utilizados

Tratamientos	Modo de aplicación				
	Vía suelos (N, P, K)	Vía semillas		Vía foliar	
				Etapa V3	Etapa V4
ME-50		100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}
ME-50	50 kg ha^{-1}	100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}	100 mL L^{-1}
FE	-	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}
FE	50 kg ha^{-1}	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}	2 L ha^{-1}

Las labores de cultivo se realizaron siguiendo las recomendaciones del instructivo técnico para el cultivo ⁽³⁾ y las labores de limpieza fueron realizadas de forma manual.

Los bioproductos ME-50 y FE fueron adquiridos en la Sucursal de Labiofam de Sancti Spíritus. El FitoMas-E es un derivado de la industria azucarera cubana creado y desarrollado por el ICIDCA. Es una mezcla de sales minerales y sustancias bioquímicas de alta energía (aminoácidos, bases nitrogenadas, sacáridos y polisacáridos biológicamente activos), $150,0 \text{ g L}^{-1}$ de extracto orgánico, $55,0 \text{ g L}^{-1}$ de Nitrógeno total, 60 g L^{-1} de K_2O y $31,0 \text{ g L}^{-1}$ de P_2O_5 . El bioproducto ME-50 conocido como microorganismos eficientes, está compuesto

principalmente por tres especies, como el *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato ($5,4 \cdot 10^4$ ucf mL⁻¹), *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 ($3,6 \cdot 10^4$ ucf mL⁻¹) y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 ($22,3 \cdot 10^5$ ucf mL⁻¹), con certificado de calidad emitido por ICIDCA, código R-ID-B-Prot-01-01.

Las variables evaluadas correspondieron con los criterios descritos para el cultivo ⁽²⁶⁾. Los muestreos fueron realizados en el área efectiva de las parcelas y evaluadas 40 plantas por tratamientos. En la etapa fenológica R5 fue evaluado el número de hojas por planta (NH) y al finalizar el ciclo del cultivo (R9) fueron evaluados el número vainas por planta (VP); el número de granos por planta (GP); el número de granos por vaina (GV); la masa promedio de 100 semillas (g) (M100) y el rendimiento (t ha⁻¹).

Los datos obtenidos fueron procesados en el software estadístico AgroEstat[®], a los cuales se le determinó la distribución normal, mediante la prueba de Shapiro-Wilk para la bondad de ajuste. Cuando existió normalidad fue realizado un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) y la significancia de la varianza fue comprobada por la prueba de Fisher, cuando esta fue significativa al 5 % de probabilidad de error, las medias fueron comparadas por la prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

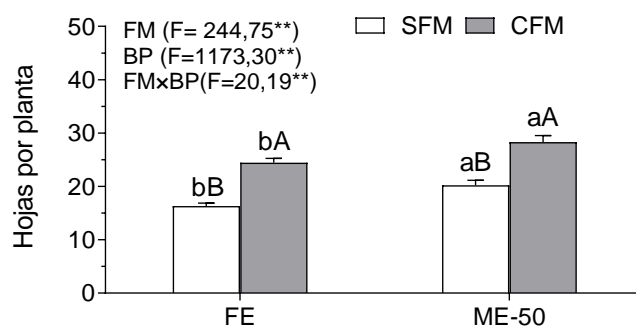
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANOVA reveló una interacción significativa ($p < 0,01$) entre los factores FM y BP en el promedio de hojas por planta (Figura 1). La aplicación de ambos bioproductos en condiciones de FM (50 k ha^{-1}) incrementaron el número de HP en relación a las plantas sin FM ($p < 0,01$), con destaque para el tratamiento con ME-50 porque logró mejor desempeño que el FE en ambas condiciones de FM. Cuando las plantas de frijol fueron fertilizadas con (50 k ha^{-1}) la aplicación del ME-50 incrementó el HP en ~40 % comparados con las plantas sin FM y fue superior en 23 % a la aplicación del FE, pero al mismo tiempo la aplicación de FE bajo FM incrementó el HP en 50 % comparado con las plantas que no recibieron FM. Por otro lado, en condiciones de cultivo sin FM la aplicación de ME-50 fue superior en ~24 % comparado con el FE (Figura 1). En este estudio fueron demostrados los efectos benéficos de la aplicación de ambos bioproductos ME-50 y FE en la producción de HP del cv. Bat-304. Por tanto, se evidenció que la producción de frijol es perjudicada en las condiciones actuales de manejo, principalmente porque no se favorece la producción de HP. Sin embargo, la aplicación complementaria de ambos bioproductos favoreció el número de HP (Figura 1). Estos efectos benéficos de ambos bioproductos en el aumento del número de HP fueron posibles porque son introducidos microorganismos y sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas ^(9,27). El incremento

del HP tiene una gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual, favorece la elaboración de nutrimentos y otros procesos metabólicos de las plantas ⁽²⁸⁾.

Los resultados mostraron que la aplicación complementaria del ME-50 incrementó el HP en relación a la ausencia (Figura 1). Estos efectos pudieron estar influenciados por la incorporación de microorganismos como *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus bulgaricum* y *Saccharomyces cerevisiae*, los cuales ayudan a solubilizar y producir sustancias y nutrientes que favorecen la arquitectura de las plantas ⁽¹⁴⁾. Estos efectos benéficos de los ME en el aumento de la producción del HP fueron observados anteriormente en esta especie ⁽¹⁵⁻¹⁹⁾.

Por otra parte, fue observado que la aplicación complementaria del FE favoreció la producción de HP en el cv. Bat-304 en relación a la no adición del bioproducto (Figura 1). Estos resultados pudieron estar modificados porque este bionutriente incorporó una mezcla de sales minerales y sustancias bioquímicas de alta energía, lo cual se complementó muy bien con la baja FM mineral realizada en el aumento del HP. Estos resultados son consistentes con otros estudios descritos anteriormente ^(10,11,15), quienes informaron que el FE estimuló los indicadores morfológicos en las plantas de frijol.



Valores representados por la media de cinco réplicas \pm desviación estándar (DE) (Medias \pm DE, $n = 5$). Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM \times BP interacción fertilización mineral-bioproductos. Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

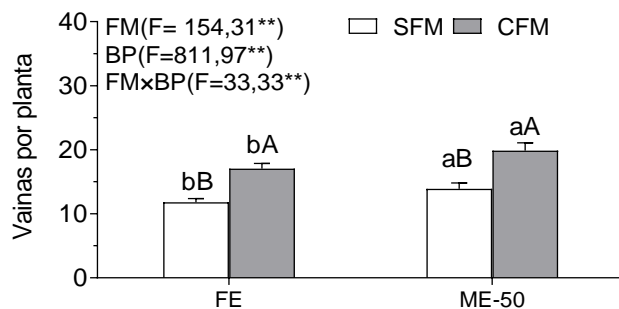
Figura 1. Producción de hojas trifoliadas por planta obtenidos en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹)

La producción de vainas por planta mostró una interacción significativa ($p < 0,01$) entre los factores FM y BP (Figura 2). La aplicación de los bioproductos ME-50 y FE alcanzaron una mayor producción del VP bajo la FM con 50 kg ha⁻¹ comparado con las plantas que fueron fertilizadas ($p < 0,01$). El tratamiento con ME-50 mostró un mejor resultado en el VP comparado

con el FE en ambas condiciones de FM y mostraron diferencias significativas ($p < 0,01$). En condiciones de FM el tratamiento con ME-50 incrementó el VP en 17 % en relación al FE y fue superior en un 43 % en relación a las plantas sin FM; sin embargo, las plantas de frijol que recibieron la aplicación de FE y fertilizadas con 50 kg ha^{-1} de FC incrementaron el promedio de VP en ~45 % comparadas con aquellas no recibieron FE y FM. Por otro lado, cuando las plantas de frijol no recibieron FM el ME-50 incrementó el VP en ~18 % comparado con la aplicación de FE (Figura 2).

Los resultados indicaron que la aplicación del ME-50 logró un mejor desempeño en la producción de VP del cv. Bat-304 comparado con el FE, independientemente de la adición o no del FM. Por tanto, estos efectos superiores del tratamiento con ME-50 en el VP pudieron estar influenciados por el incremento del HP (Figura 1). Estos hallazgos son consistentes con estudios anteriores ⁽²⁵⁾, quienes demostraron que, al incrementarse la arquitectura morfológica de la planta, propició un incremento en la formación de inflorescencias con el consiguiente incremento del VP. Este efecto benéfico de la aplicación de este bioproducto en el incremento del VP fueron demostrados previamente en plantas de frijol ^(15,16,18).

Este estudio demostró también que la aplicación de FE sobre las plantas de frijol cultivadas con 50 kg ha^{-1} de FM aumentó significativamente la producción del VP, especialmente cuando fue aplicado el FM (Figura 2). Estos resultados fueron posibles porque en estas condiciones el FE incrementó el HP (Figura 1). Una posible explicación para estos resultados está dado por la incorporación de diferentes sustancias presentes en el FE que estimulan los parámetros morfológicos e productivos de las plantas ⁽⁹⁾. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente ^(15,29), quienes incrementaron el VP en plantas de frijol con la aplicación de FE.



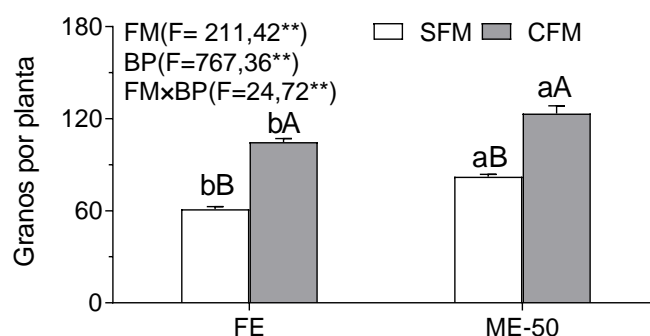
Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM \times BP interacción fertilización mineral-bioproductos.

Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

Figura 2. Producción de vainas por planta obtenidos en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹). Medias \pm DE, $n = 5$

El promedio de granos por planta obtenidos en el cv. Bat-304 presentó una interacción significativa entre la FM y BP ($p < 0,01$) (Figura 3). La aplicación de los bioproductos ME-50 y FE aumentaron significativamente el GP independientemente de la adición o no de la FM ($p < 0,01$). La aplicación del ME-50 incrementó el GP en ~18 % con respecto al FE cuando las plantas de frijol recibieron 50 kg ha⁻¹ del FM y en ~35 % en ausencia del FM (Figura 3), sin embargo, el tratamiento con ME-50 en presencia del FM aumentó el GP en ~50 % comparado con la ausencia del FM, mientras que, el FE en presencia del FM incrementó el GP en ~72 % respecto a la ausencia de la FM (Figura 3).

Los resultados de este estudio mostraron una fuerte evidencia del efecto de ambos bioproductos en el incremento del GP en las plantas de frijol, pero la aplicación del ME-50 fue significativamente superior al FE en las dos condiciones de fertilización evaluadas (Figura 3). La respuesta de esta variable mantiene la tendencia del HP (Figura 1) y la del VP (Figura 2), lo que evidencia el posible efecto de ambos bioproductos en el incremento de los parámetros morfológicos y productivos del frijol. Los resultados obtenidos en esta investigación con la aplicación del ME-50 son similares a los hallazgos encontrados anteriormente en frijol⁽¹⁵⁾ y en la habichuela⁽²²⁾. Por otra parte, los resultados alcanzados por la aplicación del FE en el incremento este componente del rendimiento, fueron superiores en presencia del FM comparado con la ausencia de este, lo que pudo estar influenciado por el aumento del contenido de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos resultados benéficos de la aplicación del FE son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente en plantas de frijol⁽²⁹⁾.



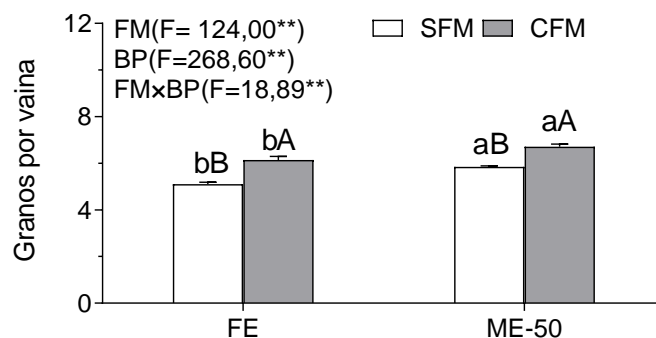
Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM × BP interacción fertilización mineral–bioproductos.

Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

Figura 3. Producción de granos por planta obtenidos en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹). Medias ± DE, $n = 5$

La producción de granos por vainas en plantas del cv. Bat-304 de frijol común mostró una alta interacción significativa entre la FM×BP ($p < 0,01$) (Figura 4). La aplicación de los dos bioproductos estimuló la producción de GV, especialmente en la presencia de la FM. El tratamiento con ME-50 incrementó el GV comparados con la aplicación del FE, estos incrementos fueron de ~12 % en presencia del FM y de ~12 % en la ausencia de la FM ($p < 0,01$). Sin embargo, en presencia del FM la aplicación del ME-50 aumentó el GV en ~15 % comparado con la ausencia del FM ($p < 0,01$). Por otro parte, la aplicación del FE en presencia del FM incrementó el GV en ~20 % en relación a las plantas cultivadas en ausencia del FM (Figura 4). Quedó evidenciado que la aplicación de ambos bioproductos aumentó el promedio de GV, principalmente debido a que esta variable también mantuvo la tendencia de los parámetros anteriores como el HP, VP y GP (Figuras 1-3). Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento con ME-50 benefició la producción de GV en el cv. Bat-304 de frijol (Figura 4) en las dos condiciones de fertilización estudiadas. Estos hallazgos fueron consistentes con estudios previos en plantas de frijol⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ y la habichuela⁽²²⁾.

Por otro lado, fue observado también que la aplicación del bioproducto FE benefició el promedio de GV, en particular cuando fue adicionado el FM. Estos resultados están en línea con los resultados reportados anteriormente^(10,11,15), quienes informaron que el FE modificó este indicador productivo en plantas de frijol.



Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM × BP interacción fertilización mineral–bioproductos.

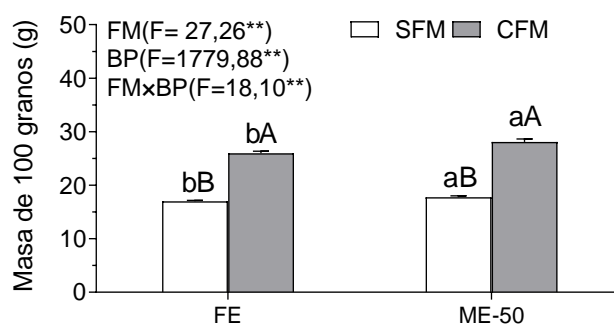
Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

Figura 4. Producción de granos por vaina obtenido en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹). Medias ± DE, $n = 5$

La masa de 100 granos de frijol del cv. Bat-304 mostró una interacción significativa entre la FM y los BP ($p < 0,01$) (Figura 5). La aplicación de ambos bioproductos incrementó la M100 en las plantas CFM comparado con las plantas SFM ($p < 0,01$). Mientras que, el tratamiento con ME-50 fue superior al FE en la M100 en ambas condiciones de fertilización evaluadas, los incrementos fueron de ~10 % en la presencia y de ~9 % en la ausencia, respectivamente ($p < 0,01$). Por otro lado, la aplicación de FE sobre las plantas CFM incrementó la M100 en ~53 % comparado con la ausencia del FM (Figura 5).

Este estudio evidenció que la aplicación de los bioproductos ME-50 y FE estimularon la M100 del cv. Bat-304 de frijol común, especialmente cuando estas fueron cultivadas en presencia del FM, con destaque para el tratamiento con ME-50 (Figura 5). Esta variable mantuvo una tendencia similar a las respuestas observadas previamente en los parámetros como el HP, VP, GP y GV (Figuras 1-4), posiblemente porque estos fueron incrementados. Los resultados del estudio actual estuvieron de acuerdo con los hallazgos observados anteriormente en plantas frijol^(15,16,18).

Por otro lado, la aplicación del bioproducto FE logró un mejor desempeño en el incremento del M100 en presencia del FM comparado con la no aplicación del bionutriente (Figura 5), esto pudo estar influenciado principalmente por el incremento de los indicadores observados anteriormente (Figuras 1-4). Estos resultados son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente en estudios previos en plantas de frijol^(10,11,15).



Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM \times BP interacción fertilización mineral-bioproductos.

Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

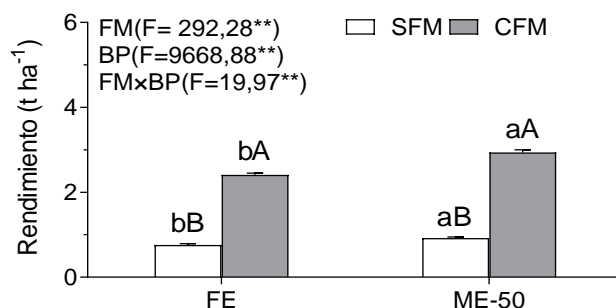
Figura 5. Masa promedio de 100 granos obtenidos en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹). Medias \pm DE, $n = 5$

El rendimiento obtenido en las plantas de frijol mostró una interacción significativa entre el FM y los BP ($p < 0,01$) (Figura 6). La aplicación de ambos bioproductos incrementó la productividad del grano en presencia del FM comparado con las plantas cultivadas en ausencia del FM ($p < 0,01$). En ambas condiciones de FM la aplicación del ME-50 mostró un incremento en el rendimiento de ~22 % en las plantas CFM y 21 % en las plantas SFM comparado con el FE ($p < 0,01$). Sin embargo, el tratamiento con FE sobre las plantas CFM mostró un incremento de la productividad en 1.65 t ha⁻¹ comparado con las plantas SFM ($p < 0,01$) (Figura 6).

En este estudio fue demostrado que la aplicación complementaria del ME-50 fue eficiente en aumentar la productividad del cv. Bat-304, (Figura 6), porque mostró un incremento en los otros parámetros evaluados como el HP, VP, GP, GV y la M100 (Figura 1-5). Estos hallazgos ocurren principalmente por las sustancias presentes en la composición del bioproducto ME-50 que favorecen el crecimiento de las plantas⁽²⁷⁾, y también por la incorporación de varios géneros de microorganismos que favorecen la descomposición de ciertas sustancias (nutrientes, hormonas, entre otras), que mejoran el desarrollo de los cultivos^(30,31). Estos efectos benéficos de la aplicación del bioproducto ME-50 en el incremento del rendimiento del frijol fueron descritos anteriormente^(16,25).

En plantas de frijol quedó evidenciado que la suplementación complementaria con FE favoreció el rendimiento porque fueron incrementados los indicadores evaluados como el número de hojas, vainas, granos por planta y por vaina y la masa de 100 granos (Figuras 1-5). Esto pudo estar evidenciado por las sustancias que componen el bionutriente⁽⁹⁾. Estos efectos beneficiosos

del FE en el aumento del rendimiento con la este bioproducto fueron reportados por varios autores en esta especie ^(11,15,17).



Letras minúsculas indican diferencias entre los bioproductos en el mismo nivel de fertilización mineral y letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre los niveles de fertilización mineral en el mismo bioproducto, según Tukey ($p < 0,05$). ME-50: microorganismos eficientes; FE: FitoMas-E. SFM: sin fertilizante mineral; CFM: con fertilizante mineral; FM × BP interacción fertilización mineral–bioproductos.

Valores de F, **significativo al 99 % de probabilidad del error, de acuerdo al ANOVA

Figura 6. Rendimiento promedio obtenido en el cv. Bat-304 de frijol común cultivado bajo dos niveles de FM (0 y 50 kg ha⁻¹) combinados con la aplicación de los bioproductos ME-50 (100 mL L⁻¹) y FE (2 L ha⁻¹). Medias ± DE, $n = 5$

Finalmente, la hipótesis estudiada fue verificada, indicando que, la aplicación de los bioproductos ME-50 y FitoMas-E aplicados aumentaron la productividad del frijol común, porque se modificaron los parámetros morfológicos y productivos evaluados. Adicionalmente, los hallazgos de estudio sugieren que es posible potenciar la productividad de las plantas de frijol con la aplicación de estos bioproductos y todavía es posible maximizar el rendimiento de los cultivos con la posible aplicación conjunta de ambos, la forma de aplicación y la disponibilidad y cantidad del fertilizante mineral aplicado.

CONCLUSIONES

- Los resultados indicaron que la aplicación complementaria de los bioproductos ME-50 y FE incrementan el rendimiento del frijol común, sobre todo cuando las plantas de frijol son fertilizadas con una dosis de 50 kg ha⁻¹ de fórmula completa.
- Los hallazgos de este estudio sugieren que el bioproducto ME-50 fue superior al FitoMas-E.
- Por tanto, el incremento de la productividad del frijol común con la aplicación complementaria de ambos bioproductos ME-50 y FE constituye una contribución importante al manejo productivo de la especie y podrían conducir a un aumento sostenible en el rendimiento de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. García-Fraile P, Carro L, Robledo M, Ramírez-Bahena M-H, Flores-Félix J-D, Fernández MT, et al. *Rhizobium* promotes non-legumes growth and quality in several production steps: towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans. *PLoS One*. 2012;7(5).
2. Voysest O. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999. *Ciat*; 2000.
3. Faure B, Benítez R, Rodríguez E, GRANDE O, PÉREZ P. Guía Técnica para la producción de frijol común y maíz. 1 ra ed., MINAG, La Habana, Cuba. 2014.
4. Basta NT, McGowen SL. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil. *Environmental pollution*. 2004;127(1):73–82.
5. Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 2002;418(6898):671–7.
6. Pii Y, Mimmo T, Tomasi N, Terzano R, Cesco S, Crecchio C. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*. 2015;51(4):403–15.
7. Kaur K, Kapoor KK, Gupta AP. Impact of organic manures with and without mineral fertilizers on soil chemical and biological properties under tropical conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2005;168(1):117–22.
8. Paungfoo-Lonhienne C, Redding M, Pratt C, Wang W. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss. *Journal of environmental management*. 2019;233:337–41.
9. Montano R, Zuaznabar R, García A, Viñals M, Villar J. Fitomas E: Bionutriente derivado de la industria azucarera. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2007;41(3):14–21.
10. Calero A, Pérez Y, Pérez D. Efecto de diferentes biopreparados combinado con FitoMas-E en el comportamiento agroproductivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Monfragüe Desarrollo Resiliente*. 2016;7(2):161–76.
11. Hurtado A, Rodríguez E, Díaz Y. Utilización de diferentes bioproductos en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrotecnia de Cuba*. 2017;41(1):17–24.
12. Arias A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*. 2010;2(02):42–5.

13. Feijoo MAL. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*. 2016;4(2):31–40.
14. Pedraza RO, Teixeira KR, Scavino AF, de Salamone IG, Baca BE, Azcón R, et al. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2010;11(2):155–64.
15. Hurtado AC, Rodríguez EQ, Díaz YP, Calzada KP, Hernández JJ. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2019;17(1):25–33.
16. Calero-Hurtado A, Díaz YP, Rodríguez EQ, Viciedo DO, Calzada KP. Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del fríjol común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2019;20(2):309–22.
17. Quintero Rodríguez E, Calero Hurtado A, Pérez Díaz Y, Enríquez Gómez L. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*. 2018;45(3):73–80.
18. Calero-Hurtado A, Quintero-Rodríguez E, Olivera-Viciedo D, Pérez-Díaz Y, Castro-Lizazo I, Jiménez J, et al. Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*. 2018;39(3):5–10.
19. Hurtado AC, Pérez YL, Quintero Rodríguez E. Efecto de tres biofertilizantes en el comportamiento agro nómico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). 2018;11(4):56–73.
20. Alvarez M, Tuca F, Quispe E, Meza V. Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.). *Scientia Agropecuaria*. 2018;9(1):33–42.
21. Calero Hurtado A, Quintero Rodríguez E, Pérez Díaz Y, González-Pardo Hurtado Y, González Lorenzo TN. Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2019;22(2).
22. Hurtado AC, Díaz YP, Hurtado YG-P, Simón LAY, Calzada KP, Viciedo DO, et al. Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de la Facultad de Ciencias*. 2020;9(1):112–24.
23. Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. *Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA*. 2015;93.
24. WRB. World reference base for soil resources 2014 (update 2015),. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports*, (106). 2015.
25. Calero Hurtado A, Pérez Díaz Y, Olivera Viciedo D, Quintero Rodríguez E, Peña Calzada K, Nedd T, et al. Effect of different application forms of efficient microorganisms on the

- agricultural productive of two bean cultivars. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2019;72(3):8927–35.
26. Schoonhoven A van, Pastor-Corrales MA. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de fríjol. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1991;
 27. López Dávila E, Calero Hurtado A, Gómez León Y, Gil Unday Z, Henderson D, Jimenez J. Efecto agronómico del biosólido en cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*): control biológico de *Rhizoctonia solani*. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):13–23.
 28. Calero-Hurtado A, Quintero-Rodríguez E, Olivera-Viciedo D, Peña-Calzada K, Pérez-Díaz Y. Influencia de dos bioestimulantes en el comportamiento agrícola del cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias*. 2019;8(1):31–44.
 29. Peña K, Rodríguez JC, Olivera D, Fuentes PF, Melendrez JF. Prácticas agrícolas sostenibles que incrementan los rendimientos de diferentes cultivos en Sancti Spíritus, Cuba. *Agronomíacostarricense*. 2016;40(2):117–27.
 30. Pereg L, McMillan M. Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 2015;80:349–58.
 31. Di Benedetto NA, Corbo MR, Campaniello D, Cataldi MP, Bevilacqua A, Sinigaglia M, et al. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS microbiology*. 2017;3(3):413.