



Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* L. a VIUSID® Agro y fertilización química*

Agronomic response of *Phaseolus vulgaris* L. to VIUSID® Agro and chemical fertilization

Jorge Félix Melendrez-Rodríguez¹, Alexander Calero Hurtado², Kolima Peña Calzada¹

* Recepción: 11 de mayo, 2026. Aceptación: 14 de agosto, 2026. El trabajo fue parte del proyecto titulado “Universidad, agricultura urbana y comunidades rurales: un enfoque interdisciplinario para promover la soberanía alimentaria y la igualdad de género” (AgroFuturo, NA223SS500-035), financiado por la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba.

¹ Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sancti Spíritus, Cuba. jm5865842@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0662-8582>); kolimapena@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4883-4293>).

² Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica e Ecologia, Instituto de Biociências. Cuiabá, Brasil. alexcalero34@gmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-6536-2908>).

Resumen

Introducción. El uso de bioestimulantes representa una alternativa para aumentar la productividad del frijol. **Objetivo.** Evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización química combinados con la aplicación foliar de VIUSID® Agro sobre las variables morfoproductivas del frijol, así como analizar sus relaciones mediante un enfoque multivariado. **Materiales y métodos.** Entre diciembre de 2021 y marzo de 2022, en Sancti Spíritus, Cuba, se realizó un experimento en diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 3×2 y cinco réplicas. Tres niveles de fertilización química ($Fq_1 = 50 \%$, $Fq_2 = 75 \%$ y $Fq_3 = 100 \%$) se combinaron con dos dosis de VIUSID® Agro ($V_1 = 0,25$ y $V_2 = 0,50 \text{ L ha}^{-1}$) para evaluar las variables morfoproductivas del cultivo. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza bidireccional, matriz de correlación de Pearson y análisis de componentes principales. **Resultados.** La aplicación de V_2 , en comparación con V_1 , promovió la altura de planta en 14, 11 y 7 %, el área foliar en 22, 15 y 11 %, la biomasa fresca en 17, 15 y 18 % y la biomasa seca en 12, 13 y 18 %, en los niveles Fq_3 , Fq_2 y Fq_1 , respectivamente. En contraste, la aplicación de V_1 respecto a V_2 optimizó el número de legumbres (32, 25 y 15 %), masa de semillas (13, 8 y 10 %) y rendimiento (17, 15 y 18 %). Además, el rendimiento se correlacionó positivamente con la masa de semillas ($r = 1,00$) y el número de legumbres ($r = 0,74$), mientras que los dos primeros componentes explicaron más del 70 % de la variabilidad total, lo que evidenció una respuesta integrada del sistema. **Conclusiones.** La aplicación de VIUSID® Agro disminuyó la fertilización en un 25 % y aumentó la productividad del frijol.

Palabras clave: aminoácidos, aplicación foliar, bioestimulantes, fertilizante mineral, frijol común.

Abstract

Introduction. The use of biostimulants has emerged as a promising strategy to enhance common bean productivity. **Objective.** To evaluate the effect of different chemical fertilization levels combined with foliar application of VIUSID® Agro on the morpho-productive variables of bean, as well as analyze their relationships



through a multivariate approach. **Materials and methods.** Between December 2021 and March 2022, in Sancti Spíritus, Cuba, an experiment was conducted using a randomized complete block design with a 3×2 factorial arrangement and five replications. Three levels of chemical fertilization ($Fq_1 = 50\%$, $Fq_2 = 75\%$, and $Fq_3 = 100\%$ of the recommended rate) were combined with two doses of VIUSID® Agro ($V_1 = 0.25$ and $V_2 = 0.50 \text{ L ha}^{-1}$) to evaluate the morpho-productive variables of the crop. Data were analyzed using two-way analysis of variance, Pearson correlation analysis, and principal component analysis. **Results.** The application of V_2 , compared with V_1 , increased plant height by 14, 11, and 7 %, leaf area by 22, 15, and 11 %, fresh biomass by 17, 15, and 18 %, and dry biomass by 12, 13, and 18 % under Fq_3 , Fq_2 , and Fq_1 , respectively. In contrast, V_1 outperformed V_2 in reproductive performance, increasing the number of pods by 32, 25, and 15 %, seed mass by 13, 8, and 10 %, and grain yield by 17, 15, and 18 % under Fq_3 , Fq_2 , and Fq_1 , respectively. Yield was positively correlated with seed mass ($r = 1.00$) and number of pods ($r = 0.74$), while the first two principal components explained more than 70 % of the total variability, indicating an integrated response of the production system. **Conclusions.** The application of VIUSID® Agro decreased fertilization by 25 % and increased bean productivity.

Keywords: amino acids, foliar application, biostimulants, mineral fertilizer, common bean.

Introducción

La producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es clave para la seguridad alimentaria en regiones tropicales y subtropicales por su alto aporte proteico y su amplia adaptación agronómica (Calero-Hurtado et al., 2022). No obstante, los rendimientos suelen estar limitados por la disponibilidad de nutrientes y las condiciones ambientales adversas, por lo que una gestión eficiente de la fertilización resulta esencial para optimizar la productividad (Calero-Hurtado et al., 2023). En este contexto, la aplicación de nitrógeno varía y depende de factores como el contenido de materia orgánica, el cultivo precedente y el esquema de aplicación; sin embargo, una dosis adecuada de nitrógeno puede incrementar significativamente el rendimiento (Abbas et al., 2022; El Sheikha et al., 2022).

Los bioestimulantes se han consolidado como un complemento de la fertilización mineral, ya que mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia al estrés y la calidad de los cultivos (Li et al., 2022; Pérez-Díaz et al., 2025). Estos incluyen ácidos húmicos y fúlvicos, extractos de macroalgas, hidrolizados proteicos, aminoácidos, microorganismos, vitaminas y fitohormonas, que estimulan la absorción de nutrientes y regulan procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento (Du Jardin, 2015; Jiang et al., 2024). Estudios en leguminosas y hortalizas han evidenciado efectos positivos de las aplicaciones foliares sobre variables morfofisiológicas y el rendimiento, aunque su eficacia depende de la dosis, el momento de aplicación y su interacción con la fertilización (Abbas et al., 2022; Al-Karaki & Othman, 2023).

Además de mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, los bioestimulantes regulan procesos fisiológicos y metabólicos asociados con el crecimiento vegetal y la tolerancia a condiciones ambientales adversas. Entre ellos, los productos basados en aminoácidos aportan moléculas con funciones estructurales y metabólicas, pues participan como precursores de proteínas, fitohormonas y compuestos bioactivos. Aminoácidos como la glicina, la arginina, el ácido aspártico y el triptófano pueden favorecer la asimilación de nitrógeno, la síntesis de clorofila, el metabolismo antioxidante y el equilibrio osmótico, lo que contribuye al desarrollo vegetal y al rendimiento cuando se integran con estrategias de fertilización racional (Henderson et al., 2025; Zhang et al., 2025).

VIUSID® Agro es un promotor del crecimiento vegetal a base de aminoácidos (ácido aspártico, arginina, glicina y triptófano) que ha recibido creciente atención (Peña Calzada et al., 2024; Pérez Díaz et al., 2024). Un

análisis sistemático evidenció mejoras en la biomasa, el área foliar, la actividad fotosintética y el rendimiento con dosis adecuadas del bioestimulante, así como un fortalecimiento de la defensa antioxidante y la homeostasis iónica bajo estrés salino (Peña-Calzada et al., 2025). Resultados recientes también demostraron que los promotores del crecimiento basados en aminoácidos favorecieron el desarrollo vegetativo y la calidad fisiológica de las plantas en condiciones de cultivo (Calero Hurtado, Meléndrez Rodríguez et al., 2025).

Aunque diversos estudios han demostrado que los bioestimulantes a base de aminoácidos pueden favorecer el crecimiento y la productividad de los cultivos, la magnitud de la respuesta depende del estado nutricional de la planta y de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Acevedo González et al., 2025). En consecuencia, aún no está claramente establecido si estos productos pueden compensar parcialmente la reducción de la fertilización mineral o si su efecto es únicamente complementario cuando se aplican junto con dosis completas de fertilizantes (Calero Hurtado et al., 2026). Esta incertidumbre limita el desarrollo de estrategias de manejo que permitan reducir el uso de fertilizantes químicos sin comprometer el rendimiento, lo cual resulta especialmente relevante en sistemas agrícolas que buscan aumentar la eficiencia en el uso de insumos, disminuir los costos de producción y minimizar los impactos ambientales asociados al uso intensivo de fertilizantes minerales.

Con base en este contexto, se plantea la hipótesis de que la combinación de distintas dosis de VIUSID® Agro con niveles variables de fertilización química generaría interacciones sinérgicas capaces de mantener o incrementar el crecimiento y el rendimiento del frijol, incluso con una reducción parcial de la fertilización mineral. En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización química combinados con la aplicación foliar de VIUSID® Agro sobre las variables morfoproductivas del frijol, así como analizar sus relaciones mediante un enfoque multivariado.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló entre diciembre de 2021 y marzo de 2022 en la finca Dos Naranjos, perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) “El Vaquerito” (22°00'16"N, 79°22'00"O), al norte del poblado de Zaza del Medio, Taguasco, Cuba. Las características químicas del suelo se obtuvieron del análisis realizado previamente por Calero Hurtado, Peña Calzada et al. (2025). El suelo fue clasificado como Cambisol éutrico (IUSS Working Group WRB, 2022) y presentó un pH de 5,9, un contenido de nitrógeno total de 1,68 g kg⁻¹, fósforo disponible de 3,33 mg kg⁻¹ y potasio disponible de 95,39 mg kg⁻¹. El cultivo se desarrolló bajo luz natural, con 13 h de luz y 11 h de oscuridad. Durante el periodo experimental, la temperatura media fue de 24,2 °C, la humedad relativa promedio fue de 73,5 % y la precipitación acumulada fue de 71,3 mm, de acuerdo con los registros del Centro Meteorológico Provincial Sancti Spíritus (M. E. García Ruiz, comunicación personal, 8 de junio de 2022).

Se utilizó la variedad mejorada de frijol común BAT-304, de testa negra, desarrollada para programas de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba, y ampliamente empleada en investigaciones y sistemas productivos por su estabilidad agronómica y adaptación a diferentes condiciones de cultivo. Las semillas se obtuvieron de un productor perteneciente a la misma CCS. Estas se seleccionaron con base en su uniformidad y ausencia de manchas y partiduras, de manera que solo se empleó material con calidad física homogénea. Posteriormente, la siembra se realizó a 0,70 m entre hileras (surcos) y 0,05 m entre plantas, lo que permitió establecer una densidad aproximada de 285 715 plantas ha⁻¹. Esta distribución garantizó un arreglo espacial adecuado para el desarrollo del cultivo bajo las condiciones del estudio.

La fertilización se llevó a cabo conforme a las orientaciones del instructivo técnico del cultivo del frijol (Ministerio de la Agricultura de Cuba, 2020). Se utilizaron las siguientes fórmulas y dosis: 9-13-17 a razón de 200 kg ha⁻¹ y urea (46-0-0) a razón de 50 kg ha⁻¹. Inmediatamente después de cada aplicación, se realizó una labor de aporque con azadón para reducir el riesgo de pérdidas o desplazamiento superficial de los fertilizantes entre parcelas. En ausencia de lluvia, el riego por aspersión se aplicó únicamente cuando fue necesario para mantener

una humedad adecuada durante el desarrollo del cultivo. Además, las parcelas estuvieron separadas por pasillos de 1 m para reducir el riesgo de escorrentía superficial y contaminación entre tratamientos.

Las parcelas estuvieron constituidas por cinco surcos con un ancho total de 3,5 m y una longitud de 5 m, y se dejó 1 m entre parcelas para minimizar los efectos de borde. El área útil para las evaluaciones fue de 10 m². El experimento se estableció en condiciones de campo con un diseño de bloques completos al azar y un arreglo factorial 3 × 2, con cinco réplicas. Los tratamientos de fertilización correspondieron al 50, 75 y 100 % de la dosis de fertilizante recomendada y se combinaron con dos dosis de aplicación foliar de VIUSID® Agro (0,25 y 0,50 L ha⁻¹) para conformar las combinaciones de tratamientos presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados según los niveles de fertilización química (Fq) y las dosis foliares de VIUSID® Agro (V). Finca Dos Naranjos, Sancti Spíritus, Cuba, entre diciembre de 2021 y marzo de 2022.

Table 1. Description of the treatments evaluated according to chemical fertilization levels (Fq) and foliar doses of VIUSID® Agro (V). Dos Naranjos Farm, Sancti Spíritus, Cuba, between December 2021 and March 2022.

Tratamientos	Fq (%)	VIUSID® Agro (L ha ⁻¹)
Fq ₁ V ₁	50	0,25
Fq ₁ V ₂		0,50
Fq ₂ V ₁	75	0,25
Fq ₂ V ₂		0,50
Fq ₃ V ₁	100	0,25
Fq ₃ V ₂		0,50

Los tres tratamientos de fertilización (50, 75 y 100 % de la dosis recomendada) se aplicaron manualmente en dos etapas fenológicas del cultivo. La primera aplicación se realizó a los 10 días después de la emergencia (DDE; etapa vegetativa V2) con la fórmula completa 9-13-17 en dosis equivalentes a 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ para los tres niveles establecidos, respectivamente. Posteriormente, a los 35 DDE (etapa reproductiva R1), se aplicó urea (46-0-0) en dosis de 25, 37,5 y 50 kg ha⁻¹ para los mismos niveles de fertilización.

Las aplicaciones foliares de VIUSID® Agro se iniciaron a los 14 DDE (etapa V3) y se repitieron semanalmente hasta la etapa R3 (Calero Hurtado, Meléndrez Rodríguez et al., 2025). Estas se llevaron a cabo entre las 9:00 y las 10:00 a. m. para minimizar la interferencia de la humedad del rocío y reducir la evaporación asociada al incremento de la temperatura y la velocidad del viento. Se empleó un pulverizador manual de retropresión de 16 L (Matabi, Grupo Goizper, Antzuola, España). VIUSID® Agro contiene ácido aspártico (1,6 % m/m), arginina (2,5 % m/m), glicina (2,4 % m/m) y triptófano (0,5 % m/m), y presenta un pH de 6,80 y una masa neta de 1,14 kg (Peña Calzada et al., 2022).

Las observaciones se realizaron en el área útil de cada parcela. Se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas por parcela, para un tamaño total de muestra de 300 plantas en el experimento. La altura de planta (AP, cm) se midió a los 35 DDE (etapa reproductiva R1) con una cinta métrica desde la base del tallo hasta la primera ramificación. En esa misma fecha, se estimó el área foliar (AF, cm²), como se muestra en la ecuación 1, propuesta por Kemp (1960). Para cada folíolo, se registraron la longitud (*l*) y el ancho (*w*), valores que se incorporaron en la fórmula junto con el factor constante *f* = 0,75, descrito por Pohlmann et al. (2021).

$$AF = \sum(l * w) * f \quad (1)$$

La masa fresca de la parte aérea (MF, g) y la masa seca de la parte aérea (MS, g) se determinaron también a los 35 DDE. La MF se obtuvo al pesar tallos y hojas en una microbalanza digital de precisión ($\pm 0,001$ g), mientras que la MS se determinó después de secar los tallos y las hojas en un horno de aire forzado a 60 °C hasta obtener una masa constante (96 horas) y pesar las muestras en la misma microbalanza.

En la etapa R9 se evaluaron los componentes productivos del cultivo. El número de legumbres por planta (NLP) se obtuvo al dividir el número total de legumbres con grano presentes en la muestra entre el número de plantas muestreadas. La masa de las semillas por planta (MSP, g) se determinó a partir de cuatro muestras de 100 granos por tratamiento, las cuales se pesaron en una balanza digital Sartorius ($\pm 0,01$ g). El rendimiento (RTO, t ha⁻¹) se calculó al multiplicar la MSP de cada tratamiento por el número de plantas establecidas por unidad de superficie.

Los datos de AP, MF, MS, AF, NLP, MSP y RTO se evaluaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett para verificar la normalidad y la homogeneidad de varianzas, respectivamente. Tras confirmar el cumplimiento de estos supuestos, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) bidireccional mediante la función `aov()` del paquete “stats” de R (versión 4.6.1), seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ($p = 0,05$). Las letras indicativas de diferencias significativas se asignaron con el paquete “multcompView” para comparar los niveles de fertilización (Fq), las dosis de VIUSID® Agro (V) y la interacción Fq $\times$ V.

La interdependencia de los indicadores morfofisiológicos y productivos se evaluó mediante una matriz de correlación de Pearson, y la significancia estadística se denotó mediante asteriscos (*, **, ***) correspondientes a valores de $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente. Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de variables morfofisiológicas y productivas previamente estandarizadas (media = 0 y varianza = 1), con el objetivo de identificar patrones de asociación y reducir la dimensionalidad del conjunto de datos. La interpretación se basó en los dos primeros componentes principales, considerando la contribución de las variables y la distribución de los tratamientos en el espacio multivariado. Todas las pruebas se ejecutaron en R (versión 4.6.1).

Resultados

La altura de la planta (AP), el área foliar (AF), la masa fresca (MF) y la masa seca de la parte aérea (MS) presentaron una interacción significativa ($p < 0,01$) entre los niveles de fertilización química (Fq) y las dosis de VIUSID® Agro (V) (Figura 1). Para la AP, dentro de la dosis V₁, el tratamiento Fq₃ fue significativamente superior en un 15 % y un 27 % a los tratamientos Fq₂ y Fq₁, respectivamente, mientras que el tratamiento Fq₂ fue mayor que Fq₁ en un 11 %. De forma similar, dentro de la dosis V₂, Fq₃ exhibió incrementos del 18 % y el 36 % en comparación con los tratamientos Fq₂ y Fq₁, respectivamente, y Fq₂ fue un 16 % superior a Fq₁. Por otra parte, la dosis V₂ aumentó de manera significativa la AP en 14 %, 11 % y 7 % respecto a la dosis V₁ en los niveles Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 1a).

En el AF, dentro de la dosis V₁, el tratamiento Fq₃ superó significativamente a Fq₂ y Fq₁ en un 15 % y 25 %, respectivamente, mientras que Fq₂ fue 14 % superior a Fq₁. De forma similar, dentro de la dosis V₂, el tratamiento Fq₃ registró incrementos del 18 % y 39 % respecto a Fq₂ y Fq₁, respectivamente, y Fq₂ superó a Fq₁ en un 18 %. La dosis V₂ incrementó de manera significativa el AF en un 22 %, 15 % y 11 % en comparación con V₁ en los tratamientos Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 1b).

La mayor MF con la dosis V₁ se observó en el tratamiento Fq₃, con incrementos del 10 % y 24 % en comparación con Fq₂ y Fq₁, respectivamente, mientras que Fq₂ superó en un 12 % a Fq₁. De manera similar, con la dosis V₂, el tratamiento Fq₃ registró valores un 13 % y 24 % superiores a los observados en Fq₂ y Fq₁, respectivamente, en tanto que Fq₂ superó en un 10 % a Fq₁. En contraste, la dosis V₂ mostró valores de MF significativamente superiores a los de V₁, con incrementos del 17 %, 15 % y 18 % en los tratamientos Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 1c).

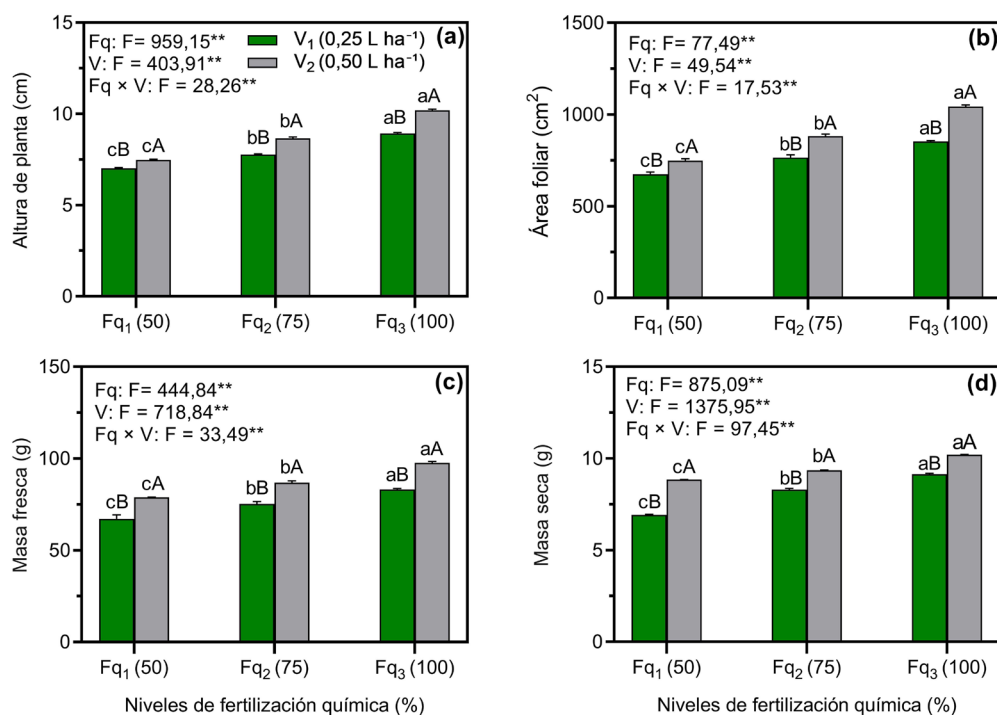


Figura 1. Efecto de los niveles de fertilización química (Fq; 50, 75 y 100 %) y las dosis de VIUSID® Agro (V; 0,25 y 0,50 L ha⁻¹) sobre la altura de planta (a), el área foliar (b), la masa fresca de la parte aérea (c) y la masa seca de la parte aérea (d). Finca Dos Naranjos, Sancti Spíritus, Cuba, entre diciembre de 2021 y marzo de 2022.

Valores expresados como media $\pm$ error estándar ($n = 5$). **Fq:** Fertilización química. **V:** VIUSID® Agro. **Fq $\times$ V:** Interacción entre Fq y V. **F:** Valor de Fisher. **p:** Valor de la probabilidad. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los niveles Fq₁, Fq₂ y Fq₃ para cada dosis de V, mientras que letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre las dosis V₁ y V₂ para cada nivel de Fq (prueba de Tukey, $p = 0,05$). $^{**} = p < 0,01$.

Figure 1. Effect of chemical fertilization levels (Fq; 50, 75, and 100 %) and VIUSID® Agro doses (V; 0.25 and 0.50 L ha⁻¹) on plant height (a), leaf area (b), shoot fresh mass (c), and shoot dry mass (d). Dos Naranjos Farm, Sancti Spíritus, Cuba, between December 2021 and March 2022.

Values are expressed as means $\pm$ standard error ($n = 5$). **Fq:** Chemical fertilization. **V:** VIUSID® Agro. **Fq $\times$ V:** Interaction between Fq and V. **F:** Fisher value. **p:** Probability value. Different lowercase letters indicate significant differences among Fq₁, Fq₂, and Fq₃ at each V dose, while different uppercase letters indicate significant differences between the V₁ and V₂ doses at each Fq level (Tukey's test, $p = 0.05$). $^{**} = p < 0.01$.

La acumulación de MS, con la dosis V₁, fue mayor en el tratamiento Fq₃, con incrementos del 10 % y 32 % respecto a Fq₂ y Fq₁, respectivamente, mientras que Fq₂ superó a Fq₁ en un 20 %. Con la dosis V₂, el tratamiento Fq₃ también registró los mayores valores, con aumentos del 9 % y 25 % en comparación con Fq₂ y Fq₁, respectivamente; además, Fq₂ mostró un 15 % más de MS que Fq₁. Dentro de cada nivel de fertilización química, la dosis V₂ presentó valores superiores a los de V₁, con incrementos del 12 %, 13 % y 18 % en los tratamientos Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 1d).

El NLP, la MSP y el RTO mostraron una interacción significativa entre los factores Fq y V ($p < 0,001$; Figura 2). Con la dosis V₁, el tratamiento Fq₃ incrementó el NLP en un 25 % y 67 % en comparación con Fq₂ y Fq₁, respectivamente, mientras que el tratamiento Fq₂ exhibió un valor un 33 % mayor que Fq₁. Con la dosis V₂, el tratamiento Fq₃ mostró aumentos del 19 % y 46 % en comparación con Fq₂ y Fq₁, respectivamente, y Fq₂ superó

a Fq₁ en un 24 %. Además, la dosis V₂ presentó un NLP mayor que V₁, con incrementos del 32 %, 25 % y 15 % en Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 2a).

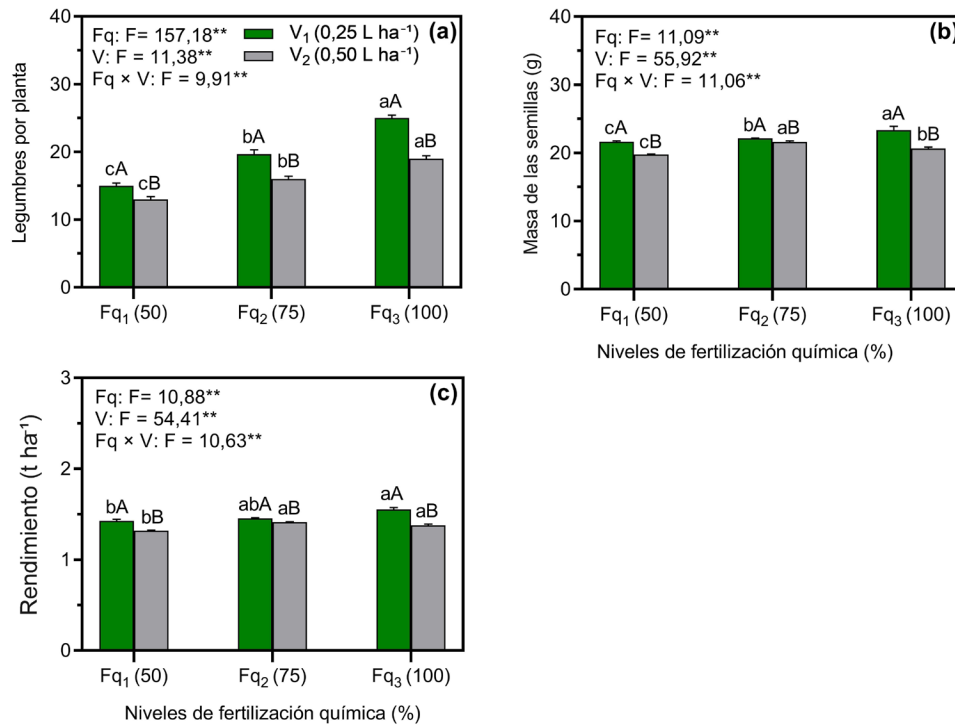


Figura 2. Efecto de los niveles de fertilización química (Fq; 50, 75 y 100 %) y las dosis de VIUSID® Agro (V; 0,25 y 0,50 L ha⁻¹) sobre el número de legumbres por planta (a), la masa de las semillas por planta (b) y el rendimiento (c). Finca Dos Naranjos, Sancti Spíritus, Cuba, entre diciembre de 2021 y marzo de 2022.

Valores expresados como media ± error estándar ($n = 5$). **Fq**: Fertilización química. **V**: VIUSID® Agro. **Fq × V**: Interacción entre Fq y V. **F**: Valor de Fisher. **p**: Valor de probabilidad. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre Fq₁, Fq₂ y Fq₃ para cada dosis de V, mientras que letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre las dosis V₁ y V₂ para cada nivel de Fq (prueba de Tukey, $p = 0,05$). ** = $p < 0,01$.

Figure 2. Effect of chemical fertilization levels (Fq; 50, 75, and 100 %) and VIUSID® Agro doses (V; 0.25 and 0.50 L ha⁻¹) on the number of pods per plant (a), seed mass per plant (b), and yield (c). Dos Naranjos Farm, Sancti Spíritus, Cuba, between December 2021 and March 2022.

Values are expressed as means ± standard error ($n = 5$). **Fq**: Chemical fertilization. **V**: VIUSID® Agro. **Fq × V**: Interaction between Fq and V. **F**: Fisher value. **p**: Probability value. Different lowercase letters indicate significant differences among Fq₁, Fq₂, and Fq₃ at each V dose, while different uppercase letters indicate significant differences between the V₁ and V₂ doses at each Fq level (Tukey's test, $p = 0.05$). ** = $p < 0.01$.

La MSP con la dosis V₁ mostró que el tratamiento Fq₃ exhibió un incremento de 67 % en comparación con Fq₁, mientras que Fq₂ presentó valores similares a los de Fq₃ y Fq₁. Con la dosis V₂, el tratamiento Fq₃ reveló valores superiores de MSP a los de Fq₂ (7 %) y Fq₁ (11 %). No obstante, Fq₂ mostró un aumento del 9 % en comparación con Fq₁. La dosis V₂ presentó valores de MSP superiores a los de V₁, con incrementos del 13 %, 8 % y 10 % en los niveles Fq₃, Fq₂ y Fq₁, respectivamente (Figura 2b).

El mayor RTO con la dosis V_1 se alcanzó con el tratamiento Fq_3 , con un incremento del 10 % en comparación con Fq_1 , mientras que Fq_2 no presentó diferencias significativas respecto de Fq_3 ni de Fq_1 . Con la dosis V_2 , los tratamientos Fq_3 y Fq_2 alcanzaron valores de RTO un 13 % superiores al valor de Fq_1 ; sin embargo, Fq_2 no difirió de Fq_3 ni de Fq_1 de manera significativa. En contraste, la dosis V_1 exhibió un RTO significativamente superior al de V_2 en los tres niveles de fertilización química (Fq_3 , Fq_2 y Fq_1), con incrementos del 17 %, 15 % y 18 %, respectivamente (Figura 2c).

Las variables de crecimiento mostraron correlaciones positivas y significativas entre sí (Figura 3). La AP presentó una correlación muy fuerte con el AF ($r = 0,93$; $p < 0,001$), la MF ($r = 0,94$; $p < 0,001$) y la masa seca (MS; $r = 0,87$; $p < 0,001$). De igual manera, el AF se correlacionó fuertemente con la MF ($r = 0,92$; $p < 0,001$) y con la MS ($r = 0,78$; $p < 0,001$), mientras que la MF y la MS también presentaron una asociación muy alta ($r = 0,92$; $p < 0,001$). Entre las variables productivas se observaron asociaciones positivas importantes.

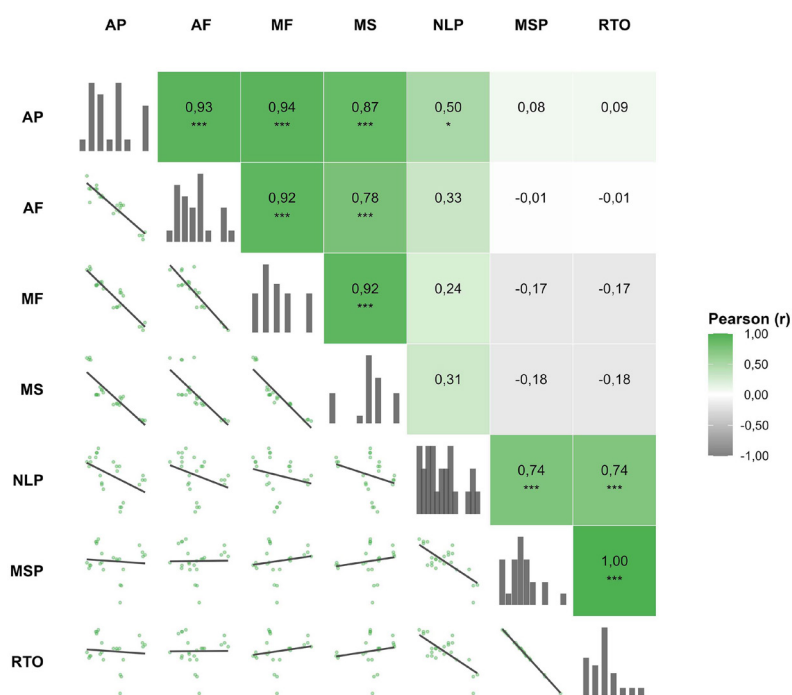


Figura 3. Matriz de correlación de Pearson entre variables morfofisiológicas y productivas de *Phaseolus vulgaris* L. Finca Dos Naranjos, Sancti Spíritus, Cuba, entre diciembre de 2021 y marzo de 2022.

El triángulo superior muestra los coeficientes (r) y su significancia (* = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$) mediante un mapa de calor (gris: correlación negativa; verde: correlación positiva). La diagonal presenta histogramas de frecuencia, y el triángulo inferior, diagramas de dispersión con líneas de regresión ajustadas. **AP:** Altura de planta. **AF:** Área foliar. **MF:** Masa fresca de la parte aérea. **MS:** Masa seca de la parte aérea. **NLP:** Número de legumbres por planta. **MSP:** Masa de semillas por planta. **RTO:** Rendimiento.

Figure 3. Pearson correlation matrix among morphophysiological and productive variables in *Phaseolus vulgaris* L. Dos Naranjos Farm, Sancti Spíritus, Cuba, between December 2021 and March 2022.

The upper triangle shows the correlation coefficients (r) and their statistical significance (* = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$) in a heatmap (gray: negative correlation; green: positive correlation). The diagonal displays frequency histograms, and the lower triangle shows scatterplots with fitted regression lines. **AP:** Plant height. **AF:** Leaf area. **MF:** Shoot fresh mass. **MS:** Shoot dry mass. **NLP:** Number of pods per plant. **MSP:** Seed mass per plant. **RTO:** Yield.

El NLP mostró una correlación fuerte y positiva con la MSP ($r = 0,74$; $p < 0,001$) y con el RTO ($r = 0,74$; $p < 0,001$). Asimismo, la MSP y el RTO presentaron una correlación prácticamente perfecta ($r = 1,00$; $p < 0,001$), lo que indica una relación lineal muy estrecha entre ambas variables (Figura 3).

En cuanto a la relación entre las variables de crecimiento y las variables productivas, la AP fue la única variable de crecimiento que mostró una correlación significativa con el NLP ($r = 0,50$; $p < 0,05$). Sin embargo, la AP no presentó una asociación significativa con la MSP ($r = 0,08$) ni con el RTO ($r = 0,09$). Del mismo modo, el AF, la MF y la MS mostraron correlaciones bajas y no significativas con las variables productivas (Figura 3).

El mapa de calor permitió visualizar que todas las correlaciones significativas fueron de carácter positivo (representadas en tonalidades verdes). El análisis de componentes principales (Figura 4) mostró que los dos primeros componentes explicaron la mayor parte de la variabilidad total y permitieron diferenciar claramente los tratamientos según los niveles de fertilización química y las dosis de VIUSID® Agro (V). El CP1 se asoció positivamente con variables de crecimiento y productividad (MF, MS y RTO). Los tratamientos con 75 y 100 % de fertilización química y la dosis de $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ de VIUSID® Agro se ubicaron en la región de mayor desempeño, mientras que los tratamientos con Fq_1 se concentraron en zonas de menor respuesta.

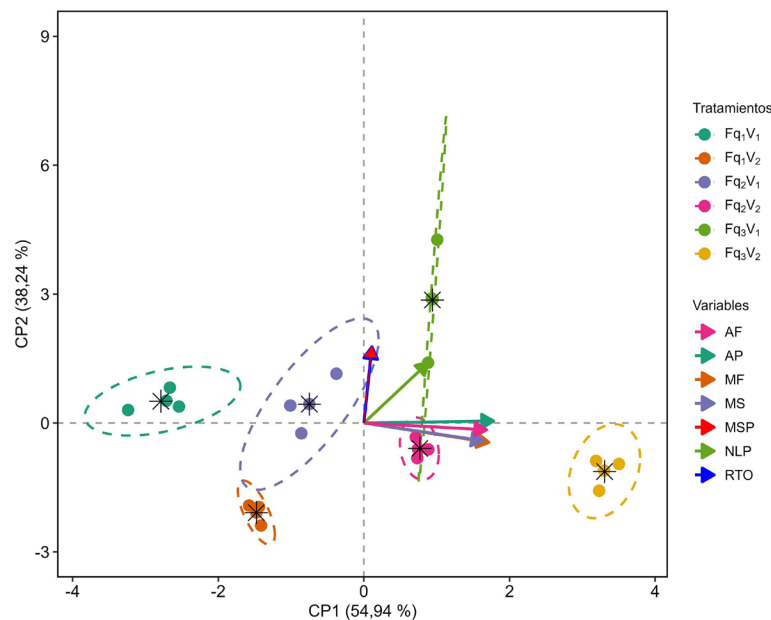


Figura 4. Análisis de componentes principales de variables morfofisiológicas y productivas asociadas a la interacción entre la fertilización química y el bioestimulante en *Phaseolus vulgaris* L. Finca Dos Naranjos, Sancti Spíritus, Cuba, entre diciembre de 2021 y marzo de 2022.

Los puntos representan las combinaciones de tratamientos (Fq_1V_1 , Fq_1V_2 , Fq_2V_1 , Fq_2V_2 , Fq_3V_1 y Fq_3V_2). Las elipses punteadas indican la dispersión multivariada (intervalo de confianza del 95 %); las estrellas, los centroides, y las flechas, los vectores de las variables originales (contribución y correlación con los componentes principales). **CP1:** Primer componente principal. **CP2:** Segundo componente principal. **AF:** Área foliar. **AP:** Altura de planta. **MF:** Masa fresca. **MS:** Masa seca. **MSP:** Masa de semillas por planta. **NLP:** Número de legumbres por planta. **RTO:** Rendimiento.

Figure 4. Principal component analysis of morphophysiological and yield variables associated with the interaction between chemical fertilization and the biostimulant in *Phaseolus vulgaris* L. Dos Naranjos Farm, Sancti Spíritus, Cuba, between December 2021 and March 2022.

Points represent treatment combinations (Fq_1V_1 , Fq_1V_2 , Fq_2V_1 , Fq_2V_2 , Fq_3V_1 , and Fq_3V_2). Dotted ellipses indicate multivariate dispersion (95 % confidence interval); stars denote centroids; and arrows represent the vectors of the original variables (contribution and correlation with the principal components). **CP1:** First principal component. **CP2:** Second principal component. **AF:** Leaf area. **AP:** Plant height. **MF:** Fresh mass. **MS:** Dry mass. **MSP:** Seed mass per plant. **NLP:** Number of pods per plant. **RTO:** Yield.

Discusión

El uso de bioestimulantes representa una estrategia sostenible para mejorar el crecimiento y la productividad de los cultivos (Henderson et al., 2025). En este estudio, la interacción significativa entre la fertilización química (Fq) y la mayor dosis de VIUSID® Agro (V₂) evidenció una respuesta integrada en las variables morfofisiológicas. Esta respuesta se correspondió con los patrones multivariados observados, en los que las variables de crecimiento y rendimiento se asociaron positivamente. La dosis de 0,50 L ha⁻¹ estimuló con mayor intensidad la expansión foliar y la acumulación de biomasa, lo que pudo favorecer la capacidad fotosintética del cultivo y su plasticidad fisiológica (Jiang et al., 2024; Mosa et al., 2021; Dias Nunes et al., 2021; Peña-Calzada et al., 2025).

Este vigor vegetativo con la dosis más alta respalda la hipótesis sobre las interacciones sinérgicas capaces de optimizar el crecimiento inicial. El suministro concentrado de aminoácidos exógenos puede modular enzimas clave del metabolismo fotosintético (Almutairi et al., 2022; Pérez Díaz et al., 2024). La mayor acumulación de MF y MS podría relacionarse con la asimilación de carbono y la redistribución de nitrógeno (Li et al., 2024; Peña Calzada et al., 2022). Además, los aminoácidos exógenos pueden favorecer el crecimiento vegetal mediante la optimización del metabolismo del nitrógeno y de la actividad fisiológica (Calero-Hurtado et al., 2025; Calero Hurtado, Pérez Díaz et al., 2025). De este modo, la bioestimulación foliar podría mejorar el uso de insumos químicos al contribuir al mantenimiento de un dosel foliar fotosintéticamente activo y metabólicamente robusto.

La robustez de los indicadores morfológicos puede influir directamente sobre la capacidad reproductiva del cultivo. Un área foliar desarrollada permite captar una mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa y mantener una producción constante de fotoasimilados (Calero Hurtado et al., 2026). Esta acumulación previa de reservas en los tejidos vegetativos puede determinar el vigor de la planta antes del inicio de la floración. En consecuencia, una arquitectura aérea óptima constituye una base fisiológica importante para el sostén y el abastecimiento posterior de las estructuras reproductivas.

La respuesta diferencial entre variables evidencia que la efectividad de VIUSID® Agro no depende únicamente de la dosis aplicada, sino también del proceso fisiológico evaluado. Mientras que la dosis de 0,50 L ha⁻¹ favoreció el crecimiento vegetativo, la dosis de 0,25 L ha⁻¹ promovió mayores valores en los componentes reproductivos y el rendimiento. Este comportamiento sugiere una respuesta dependiente de la dosis, en la cual una mayor disponibilidad de aminoácidos podría estimular la expansión foliar y la acumulación de biomasa, mientras que una dosis moderada podría contribuir a una asignación más eficiente de fotoasimilados hacia las estructuras reproductivas. En consecuencia, la dosis óptima del bioestimulante dependería del equilibrio entre el crecimiento vegetativo y la producción de semillas, así como del estado nutricional y la etapa fenológica del cultivo.

Por el contrario, los componentes reproductivos y el rendimiento alcanzaron sus mayores valores con la menor dosis del bioestimulante (V₁). La fuerte asociación entre las variables productivas y el rendimiento indicó que estos componentes actuaron como determinantes directos de la productividad del cultivo (Li et al., 2024; Dias Nunes et al., 2021; Calero Hurtado, Meléndrez Rodríguez et al., 2025). Esta variación dependiente de la dosis sugiere la existencia de umbrales fisiológicos específicos en la asignación de recursos metabólicos (Calero Hurtado, Peña Calzada et al., 2025; Calero Hurtado, Meléndrez Rodríguez et al., 2025). Este resultado confirma que un mayor crecimiento vegetativo no necesariamente se traduce en un mayor rendimiento, ya que la eficiencia en la distribución de fotoasimilados hacia los órganos reproductivos constituye un determinante clave de la productividad final.

Los hallazgos productivos respaldan la hipótesis del manejo racional, según la cual la combinación Fq₂V₁ permitió reducir en un 25 % la fertilización química sin comprometer el rendimiento. Esta eficiencia agronómica sostiene la productividad del frijol común mediante un llenado de granos óptimo (Calero-Hurtado et al., 2025; Jiang et al., 2024; Peña-Calzada et al., 2025; Zhang et al., 2025). No obstante, la magnitud de este beneficio depende del estado nutricional edáfico y de interacciones no cuantificadas, como la simbiosis entre *Phaseolus* y *Rhizobium* (Al-Karaki & Othman, 2023; Henderson et al., 2025). A pesar de tales limitaciones, la bioestimulación foliar controlada

constituye una herramienta complementaria viable para reducir los costos de producción y atenuar el impacto ambiental derivado del uso intensivo de fertilizantes minerales.

La diferenciación de los tratamientos en el análisis multivariado evidenció que las prácticas de fertilización y bioestimulación influyeron de manera conjunta en la organización funcional del sistema. La asociación entre variables morfofisiológicas y productivas reflejó la naturaleza integrada del crecimiento vegetal, donde mejoras en atributos vegetativos se tradujeron en incrementos en el rendimiento. Este comportamiento ha sido documentado en sistemas agrícolas intensivos, en los que la eficiencia fisiológica condiciona la productividad final (Abreus Hernández et al., 2026; Bakouloupoulou et al., 2025). Asimismo, el uso de enfoques multivariados permitió una interpretación integral de la respuesta del cultivo frente a prácticas agronómicas, lo que resultó coherente con los patrones de asociación observados entre variables.

Los resultados mostraron que la interacción entre los niveles de Fq y las dosis de V modificó significativamente la respuesta morfofisiológica y productiva del frijol. La combinación de ambos factores favoreció una mayor acumulación de biomasa, un mayor desarrollo reproductivo y un mayor rendimiento, incluso con una reducción parcial de la fertilización mineral respecto al manejo convencional. No obstante, estos hallazgos corresponden a las condiciones específicas evaluadas y no permiten inferir que el bioestimulante elimine la necesidad de ajustar el manejo de la fertilización ni de considerar las características del suelo para maximizar su eficacia.

Conclusiones

La combinación de diferentes niveles de fertilización química con la aplicación foliar de VIUSID® Agro modificó significativamente el crecimiento y el rendimiento del frijol, con respuestas dependientes de la interacción entre ambos factores. La combinación de 75 % de la fertilización recomendada con 0,25 L ha⁻¹ de VIUSID® Agro mantuvo un rendimiento comparable al obtenido con la fertilización completa, lo que permitió reducir en un 25 % la fertilización mineral sin comprometer la productividad.

El análisis multivariado evidenció asociaciones positivas entre las variables de crecimiento y productivas, y permitió diferenciar las combinaciones de tratamientos según sus respuestas morfoproductivas. En este contexto, la bioestimulación con VIUSID® Agro puede constituir una herramienta complementaria para mantener la productividad con una menor aplicación de fertilizantes minerales.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto “Universidad, agricultura urbana y comunidades rurales: un enfoque interdisciplinario para promover la soberanía alimentaria y la igualdad de género” (AgroFuturo, NA223SS500-035) y de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), proceso n.º 88887.975003/2024-00. Asimismo, agradecen a la empresa Catalysis S. L. la donación de VIUSID® Agro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con este estudio.

Referencias

- Abbas, M. S., Badawy, R. A., Abdel-Lattif, H. M., & El-Shabrawi, H. M. (2022). Synergistic effect of organic amendments and biostimulants on faba bean grown under sandy soil conditions. *Scientia Agricola*, 79(3), Artículo e20200300. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0300>
- Abreus Hernández, L., Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K., Espinosa Negrín, A. M., & Jiménez Hernández, J. (2026). Combined fertilization with filter cake, microbial consortium, and amino acids improves peanut performance under water scarcity conditions. *Stresses*, 6(2), Artículo 19. <https://doi.org/10.3390/stresses6020019>
- Acevedo González, Y., Pérez Díaz, Y., Calero Hurtado, A., & Peña Calzada, K. (2025). Densidades de plantas y fertilizantes en la producción sostenible del maní. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 14(1), 23-38. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v14n1.113747>
- Al-Karaki, G. N., & Othman, Y. (2023). Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. *South African Journal of Botany*, 154, 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.034>
- Almutairi, K. F., Saleh, A. A., Ali, M. M., Sas-Paszt, L., Abada, H. S., & Mosa, W. F. A. (2022). Growth performance of guava trees after the exogenous application of amino acids glutamic acid, arginine, and glycine. *Horticulturae*, 8(12), Artículo 1110. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121110>
- Bakouloupoulou, I., Roussis, I., Kakabouki, I., Tigka, E., Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Karydogianni, S., Bilalis, D., & Papastylianou, P. (2025). Exploring phenological and agronomic parameters of Greek lentil landraces for developing climate-resilient cultivars adapted to Mediterranean conditions. *Crops*, 5(6), Artículo 91. <https://doi.org/10.3390/CROPS5060091>
- Calero Hurtado, A., Queiroz De Almeida, F. A., da Silva Pinheiro, D. G., Botter Fasoli, J. V., da Silva Cabral, T. P., Wilke Rampassi, B., & Peña Calzada, K. (2026). The combined effects of plant density, chitosan, and amino acids enhance the sunflower growth and yield under water deficit conditions. *AIMS Agriculture and Food*, 11(2), 399-421. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2026021>
- Calero Hurtado, A., Meléndrez Rodríguez, J. F., Peña Calzada, K., Pérez Díaz, Y., & Jiménez Medina, A. (2025). Foliar application of a mixture of amino acid-based growth promoters enhances tomato seedling production. *Horticulturae*, 11(6), Artículo 582. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060582>
- Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K., Botter Fasoli, J. V., Jiménez, J., & Sánchez López, L. (2025). Synergic effects of the microbial consortium and amino acid-based growth promoter in sunflower productivity under water-deficit conditions. *Water*, 17(9), Artículo 1365. <https://doi.org/10.3390/w17091365>
- Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Peña Calzada, K., & Meléndrez Rodríguez, J. F. (2025). Peanut growth and yield responses are influenced by plant density, microbial consortium inoculation, and amino acid application. *Sustainability*, 17(20), Artículo 9207. <https://doi.org/10.3390/su17209207>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., 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. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 12(2), 64-79. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v12n2.107055>

- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Peña-Calzada, K., Jiménez-Medina, A., & Kukurtcu, B. (2025). Soybean responses to foliar amino acid application and high plant densities. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 42(2), Artículo e2264. <https://doi.org/10.22267/rcia.20254202.264>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Rodríguez-Lorenzo, M., & Rodríguez-González, V. (2022). Aplicación conjunta del consorcio microorganismos benéficos y FitoMas-E® incrementan los indicadores agronómicos del frijol. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1), Artículo e2252. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.2252>
- Dias Nunes, H., Tiraboschi Leal, F., Checcio Mingotte, F. L., D'Amico Damião, V., Couto Junior, P. A., & Borges Lemos, L. (2021). Agronomic performance, quality and nitrogen use efficiency by common bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 44(7), 995-1009. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849292>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- El Sheikha, A. F., Allam, A. Y., Taha, M., & Varzakas, T. (2022). How does the addition of biostimulants affect the growth, yield, and quality parameters of the snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? How is this reflected in its nutritional value? *Applied Sciences*, 12(2), Artículo 776. <https://doi.org/10.3390/app12020776>
- Henderson, B. C. R., Sanderson, J. M., & Fowles, A. (2025). A review of the foliar application of individual amino acids as biostimulants in plants. *Discover Agriculture*, 3, Artículo 69. <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00222-7>
- IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4.^a ed.). International Union of Soil Sciences.
- Jiang, Y., Yue, Y., Wang, Z., Lu, C., Yin, Z., Li, Y., & Ding, X. (2024). Plant biostimulant as an environmentally friendly alternative to modern agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(10), 5107-5121. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09074>
- Kemp, C. D. (1960). Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. *Annals of Botany*, 24(4), 491-499. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083723>
- Li, T., Chen, X., Cao, S., Liu, Z., Tian, L., Gao, Z., Sun, M., Zong, H., Wang, D., El-Sheikh, M. A., Yang, M., & Liu, P. (2024). Integrated physiological and transcriptome analyses of the effects of water-soluble amino acid fertilizer on plant growth. *Journal of King Saud University - Science*, 36(11), Artículo 103504. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103504>
- Li, J., Van Gerrewey, T., & Geelen, D. (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. *Frontiers in Plant Science*, 13, Artículo 836702. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836702>
- Ministerio de la Agricultura de Cuba. (2020). *Instructivo técnico para el cultivo del frijol en Cuba*.
- Mosa, W. F. A., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). The utilization of tryptophan and glycine amino acids as safe alternatives to chemical fertilizers in apple orchards. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1983-1991. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10658-7>
- Peña Calzada, K., Calero Hurtado, A., Peistrup, V., Mühlmann, I., Rodríguez Miranda, D., Rodríguez Coca, L. I., Rodríguez González, M., & Rodríguez Fernández, J. C. (2024). Respuestas fisiológicas y productivas de plantas de remolacha tratadas con una solución de aminoácidos. *Temas Agrarios*, 29(1), 113-125. <https://doi.org/10.21897/pkxmyw03>

- Peña Calzada, K., Olivera Viciado, D., Habermann, E., Calero Hurtado, A., Lupino Gratão, P., De Mello Prado, R., Lata-Tenesaca, L. F., Martínez, C. A., Ajila Celi, G. E., & Rodríguez, J. C. (2022). Exogenous application of amino acids mitigates the deleterious effects of salt stress on soybean plants. *Agronomy*, 12(9), Artículo 2014. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092014>
- Peña-Calzada, K., Calero-Hurtado, A., Meléndrez-Rodríguez, J. F., Rodríguez-Fernández, J. C., Gutiérrez-Cádenas, O. G., García-González, M. T., Madrigal-Carmona, L., & Jiménez-Medina, A. (2025). Impacts of the biostimulant VIUSID® Agro on growth, productivity, and tolerance to salt stress in crops: A systematic review. *Horticulturae*, 11(4), Artículo 407. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11040407>
- Pérez Díaz, Y., Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K., Gutiérrez Díaz, J. L., & Rodríguez González, V. (2024). Densidades de plantas y aplicación foliar de aminoácidos incrementan el rendimiento del ajonjolí. *Temas Agrarios*, 29(1), 100-112. <https://doi.org/10.21897/w2sd1542>
- Pérez-Díaz, Y., Calero-Hurtado, A., Peña Calzada, K., & Jiménez Medina, A. (2025). Utilización de densidades de plantas y un consorcio microbiano para la producción sostenible de girasol. *Agronomía Mesoamericana*, 36, Artículo f9zbrr64. <https://doi.org/10.15517/f9zbrr64>
- Pohlmann, V., Lago, I., Lopes, S. J., da Silva Martins, J. T., da Rosa, C. A., Caye, M., & Portalanza, D. (2021). Estimativa da área foliar de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) por método não destrutivo. *Semina: Ciências Agrárias*, 42(4), 2163-2180. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n4p2163>
- Zhang, Q., Liu, J., Jeong, S. J., Masabni, J., & Niu, G. (2025). Biostimulants applied in seedling stage can improve onion early bulb growth: Cultivar- and fertilizer-type-specific positive effects. *Horticulturae*, 11(4), Artículo 402. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11040402>