

## EFICACIA DE UN BIOFERTILIZANTE ARTESANAL SOBRE LA GERMINACIÓN, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL FRÉJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.)

### EFFICACY OF A HANDCRAFTED BIOFERTILIZER ON THE GERMINATION, GROWTH AND YIELD OF THE COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

✉ **Jessica Elizabeth Cargua Chávez, Mgtr.**

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[jessicacargua@tsachila.edu.ec](mailto:jessicacargua@tsachila.edu.ec)  
Santo Domingo, Ecuador

✉ **Marco Antonio Revelo Santachimbo, Tnlgo.**

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[mars1998stodgo@gmail.com](mailto:mars1998stodgo@gmail.com)  
Santo Domingo, Ecuador

✉ **Navies Lisseth Ulloa Aymar, Tnlga.**

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[navies.2026@outlook.es](mailto:navies.2026@outlook.es)  
Madrid, España

✉ **Leonardo Rafael Jácome Gómez, Ph. D.**

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE  
[lriacome4@espe.edu.ec](mailto:lriacome4@espe.edu.ec)  
Santo Domingo, Ecuador

#### ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Recibido: 30/01/2026  
Aceptado: 13/05/2026  
Publicado: 30/06/2026

### RESUMEN

El uso de biofertilizantes en el fréjol común es vital para potenciar su crecimiento y productividad de manera sostenible y económica. En este contexto, el objetivo del trabajo fue evaluar la eficacia de un biofertilizante artesanal sobre la germinación, crecimiento y rendimiento del fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Se desarrollaron dos experimentos separados. En el primero se evaluaron cuatro tiempos de remojo (30, 60, 90, 120 minutos) de semillas de fréjol en una solución de un biofertilizante de origen artesanal, y se compararon frente a un tratamiento control sin remojo de semillas. A los ocho días después de la siembra, se registró la longitud radicular, la longitud de plúmula y porcentaje de germinación. En el segundo experimento, se evaluaron tres dosis de un biofertilizante artesanal (5, 10 y 15 L ha<sup>-1</sup>), más un biofertilizante comercial y un tratamiento control sin biofertilización. Las variables registradas fueron masa seca de raíces, masa seca de planta, área foliar, masa seca de granos e índice de cosecha. Los resultados evidenciaron efectos significativos ( $p < 0,05$ ) de los biofertilizantes sobre el desarrollo del fréjol. El remojo de semillas no resultó ser una medida positiva para aumentar la tasa de germinación y el crecimiento de las estructuras de las plántulas como la radícula y la plúmula, donde el

tratamiento control logró los mayores promedios. Por otra parte, la aplicación en drench de 15 L ha<sup>-1</sup> del biofertilizante artesanal y el biofertilizante comercial provocaron las mayores tasas de crecimiento, acumulación de materia seca e índice de cosecha del fréjol.

**Palabras clave:** fréjol, fertilizante microbiano, desarrollo, materia seca

---

## ABSTRACT

---

The use of biofertilizers represents a sustainable and cost-effective strategy to enhance the growth and productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). This study aimed to evaluate the effects of an artisanal biofertilizer on germination, growth, and yield of common bean. Two independent experiments were conducted. In the first experiment, bean seeds were subjected to four soaking durations (30, 60, 90, and 120 min) in an artisanal biofertilizer solution and compared with a non-soaked control. Germination percentage, root length, and plumule length were assessed eight days after sowing. In the second experiment, three application rates of the artisanal biofertilizer (5, 10, and 15 L ha<sup>-1</sup>), a commercial biofertilizer, and an untreated control were evaluated. Measured variables included root dry mass, total plant dry mass, leaf area, grain dry mass, and harvest index. Biofertilizer treatments significantly affected plant development ( $p < 0,05$ ). Seed soaking did not enhance germination or early seedling growth, as the control treatment showed the highest mean values for radicle and plumule development. Conversely, direct application of the artisanal biofertilizer at 15 L ha<sup>-1</sup> and the commercial biofertilizer resulted in superior plant growth, biomass accumulation, and harvest index. These findings indicate that while seed soaking in biofertilizer solutions is not an effective practice for improving early establishment, soil application of biofertilizers, particularly at higher doses, can significantly improve growth and yield performance in common bean.

**Keywords:** common bean, microbial fertilizer, growth, dry matter

## INTRODUCCIÓN

Globalmente, el fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más cultivada para la alimentación humana, su producción mundial supera los 30 millones de toneladas métricas anuales, lo cual evidencia su importancia en la seguridad alimentaria (Aliyi et al., 2025). Se producen 29 millones de hectáreas a nivel mundial y representan el 85% de la producción de leguminosas tipo “beans”, con predominio en América Latina, África y Asia, donde alimenta a más de 300 millones de personas (Nasar et al., 2023; Aliyi et al., 2025). A pesar de su importancia para la seguridad alimentaria global, la productividad presenta alta variabilidad, especialmente

en sistemas de pequeños agricultores, debido a limitaciones edafoclimáticas y tecnológicas (Nassary et al., 2025; Aliyi et al., 2025).

El fréjol es la especie leguminosa más cultivada y consumida en Ecuador, que junto con las demás especies leguminosas está presente en los principales sistemas de producción (monocultivo, asociado o en rotación de cultivos) principalmente en la Sierra y Costa (Peralta et al., 2013; Guamán et al., 2004). Históricamente, la superficie de fréjol en el país ha superado las 50 000 hectáreas, aunque reportes más recientes indican cifras específicas menores, como 10 052 hectáreas para el fréjol tierno y proyecciones generales de hasta 35 000 hectáreas sembradas. La Sierra concentra el 63% de la producción de fréjol tierno, mientras que la Costa representa el 37%. Las provincias de Imbabura y Carchi destacan en el norte con 8 000 hectáreas. La mayor producción se destina al consumo interno, de ahí su importancia para la seguridad alimentaria del país (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2024). El fréjol posee un lugar preferencial en la alimentación por su composición nutricional al ser una fuente rica en proteínas, minerales como calcio, hierro, fósforo, magnesio, zinc y las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico (Martínez et al., 2017).

En nuestro país, la mayor parte de las zonas dedicadas a este cultivo la consideran una alternativa de producción para ser empleada en varios tipos de consumo; por ello, en estos últimos años se ha visto la necesidad de utilizar biofertilizantes con el objetivo de activar diferentes procesos fisiológicos como el incremento de la fotosíntesis y la producción de distintas hormonas que actúen sobre la elongación celular (Morales et al., 2017). El fréjol común es capaz de llevar a cabo el proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN), a través de la simbiosis con bacterias del suelo conocidas comúnmente como rizobios. El nitrógeno fijado biológicamente por estos microorganismos en simbiosis garantiza una fuente directa de este elemento para ser utilizado por la planta y sustituye, en parte, la importación de fertilizante mineral (Martínez et al., 2017).

El incremento en la demanda de sistemas agrícolas sostenibles ha motivado el desarrollo y la evaluación de insumos biológicos, los cuales contribuyen a mejorar la productividad agrícola sin comprometer la calidad ambiental ni recurrir a agroquímicos que son dañinos para el medio ambiente, el suelo y la salud humana. Los biofertilizantes, en particular los que se generan de forma artesanal con recursos nativos, constituyen una alternativa con potencial porque son capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes, promover la actividad microbiana del suelo y estimular el crecimiento vegetal mediante procesos naturales bioquímicos y fisiológicos (Mahanty et al., 2017; Itelima et al., 2018).

Debido al pequeño volumen requerido, los bioestimulantes y biofertilizantes son potencialmente compatibles con el tratamiento de semillas, un proceso a escala industrial que proporciona una precisión de dosis adecuada, uniformidad del recubrimiento de semillas y aumenta la adhesión de los productos aplicados (Menten y Moraes, 2010). Los biofertilizantes y bioestimulantes ofrecen potencial para mejorar la producción y calidad de las cosechas. Estos productos no nutricionales pueden reducir el uso de fertilizantes y mejorar la resistencia de las plantas al estrés (Padilla, 2010). En el proceso tecnológico actual del cultivo del fréjol, se tiene como premisa la aplicación de estimulantes biológicos, con capacidad suficiente de participar en los principales procesos metabólicos, entre los cuales se encuentran los análogos de brasinoesteroides (Zullo y Adam, 2002).

Diversos factores inciden en el crecimiento y la productividad del fréjol, entre los que destacan el cambio climático y las actividades antropogénicas. Asimismo, condiciones edáficas como la acidez y la alcalinidad pueden limitar significativamente la tasa de germinación y el desarrollo inicial de las plántulas (Can et al., 2014; Mena et al., 2015; Quintana et al., 2016). A largo plazo, se prevé que la variabilidad climática afecte la agricultura de manera multidimensional, comprometiendo la cantidad y la calidad de las cosechas al alterar procesos fisiológicos fundamentales, como la fotosíntesis, la transpiración y las tasas de crecimiento vegetal (DaMatta et al., 2010; Mahato, 2014). La evidencia científica sugiere que los *cultivos* C<sub>3</sub> como el fréjol incrementarán las cosechas por el efecto positivo de la concentración de CO<sub>2</sub>, también se esperan cambios negativos como reducción de la concentración de proteínas, nutrientes, alteraciones lipídicas en las membranas y procesos reproductivos por efecto del estrés por altas temperaturas (Porch y Jahn, 2001; DaMatta et al., 2010).

Ante estas adversidades climáticas, los biofertilizantes representan una estrategia eficaz para aumentar la tolerancia de los cultivos al estrés abiótico asociado al cambio climático, como la sequía y la salinidad. Su acción, mediada por microorganismos benéficos, mejora la disponibilidad de nutrientes, regula fitohormonas y activa mecanismos antioxidantes, favoreciendo la estabilidad fisiológica de las plantas. Además, contribuyen a la sostenibilidad agrícola al optimizar el uso de recursos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos (Mahmud et al., 2021; El Sabagh et al., 2022; Mano et al., 2026; Alfifi, 2026).

En este contexto, resultados de Samago et al. (2018) demuestran que la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium* puede incrementar significativamente el rendimiento del cultivo, con aumentos de hasta un 48% en rendimiento de grano. Asimismo, Karavidas et al. (2022) indicaron que diferentes cepas de *Rhizobium* generaron incrementos de

rendimiento variables entre 6% y más del 70%, dependiendo de la eficiencia simbiótica y las condiciones edafoclimáticas. Estos mismos autores describieron que la co-inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), como *Azospirillum* o *Pseudomonas*, mostró efectos sinérgicos, logrando incrementos adicionales del 8% al 54% en el rendimiento del fréjol.

A nivel local, el uso de biofertilizantes que contienen agentes microbianos y principios bioactivos no ha sido ampliamente estudiado en el fréjol común, por lo que existe escasa información y un vacío de conocimiento que no permite recomendar la tecnología de forma efectiva y validada. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia de un biofertilizante artesanal sobre la germinación, crecimiento y rendimiento del fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

## METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló en la casa de cultivo del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, en Santo Domingo, Ecuador, con las siguientes coordenadas UTM: X= 706257 y Y= 9972460 en la zona sur y una duración de 4 meses. Se utilizaron semillas del fréjol pepón rojo, por ser una de las variedades más diseminadas en el medio local.

El material vegetal utilizado fue semillas certificadas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad pepón.

El biofertilizante artesanal utilizado se compuso de cepas nativas de *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Saccharomyces*. Este biofertilizante no contó con la caracterización de especies y el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC).

El biofertilizante comercial contenía cepas de *Azospirillum brasilense* ( $5.6 \times 10^7$  UFC), *Azospirillum lipoferum* ( $5.6 \times 10^7$  UFC), *Azotobacter chroococcum* ( $4.2 \times 10^7$  UFC), *Lactobacillus acidophilus* ( $1.4 \times 10^8$  UFC), *Bacillus subtilis* ( $1.0 \times 10^8$  UFC), *Bacillus licheniformis* ( $1.0 \times 10^8$  UFC), *Bacillus mycoides* ( $1.0 \times 10^8$  UFC), *Pseudomonas fluorescens* ( $5.0 \times 10^7$  UFC), *Pseudomonas putida* ( $5.0 \times 10^7$  UFC) y *Saccharomyces cerevisiae* ( $1.4 \times 10^5$  UFC).

**Experimento 1.** Eficacia de un biofertilizante artesanal sobre la germinación de semillas y vigor de plántulas de fréjol común.

Para el primer experimento, se aplicaron tratamientos de remojo de las semillas con una solución biofertilizante de 5 mL L<sup>-1</sup> de agua, por el tiempo determinado para cada tratamiento. Finalizado el periodo de remojo, las semillas se sembraron en bandejas de germinación

acondicionadas con sustrato (suelo:arena en relación 3:1). El ensayo se mantuvo bajo observación durante ocho días; posterior a ello se procedió al registro de las variables de emergencia y vigor de las plántulas.

### Tratamientos

**T1:** Remojo por 30 minutos

**T2:** Remojo por 60 minutos

**T3:** Remojo por 90 minutos

**T4:** Remojo por 120 minutos

**T5:** Control sin remojo

### Variables de respuesta

**Porcentaje de germinación:** se registró a los ocho días después de la siembra en bandejas mediante el conteo de plántulas emergidas.

**Longitud de radícula:** se determinó a los ocho días después de la siembra en bandejas, para lo cual se tomaron 10 plántulas al azar y se registró la longitud radical desde la base del tallo hasta el ápice de la radícula.

**Longitud de plúmula:** se determinó a los ocho días después de la siembra en bandejas, donde se tomaron 10 plántulas al azar y se registró la longitud de plúmula desde la base del tallo hasta el ápice del punto de crecimiento.

Para este experimento se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con cinco tratamientos, cuatro réplicas y 20 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de bandejas de germinación que contenían 50 alvéolos.

**Experimento 2.** Eficacia de tres niveles de biofertilización sobre el crecimiento y rendimiento del fréjol común.

El segundo experimento se realizó bajo condiciones de casa de cultivos, donde se evaluaron los componentes de crecimiento y acumulación de materia seca del fréjol en función de dosis crecientes de un biofertilizante artesanal. La aplicación del biofertilizante se realizó en drench al suelo, donde se realizaron tres aplicaciones en el tiempo, siendo la primera en el estado fenológico de emergencia (VE), y las dos restantes a los 15 y 30 días después de la primera aplicación.

## Tratamientos

**T1:** 5 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal

**T2:** 10 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal

**T3:** 15 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal

**T4:** Biofertilizante comercial (1 L ha<sup>-1</sup>)

**T5:** Tratamiento control sin biofertilización

Para este experimento se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con cinco tratamientos, cuatro réplicas y 20 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de seis macetas de 2 kg de capacidad, previamente llenadas con suelo procedente de áreas cultivadas con fréjol. En cada maceta se establecieron dos plantas.

## Variables de respuesta

**Masa seca de raíces (g):** se registró a los 60 días después de la siembra, donde la muestra de tejido fue colocada en estufa de circulación forzada por 48 horas a 70°C.

**Masa seca de planta (g):** se registró a los 60 días después de la siembra, donde la muestra de tejido fue colocada en estufa de circulación forzada por 48 horas a 70°C.

**Área foliar (cm<sup>2</sup>):** se registró a los 60 días después de la siembra, lo cual se estimó con la relación peso/área del tejido foliar.

**Masa seca de granos (g):** se registró a los 60 días después de la siembra, donde la muestra de tejido fue colocada en estufa de circulación forzada por 48 horas a 70°C.

**Índice de cosecha - IC (%):** se determinó al momento de la cosecha y se estimó a partir de la masa seca total de la planta y de los granos. Para esto se utilizó la ecuación [1].

$$IC = \frac{\text{Masa seca de granos por planta (g)}}{\text{Masa seca total de la planta (g)}} \times 100 \quad [1]$$

## RESULTADOS

### Experimento 1

En la Tabla 1 se observa la influencia del remojo de semillas de fréjol en una solución biofertilizante sobre la longitud radicular, longitud de plúmula y porcentaje de germinación en plántulas de fréjol a los ocho días después de la siembra. Todas las variables fueron influenciadas de forma significativa ( $p < 0.05$ ) por los tratamientos evaluados, donde el tratamiento control tendió

a presentar los mayores valores promedio, lo cual indica que posiblemente el remojo de semillas de fréjol en solución biofertilizante previo a la siembra no resulta una práctica agronómicamente recomendable.

Los resultados evidenciaron que la longitud radicular, longitud de plúmula y el porcentaje de germinación disminuyeron con el tiempo de remojo. Con relación al tratamiento control sin remojo, la longitud radicular disminuyó un 0,20, 11,63, 21,92 y 22,39% con 30, 60, 90 y 120 minutos de remojo, respectivamente. De la misma manera, la longitud de plúmula fue disminuida en un 0,72, 6,89, 19,57 y 21,98% con 30, 60, 90 y 120 minutos de remojo, respectivamente, con relación al tratamiento control sin remojo. La germinación fue la variable más afectada por los tiempos de remojo, donde la reducción fue del 20,00, 29,47, 58,42 y 81,05% con los tiempos de remojo de 30, 60, 90 y 120 minutos, respectivamente, con respecto al tratamiento control sin remojo (Tabla 1).

Por otra parte, el hecho de que el tratamiento con el tiempo mínimo de remojo (30 minutos) se ubicara en el mismo rango de significancia que el tratamiento control sin remojo, para las variables longitud radicular y de plúmula, demuestra que el remojo de semillas no es necesario para provocar un mayor crecimiento de estas estructuras. Asimismo, el hecho de que la germinación sufriera una disminución con los tiempos de remojo y, que la mayor germinación fuera alcanzada por el tratamiento control, evidencia que no sería necesario el remojo previo de las semillas de fréjol en solución bioestimulante para mejorar la tasa de germinación (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Influencia del remojo de semillas en solución biofertilizante sobre la longitud radicular, longitud de plúmula y porcentaje de germinación en plántulas de fréjol.*

Tratamientos	Longitud radicular (cm)		Longitud de plúmula (cm)		Porcentaje de germinación (%)	
T1 (Remojo por 30 minutos)	14,84	a <sup>1/</sup>	15,27	a	76,00	b
T2 (Remojo por 60 minutos)	13,14	ab	14,32	ab	67,00	ab
T3 (Remojo por 90 minutos)	11,61	b	12,37	b	39,50	bc
T4 (Remojo por 120 minutos)	11,54	b	12,00	b	18,00	c
T5 Tratamiento control sin remojo	14,87	a	15,38	a	95,00	a
C.V. %	13,41		7,94		13,94	
<i>p</i> -valor ANOVA	0,0390*		0,0009**		0,0006**	

*Nota.* CV: coeficiente de variación, Significativo al 5% (\*) y 1% (\*\*). <sup>1/</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Fuente: elaboración propia

## Experimento 2

Los componentes de crecimiento del fréjol fueron influenciados de forma significativa ( $p < 0,05$ ) por los tratamientos de biofertilización evaluados, donde las dosis de 10 y 15 L ha<sup>-1</sup> del biofertilizante artesanal junto al biofertilizante comercial, lograron los mayores promedios en área foliar, masa seca de raíces y masa seca de planta. Independientemente de las dosis, todos los tratamientos de biofertilización superaron significativamente el promedio del tratamiento control, en todos los componentes de crecimiento, lo cual evidenció que efectivamente los biofertilizantes artesanales o industriales tienen la capacidad de mejorar el crecimiento de la planta de fréjol (Tabla 2).

El área foliar fue incrementada en un 27,37, 39,88, 56,22 y 52,37% por los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente, con respecto al tratamiento control. De manera similar ocurrió para la masa seca de raíces, con aumentos del 22,78, 29,89, 37,11 y 36,46% para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, en su orden, con respecto al tratamiento sin biofertilización (T5). La misma tendencia se logró para la masa seca de planta, donde con respecto al tratamiento control, se alcanzó un incremento del 14,30, 22,30, 25,38 y 24,41%, en los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Influencia de la aplicación de un biofertilizante artesanal sobre el área foliar, masa seca de raíces y masa seca de plantas de fréjol.*

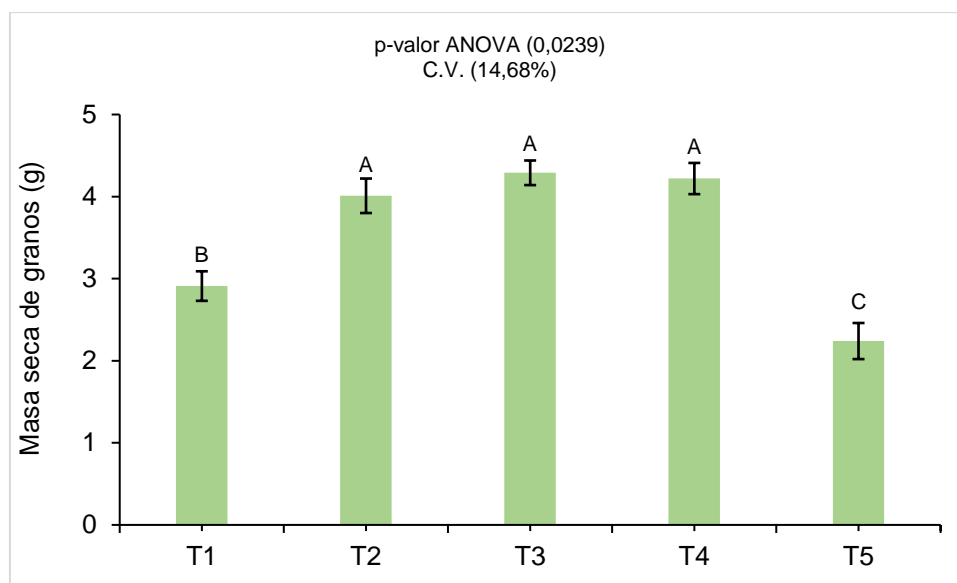
Tratamientos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Masa seca de raíces (g)	Masa seca de planta (g)
T1 (5 L ha <sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal)	591,20 b <sup>1/</sup>	0,79 b	7,48 b
T2 (10 L ha <sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal)	709,93 ab	0,87 ab	8,25 a
T3 (15 L ha <sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal)	975,07 a	0,97 a	8,59 a
T4 (Biofertilizante comercial)	896,19 a	0,96 a	8,48 a
T5 (Tratamiento control)	426,88 c	0,61 c	6,41 c
C.V. %	12,85	15,15	10,86
<i>p</i> -valor ANOVA	0,0275*	0,0269*	0,0420*

*Nota.* CV: coeficiente de variación, Significativo al 5% (\*). <sup>1/</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Fuente: elaboración propia

La masa seca de granos fue afectada de manera significativa ( $p < 0.05$ ) por los tratamientos de biofertilización evaluados, donde los tratamientos de 10 y 15 litros del biofertilizante artesanal (T2 y T3) en conjunto con el biofertilizante comercial (T4) lograron los mayores valores promedio (Figura 1). Con relación al tratamiento control, el aumento de masa seca de granos provocado por los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fue de 23,02, 44,14, 47,79 y 46,92%, respectivamente. Estos resultados indican que el cultivo de fréjol responde positivamente a la aplicación de biofertilizantes artesanales y comerciales. En el caso del biofertilizante artesanal, se evidenció que la materia seca de los granos tendió a mejorar con el incremento de las dosis (Figura 1).

### Figura 1

Masa seca de granos de fréjol en función de dosis de biofertilización. T1 (5 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T2 (10 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T3 (15 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T4 (Biofertilizante comercial), T5 Tratamiento control.



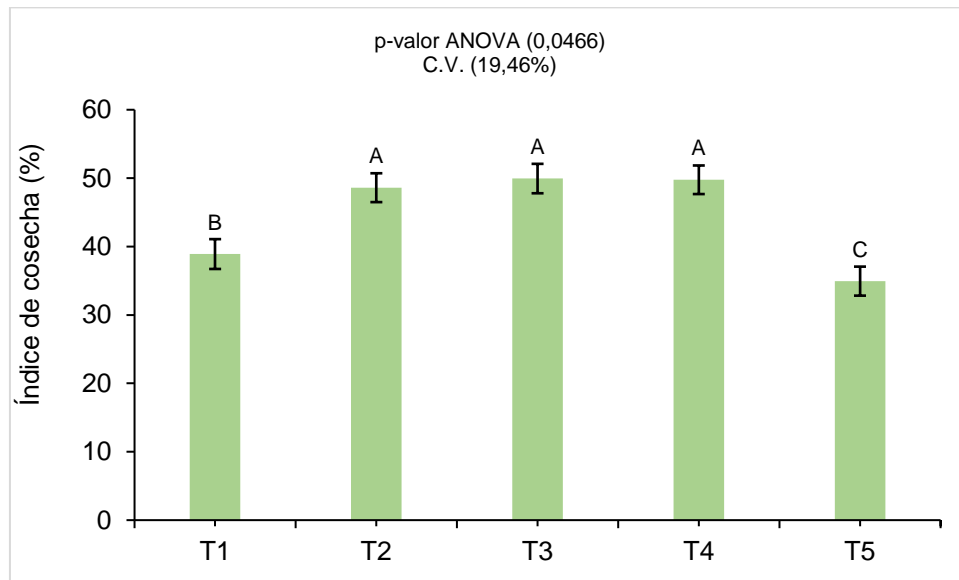
*Nota.* Barras con letras distintas, difieren estadísticamente según el test de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Fuente: elaboración propia

El índice de cosecha también fue aumentado significativamente ( $p < 0,05$ ) por los tratamientos de biofertilización, donde los tratamientos T2, T3 y T4 se destacaron con los mayores valores promedio. Los tratamientos T2, T3 y T4 produjeron índices de cosecha superiores al 48%, lo cual evidencia mayor capacidad de convertir materia seca en rendimiento económico (Figura 2). Estos resultados revelaron que el uso de biofertilizantes artesanales en dosis adecuadas, pueden ser eficaces para promover aumentos notables de materia seca y rendimiento de grano.

## Figura 2

Índice de cosecha de fréjol en función de dosis de biofertilización. T1 (5 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T2 (10 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T3 (15 L ha<sup>-1</sup> de biofertilizante artesanal), T4 (Biofertilizante comercial), T5 Tratamiento control.



Nota. Barras con letras distintas, difieren estadísticamente según el test de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Fuente: elaboración propia.

## DISCUSIÓN

### Experimento 1

En este estudio, el tratamiento control presentó el mayor porcentaje de germinación (95%), superando a todos los tratamientos con biofertilizante, lo que sugiere que, bajo condiciones no optimizadas, la aplicación de estos insumos puede no necesariamente mejorar el desempeño fisiológico inicial de la semilla. Este comportamiento ha sido reportado en investigaciones recientes, donde se indica que la efectividad de los biofertilizantes está condicionada por factores como la concentración, formulación y método de aplicación (Backer et al., 2018; Aloo et al., 2022).

El tratamiento con remojo de 30 minutos (T1) mostró valores de longitud radicular y de plúmula estadísticamente similares al control, lo que sugiere que tiempos cortos de exposición pueden favorecer procesos iniciales como la imbibición y la activación metabólica sin inducir efectos adversos. Este resultado es consistente con estudios que reportan que la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), incluyendo géneros como *Rhizobium*, *Bacillus* y *Azospirillum*, puede estimular el desarrollo radicular mediante la producción

de fitohormonas como auxinas y giberelinas, así como mejorar la disponibilidad de nutrientes en la rizósfera (García-Fraile et al., 2015; Souza et al., 2015). En leguminosas, estos efectos son particularmente relevantes debido a la interacción simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno, lo cual puede favorecer el establecimiento temprano del cultivo (Hungria et al., 2015).

Sin embargo, al incrementar el tiempo de remojo (T2, T3 y T4), se observó una disminución progresiva tanto en el crecimiento como en el porcentaje de germinación, siendo el efecto más severo en el tratamiento de 120 minutos, donde la germinación se redujo drásticamente a 18%. Este patrón sugiere la presencia de efectos negativos asociados a la exposición prolongada de las semillas a soluciones líquidas. Estudios anteriores han señalado que la imbibición excesiva puede inducir condiciones de hipoxia, alterar la integridad de las membranas celulares y afectar negativamente la viabilidad de la semilla, especialmente bajo condiciones de imbibición prolongada (Olanrewaju et al., 2017; Backer et al., 2018). Asimismo, soluciones biofertilizantes con alta actividad microbiana pueden incrementar la demanda de oxígeno durante la germinación, exacerbando condiciones anaeróbicas y reduciendo la eficiencia metabólica.

La reducción en la longitud radicular y de plúmula observada en los tratamientos con mayor tiempo de remojo también podría estar asociada a un desbalance hormonal o a efectos osmóticos negativos. Se ha documentado que concentraciones elevadas de metabolitos microbianos, incluyendo ácidos orgánicos y compuestos secundarios, pueden inhibir el crecimiento cuando superan ciertos umbrales, especialmente en etapas tempranas del desarrollo vegetal (Olanrewaju et al., 2017). Además, la interacción entre microorganismos y semillas no siempre es beneficiosa, ya que puede existir competencia por recursos o incluso efectos fitotóxicos dependiendo de la cepa y las condiciones ambientales.

## **Experimento 2**

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de biofertilizantes incrementó significativamente el área foliar, la biomasa radicular y la biomasa total en plantas de fréjol en comparación con el tratamiento control, lo que confirma el papel determinante de los microorganismos benéficos en la mejora del crecimiento vegetal. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en *Phaseolus vulgaris*, donde la inoculación con consorcios de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) incrementa variables fisiológicas y productivas mediante mecanismos como fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo y producción de fitohormonas (Backer et al., 2018; Mahanty et al., 2017).

El incremento progresivo observado con la dosis del biofertilizante artesanal ( $T1 < T2 < T3$ ) sugiere una relación dosis-respuesta, donde la mayor concentración ( $15 \text{ L ha}^{-1}$ ) alcanzó valores comparables al biofertilizante comercial. Este patrón ha sido documentado en estudios en *Phaseolus vulgaris*, donde el aumento en la dosis de biofertilizantes a base de *Rhizobium*, *Azospirillum* o consorcios microbianos mejora significativamente el área foliar y la acumulación de biomasa (Bashan et al., 2014; Souza et al., 2015). Dicho efecto se atribuye principalmente a la mayor disponibilidad de nitrógeno biológicamente fijado, así como a la producción de fitohormonas como auxinas y citoquininas, que estimulan la expansión foliar y el crecimiento radicular (Kumar et al., 2020; Granda et al., 2024).

El incremento significativo del área foliar observado en los tratamientos con biofertilizantes puede explicarse por la producción de fitohormonas (principalmente ácido indolacético, giberelinas y citoquininas), las cuales estimulan la expansión celular y el desarrollo del aparato fotosintético. En *Phaseolus vulgaris*, se ha demostrado que bacterias solubilizadoras de fósforo y productoras de IAA incrementan significativamente el crecimiento foliar y la eficiencia fotosintética, lo que se traduce en mayor acumulación de biomasa (Tatung & Deb, 2024). Este efecto ha sido también reportado en sistemas con microalgas utilizadas como biofertilizantes, donde se observan incrementos en la actividad metabólica y en la absorción de nutrientes esenciales como K y Ca, contribuyendo al crecimiento vegetal (Goelzer et al., 2023).

En cuanto a la biomasa radicular, los resultados obtenidos muestran incrementos significativos en los tratamientos con biofertilizantes, lo cual coincide con estudios en fréjol donde la inoculación con PGPR estimula el desarrollo del sistema radical y la nodulación. En particular, la coinoculación de *Rhizobium* y *Bacillus* ha demostrado mejorar significativamente la fijación biológica de nitrógeno y la absorción de nutrientes, favoreciendo el crecimiento integral de la planta (Santillana et al., 2019).

En cuanto a la biomasa total de la planta, los tratamientos T2, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí superaron al control, lo que sugiere que a partir de cierta dosis ( $10 \text{ L ha}^{-1}$ ) se alcanza un umbral de eficiencia en la respuesta del cultivo. Este comportamiento ha sido observado en estudios con biofertilizantes en fréjol común, donde dosis intermedias y altas generan respuestas similares debido a la saturación del sistema planta-microorganismo (Mahanty et al., 2017; García-Fraile et al., 2015). En este sentido, aunque T3 mostró los valores más altos, la diferencia con T2 no siempre fue estadísticamente marcada en todas las variables, lo que tiene implicaciones prácticas en términos de costo-beneficio para el productor.

Desde una perspectiva fisiológica, el incremento en la masa seca de granos observado en T2, T3 y T4 sugiere una mejora en la eficiencia de asimilación y partición de fotoasimilados hacia órganos reproductivos (Figura 1). Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en estudios recientes, donde se reporta que los biofertilizantes, particularmente aquellos que contienen microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) incrementan la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de estimular la síntesis de fitohormonas (auxinas, citoquininas), lo que se traduce en mayor acumulación de biomasa y rendimiento en leguminosas (Mahanty et al., 2017; Iqbal et al., 2020).

En cuanto al índice de cosecha (Figura 2), los resultados siguen una tendencia similar, donde los tratamientos T2, T3 y T4 muestran valores significativamente mayores respecto al control. Esto indica una mayor eficiencia en la asignación de biomasa hacia el grano, lo cual es un indicador clave de productividad en cultivos de grano. Según Silva et al. (2019), la aplicación de biofertilizantes puede mejorar la relación fuente-sumidero mediante la optimización de la fotosíntesis y la movilización de nutrientes, favoreciendo una mayor proporción de biomasa útil.

En conjunto, los resultados demuestran que la aplicación de biofertilizantes, tanto artesanales como comerciales, mejora significativamente el desempeño productivo del fréjol, siendo las dosis intermedias ( $10\text{--}15\text{ L ha}^{-1}$ ) las más eficientes. Esto coincide con tendencias actuales en agricultura sostenible, donde se busca optimizar el uso de insumos biológicos para maximizar la productividad sin comprometer la salud del agroecosistema.

## CONCLUSIONES

El remojo previo de las semillas de fréjol en la solución biofertilizante no mejora su germinación ni su crecimiento inicial. De hecho, someter las semillas a tiempos de remojo prolongados (90 y 120 minutos) perjudica significativamente el desarrollo, reduciendo la longitud radicular, la longitud de la plúmula y el porcentaje de germinación en comparación con el tratamiento control sin remojo, el cual presentó los valores más altos.

La aplicación de biofertilizante artesanal en drench, al momento de la emergencia, a los 15 y 30 días después de la siembra, tiene un efecto positivo y significativo sobre el crecimiento y la acumulación de biomasa en las plantas de fréjol. La dosis de  $15\text{ L ha}^{-1}$  de biofertilizante artesanal demostró ser la más óptima.

El biofertilizante artesanal aplicado a una dosis de  $15\text{ L ha}^{-1}$  logró similares efectos que el biofertilizante comercial, sobre el crecimiento vegetativo, la acumulación de la materia seca e índice de cosecha de plantas de fréjol.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfifi, K. (2026). Evaluating microbial biostimulants under abiotic stressors in plants. *Pakistan Journal of Botany*, 58(5), 8. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2026-5\(15\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2026-5(15))
- Aliyi, A., Yusuf, Z., & Egigu, M. (2025). On-farm diversity, genetic integrity, and production constraints of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Discover Life*, 55(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s11084-025-09689-2>
- Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., & Mbega, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1002448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002448>
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., ... & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Bashan, Y., de-Bashan, L., Prabhu, S., & Hernandez, J. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378(1–2), 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Can, A., Ramírez, L., Ortega, H., Cruz, E., Flores, D., Sánchez, E., & Madueño, A. (2014). Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 753-763. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014000500003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500003)
- DaMatta, F., Grandis, A., Arenque, B., & Buckeridge, M. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43(7), 1814 – 1823. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.001>
- El Sabagh, A., Islam, M., Hossain, A., Iqbal, M., Mubeen, M., Waleed, M., Reginato, M., Battaglia, M., Ahmed, S., Rehman, A., Arif, M., Athar, H., Ratnasekera, D., Danish, S., Raza, M., Rajendran, K., Mushtaq, M., Skalicky, M., Brestic, M., Soufan, W., Fahad, S., Pandey, S., Kamran, M., Datta, R., & Abdelhamid, M. (2022). Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Agronomy*, 4, <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.765068>

- García-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*, 2(3), 183–205. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183>
- Goelzer, A., Reichel, T., de Resende, M., & Duarte, W. (2023). Potential of *Desmodium* abundans as biofertilizer in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 49, 102657. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102657>
- Granda-Mora, K., Correa-Ullauri, C., Collahuazo-Reinoso, Y., & Robles-Carrión, Á. (2024). Inoculantes microbianos comerciales con PGPR sobre variables productivas y económicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 35, 55654. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55654>
- Guamán, R., Andrade, C., & Álava, J. (2004). *Guía para el cultivo de fréjol en el Litoral ecuatoriano* (Boletín divulgativo N.º 316). Estación Experimental Boliche, INIAP. 52 p.
- Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2015). Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 859–876. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0325-5>
- Iqbal, M., Hamid, A., Ahmad, T., Siddiqui, M., & Hussain, I. (2020). Biofertilizers and their role in sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1467–1480. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1724301>
- Itelima, J. U., Bang, W. J., Onyimba, I. A., & Oj, E. E. (2018). Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), 73–83.
- Karavidas, I., Ntatsi, G., Vougeleka, V., Karkanis, A., Ntanasi, T., Saitanis, C., Agathokleous, E., Ropokis, A., Sabatino, L., Tran, F., Iannetta, P., & Savvas, D. (2022). Agronomic Practices to Increase the Yield and Quality of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A Systematic Review. *Agronomy*, 12(2), 271. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020271>
- Kumar, V., Kumar, P., & Khan, A. (2020). Optimization of PGPR and silicon fertilization using response surface methodology for enhanced growth, yield and biochemical parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under saline stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101463. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101463>
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., & Ghosh, A. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental*

- Science and Pollution Research*, 24(4), 3315–3335. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
- Mahato, A. (2014). Climate Change and its Impact on Agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(1), 1 – 6.
- Mahmud, A. A., Upadhyay, S. K., Srivastava, A. K., & Bhojiya, A. A. (2021). Biofertilizers: A nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100063>
- Mano, B., Sanjai, K., Priyadharshini, V., Gopikrishnan, R., & Kanishka, S. (2026). Plant growth-promoting rhizobacteria as sustainable bio-inputs for modern agriculture: A critical review. *International Journal of Research in Agronomy*, 9(1), 183–190. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2026.v9.i1c.4604>
- Martínez, L., Maqueira, L., Nápoles, M., & Núñez, M. (2017). Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) biofertilizados. *Revista Cultivos Tropicales*, 38(2), 113-114.
- Mena, E., Leiva, M., Dilhara, E., García, L., Veitía, N., Bermúdez, I., Collado, R., & Cárdenas, R. (2015). Efecto del estrés salino en la germinación y el crecimiento temprano de *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 36(3), 71-74.
- Menten, J., & Moraes, M. (2010). Tratamiento de semillas: histórico, tipos, características e beneficios. *Informativo abrates*. 20(3), 52-71.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2024). Boletín situacional del cultivo de fréjol. Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria. p.6
- Morales, D., Dell'Amico, J., Jerez, E., Rodríguez, P., Álvarez, I., Díaz, Y., & Martín, R. (2017). Efecto del Quitomax® en plantas de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidas a dos regímenes de riego. I. crecimiento y rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 119-128.
- Nasar, S., Shaheen, H., Murtaza, G., Tinghong, T., Arfan, M., & Idrees, M. (2023). Socioeconomic evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation in providing sustainable livelihood to the mountain populations of Kashmir Himalayas. *Plants*, 12(1), 213. <https://doi.org/10.3390/plants12010213>
- Nassary, R. M., Massawe, B. H., & Nassary, E. K. (2025). Spatiotemporal patterns and drivers of bean yield variability in food-deficit countries. *Scientific African*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e03040>

- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 197. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>
- Padilla, W. (2010). Desde el Surco. Manual de Fertilización Orgánica y Química. Reguladores de crecimiento en cultivos. Quito, Ecuador, 79 p.
- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Pinzón, J., & Villacrés, E. (2013). *Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas: Cultivos, variedades y costos de producción* (3.ª ed., Publicación Miscelánea N.º 135). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. 70 p.
- Porch, T., & Jahn, M. (2001). Effect of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Cell Environ*, 24, 723–731.
- Quintana, W., Pinzón, E., & Torres, D. (2016). Evaluación del crecimiento de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Ica Cerinza, bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19(1), 87 – 95.
- Samago, T. Y., Anniye, E. W., & Dakora, F. D. (2018). Grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties is markedly increased by rhizobial inoculation and phosphorus application in Ethiopia. *Symbiosis*, 75(3), 245–255. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0529-9>
- Santillana Villanueva, N. (2019). Coinoculación de *Rhizobium* y *Bacillus* en el crecimiento de *Phaseolus vulgaris* y *Pisum sativum*, en invernadero. *Investigación*, 27(1), 29–. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.98>
- Silva, L., Pereira, M., Azevedo, J., Mulas, R., Velázquez, E., González-Andrés, F., & Valentão, P. (2019). Inoculation with plant growth-promoting bacteria enhances yield and nutritional quality of legumes. *Food Research International*, 116, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.033>
- Souza, R., Ambrosini, A., & Passaglia, L. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), 401–419. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

Tatung, M., & Deb, C. (2024). Exploring the phosphate solubilising rhizobacteria isolated from wild Musa rhizosphere and their efficacy on plant growth. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 12(5), 742–755. [https://doi.org/10.18006/2024.12\(5\).742.755](https://doi.org/10.18006/2024.12(5).742.755)

Zullo, M., & Adam, G. (2002). Brassinosteroid phytohormones: Structure, bioactivity and applications. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(3), 143–181.

## **Agradecimientos**

Los autores expresan su profundo agradecimiento al Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila por facilitar las instalaciones y la infraestructura experimental necesarias para el desarrollo exitoso de esta investigación.

## **Financiamiento**

La presente investigación no recibió financiamiento específico de entidades públicas, privadas ni comerciales. Los recursos utilizados para el desarrollo del estudio fueron cubiertos en su totalidad por los autores.

## **Conflictos de interés**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses de carácter financiero, institucional o personal que puedan haber influido en el desarrollo, análisis o publicación de los resultados de esta investigación.

## **Contribución de los autores**

JC: conceptualización y diseño del estudio, análisis de la información, interpretación de resultados y redacción del manuscrito.

MR: recopilación y validación de datos, revisión crítica de la literatura científica, apoyo en el análisis de resultados.

LU: recopilación y validación de datos, revisión crítica de la literatura científica, apoyo en el análisis de resultados.

LJ: revisión final del manuscrito.

## **Declaraciones éticas**

Esta investigación, por su naturaleza metodológica y experimental, no involucró la participación de seres humanos ni el uso de animales en ninguna de sus fases. En consecuencia, no fue

necesario someter el protocolo a evaluación por un comité de ética. Por ello, las consideraciones éticas no aplican en este caso.