

Impacto de bioformulados bacterianos y compuestos orgánicos en la productividad de *Brassica oleracea* var. *capitata*

Impact of bacterial bioformulations and organic compounds on the productivity of *Brassica oleracea* var. *capitata*

Impacto de bioformulados bacterianos e compostos orgánicos na produtividade da *Brassica oleracea* var. *capitata*

Sellan-Canales, María José
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
maria.jose037@outlook.es
<https://orcid.org/0009-0001-7165-6280>



Abasolo-Pacheco, Fernando
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
fabasolo@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2268-7432>



Pazmiño-Mera, Yulissa Yamilex
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
yulissa.pazmino2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-5801-4199>



Sellán-Canales, María Magdalena
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
msellanc3@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-9412-4793>



Alban-Mendoza, José Antonio
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
jalbanm3@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-5687-7636>



García-Gallirgos, Víctor Jorge
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Victor.garcia2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4547-6187>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE2/1062>

Como citar:

Sellan-Canales, M. J., Abasolo-Pacheco, F., Pazmiño-Mera, Y. Y., Sellán-Canales, M. M., Alban-Mendoza, J. A., & García-Gallirgos, V. J. (2025). Impacto de bioformulados bacterianos y compuestos orgánicos en la productividad de *Brassica oleracea* var. *capitata*. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E2), 1060–1078.

Recibido: 02/09/2025

Aceptado: 28/09/2025

Publicado: 30/09/2025

Resumen

El cultivo de *Brassica oleracea* var. *capitata* constituye una importante fuente de alimento y renta económica, aunque su producción intensiva suele depender de agroquímicos que generan impactos ambientales y alteraciones en la microbiota del suelo. En este contexto, el uso de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico representa una estrategia sostenible para mejorar la productividad y reducir la dependencia de insumos sintéticos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes bioformulados y compuestos orgánicos sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de col. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con seis tratamientos (PGPR 10 L/ha, PGPR 15 L/ha, ácidos húmicos y fúlvicos 3 kg/ha, extracto de alga marina 10 L/ha, control químico 100 kg/ha y control absoluto) y tres repeticiones. Los resultados mostraron que la aplicación de PGPR 15 L/ha promovió la mayor germinación y emergencia (97%), así como un rendimiento de 66 657,33 kg/ha, superado únicamente por el control químico (78 985,92 kg/ha) y significativamente superior al control absoluto (42 654,60 kg/ha). El análisis económico reveló que PGPR 15 L/ha alcanzó la mayor rentabilidad (950,62%) y una relación beneficio/costo de 10,09, superando al resto de los tratamientos. Estos hallazgos demuestran que los bioformulados bacterianos constituyen una alternativa eficiente y ambientalmente favorable para optimizar el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de *B. oleracea* var. *capitata*, ofreciendo un enfoque viable hacia sistemas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: biofertilización, rendimiento, sostenibilidad, hortalizas, microbiota.

Abstract

The cultivation of *Brassica oleracea* var. *capitata* is an important source of food and economic income, although its intensive production often depends on agrochemicals that generate environmental impacts and alterations in the soil microbiota. In this context, the use of bacterial bioformulations and molecules of organic origin represents a sustainable strategy to improve productivity and reduce dependence on synthetic inputs. The objective of this study was to evaluate the effect of different bioformulations and organic compounds on the development and yield of cabbage crops. A completely randomized design was used with six treatments (PGPR 10 L/ha, PGPR 15 L/ha, humic and fulvic acids 3 kg/ha, seaweed extract 10 L/ha, chemical control 100 kg/ha, and absolute control) and three replicates. The results showed that the application of PGPR 15 L/ha promoted the highest germination and emergence (97%), as well as a yield of 66,657.33 kg/ha, surpassed only by the chemical control (78,985.92 kg/ha) and significantly higher than the absolute control (42,654.60 kg/ha). The economic analysis revealed that PGPR 15 L/ha achieved the highest profitability (950.62%) and a benefit/cost ratio of 10.09, surpassing the other treatments. These findings demonstrate that bacterial bioformulations are an efficient and environmentally friendly alternative for optimizing the yield and profitability of *B. oleracea* var. *capitata* cultivation, offering a viable approach to more sustainable agricultural systems.

Keywords: biofertilization, yield, sustainability, vegetables, microbiota.

Resumo

O cultivo de *Brassica oleracea* var. *capitata* constitui uma importante fonte de alimento e renda econômica, embora a sua produção intensiva dependa frequentemente de agroquímicos que geram impactos ambientais e alterações na microbiota do solo. Neste contexto, o uso de bioformulados bacterianos e moléculas de origem orgânica representa uma estratégia sustentável para melhorar a produtividade e reduzir a dependência de insumos sintéticos. O

objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes bioformulados e compostos orgânicos no desenvolvimento e rendimento do cultivo de couve. Foi utilizado um delineamento completamente aleatório com seis tratamentos (PGPR 10 L/ha, PGPR 15 L/ha, ácidos húmicos e fúlvicos 3 kg/ha, extrato de algas marinhas 10 L/ha, controlo químico 100 kg/ha e controlo absoluto) e três repetições. Os resultados mostraram que a aplicação de PGPR 15 L/ha promoveu maior germinação e emergência (97%), bem como um rendimento de 66 657,33 kg/ha, superado apenas pelo controlo químico (78 985,92 kg/ha) e significativamente superior ao controlo absoluto (42 654,60 kg/ha). A análise económica revelou que o PGPR 15 L/ha alcançou a maior rentabilidade (950,62%) e uma relação benefício/custo de 10,09, superando os demais tratamentos. Essas descobertas demonstram que os bioformulados bacterianos constituem uma alternativa eficiente e ambientalmente favorável para otimizar o rendimento e a rentabilidade do cultivo de *B. oleracea* var. *capitata*, oferecendo uma abordagem viável para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: biofertilização, rendimento, sustentabilidade, hortaliças, microbiota.

Introducción

Ecuador se caracteriza por su biodiversidad y riqueza agroecológica, condiciones que favorecen la producción de hortalizas y fortalecen la seguridad alimentaria. En este contexto, la agricultura protegida se ha consolidado como estrategia para un uso racional y sostenible de los recursos productivos (Caiza *et al.*, 2024). Entre los cultivos de mayor importancia se encuentra *Brassica oleracea* var. *capitata*, hortaliza de consumo habitual en el país, cuyo manejo intensivo ha incrementado el uso de agroquímicos con el fin de maximizar los rendimientos.

El uso indiscriminado de agroquímicos, si bien ha permitido mantener niveles aceptables de producción, genera impactos ambientales y sanitarios de alta relevancia, como pérdida de fauna benéfica, resistencia de plagas, degradación del suelo y contaminación de fuentes hídricas por lixiviación de nitrógeno y fósforo (Aguilar-Flores *et al.*, 2021; Ortiz *et al.*, 2021). A nivel global, esta dependencia de insumos sintéticos representa riesgos para la salud humana y la sostenibilidad ambiental (Ordoñez-Beltrán *et al.*, 2019; Silveira-Gramont *et al.*, 2018). Frente a este escenario, la búsqueda de alternativas biológicas y sostenibles se ha convertido en una prioridad para la horticultura moderna.

Las moléculas de origen orgánico, como los ácidos húmicos y fúlvicos o los extractos de algas marinas, han demostrado mejorar la fertilidad del suelo y estimular el crecimiento vegetal (Lugmania-Paillacho, 2020). Paralelamente, los bioformulados bacterianos constituyen una herramienta biotecnológica que promueve un manejo sostenible del suelo, reduce la dependencia de agroquímicos y ofrece beneficios directos a pequeños y medianos productores (Acoltzi-Conde *et al.*, 2024).

En particular, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) destacan por su capacidad de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, sintetizar fitohormonas y enzimas, además de inducir resistencia sistémica contra patógenos (Patiño *et al.*, 2020; Crespo Ávila *et al.*, 2024; Vassileva *et al.*, 2021). Estas características las posicionan como aliadas clave en la biofertilización y el control biológico.

Diversos estudios confirman que la aplicación de bioformulados bacterianos, así como de ácidos húmicos, fúlvicos y extractos de algas, incrementa el rendimiento y la calidad de las hortalizas, optimizando la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes (Sriwati *et al.*, 2019; Mishra *et al.*, 2020). Además, los PGPR estimulan la producción de reguladores de crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas, contribuyendo tanto al desarrollo vegetativo como a la protección contra patógenos (Patiño *et al.*, 2020).

En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de moléculas de origen orgánico y bioformulados bacterianos en el desarrollo y producción de *B. oleracea* var. *capitata*, aportando alternativas sostenibles que fortalezcan la eficiencia productiva y reduzcan la dependencia de insumos químicos convencionales en los sistemas hortícolas.

Metodología

El estudio se desarrolló en una estructura protegida con malla sombra (saran), ubicada en la cooperativa Atilio Vélez Aray, cantón El Empalme, provincia del Guayas, parroquia Velasco Ibarra, Ecuador (1°04'12.6" S; 79°62'02.95" O), a 75 m s.n.m. en una zona de clima tropical húmedo con temperaturas entre 22 y 23 °C. La investigación fue de carácter experimental, conducida bajo condiciones semicontroladas, con el propósito de evaluar el efecto de moléculas de origen orgánico y bioformulados bacterianos en el desarrollo y producción de *Brassica oleracea* var. *capitata*. El ensayo incluyó las fases de germinación, emergencia, desarrollo vegetativo y producción del cultivo.

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con seis tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 plantas, sumando un total de 30 plantas por tratamiento. Los tratamientos fueron: T1, bioformulado PGPR 15 L/ha (*Pseudomonas protegens* CHA0, *Pseudomonas veronii* R4, 1×10^8 UFC·mL⁻¹); T2, bioformulado PGPR 10 L/ha (mismas cepas y concentración); T3, ácidos húmicos y fúlvicos 3 kg/ha (61% y 39%, respectivamente); T4, extracto de alga marina *Ecklonia maxima* 10 L/ha; T5, control químico con fertilizante complejo (N 23%, P₂O₅ 23%, K₂O 23,6%, MgO 3,8%, S 17,2%, B 0,04%, Fe 0,13%, Mn 0,12%, Zn 0,11%) a razón de 100 kg/ha; y T6, control absoluto (agua).

Los bioformulados bacterianos fueron elaborados en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), con un medio de cultivo BIOIMPULSE a base de melaza, harina de maíz, sal, glicerina y fijadores. Las semillas se imbibieron durante 30 minutos en las soluciones de tratamiento antes de la siembra en bandejas de 128 cavidades. El sustrato se preparó con tierra negra (50%), tierra de sembrado (20%), arena (15%) y tamo de arroz (15%), más 30 kg de ceniza de rastrojo para mejorar la disponibilidad de potasio y calcio. El trasplante se efectuó cuando las plántulas presentaron de

cuatro a seis hojas verdaderas, en fundas de polietileno de 28 × 30 cm con capacidad de 10 kg. El riego se aplicó cada tres días, ajustando la lámina de agua según la fase fenológica.

El control de arvenses fue manual, mientras que las aplicaciones de bioformulados y moléculas orgánicas se realizaron con bomba manual de 15 L, cuatro veces durante el ciclo, con intervalos de 15 días. El control fitosanitario se efectuó con extractos naturales de ajo, ají y ruda, y en el tratamiento químico se empleó insecticida Muralla Max (0,20 L/ha). La fertilización convencional se aplicó solo en el control químico, en tres etapas: trasplante, emergencia y formación de la cabeza. La cosecha se realizó manualmente cuando las cabezas presentaron compactación, firmeza y tamaño comercial.

Se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de germinación y emergencia, altura de planta, ancho y longitud de hoja, diámetro basal y diámetro de cabeza, peso fresco de cabeza, longitud de raíz, rendimiento (kg/ha) y análisis económico. La germinación y emergencia se calcularon mediante fórmulas estandarizadas (Será, 2023). El rendimiento se estimó a partir del peso fresco total de las cabezas de col por unidad experimental, extrapolado a kg/ha (Castillo Álvarez, 2020). El análisis económico consideró los costos de producción y los ingresos, con base en la relación beneficio/costo (B/C).

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y las medias comparadas mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). La tabulación se realizó en Microsoft Excel 2019 y el análisis estadístico en el software InfoStat versión 2020.

Resultados

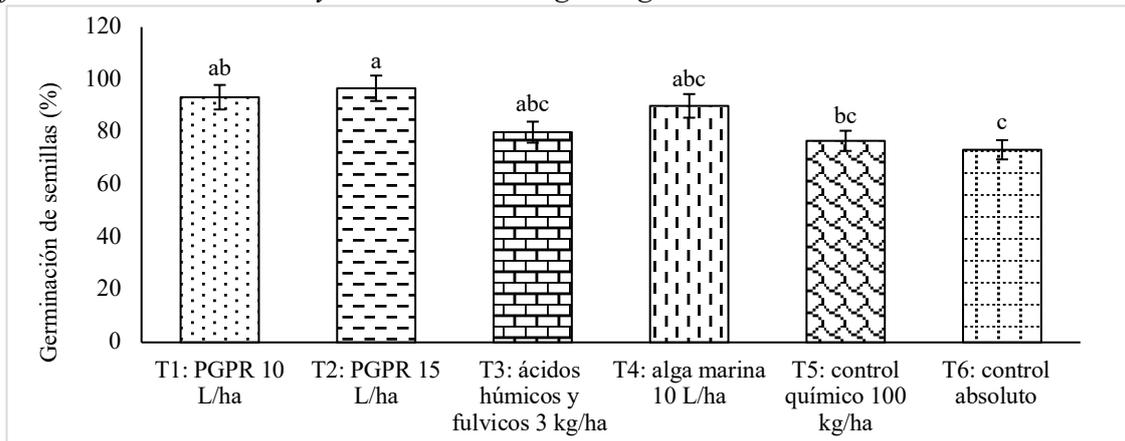
Porcentaje de germinación

La evaluación del porcentaje de germinación se realizó durante cinco días posteriores a la siembra en cajas Petri. El tratamiento con bioformulados PGPR 15 L/ha (T2) presentó el mayor porcentaje de germinación, alcanzando un 97% de semillas germinadas. A diferencia

del control químico 100 kg/ha (T5) alcanzó un 77%, mientras que el control absoluto (T6) registró el menor promedio con 73 % de germinación. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación (CV) de 7,98% (Figura 1).

Figura 1

Porcentaje de germinación de semillas de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



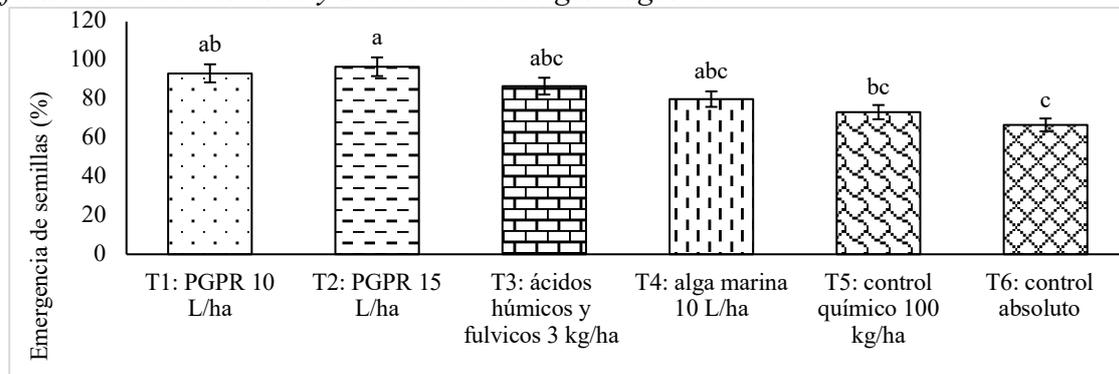
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad (Autores, 2025).

Porcentaje de emergencia

En la variable porcentaje de emergencia, el tratamiento bioformulado PGPR 15 L/ha (T2) obtuvo el valor más alto, con promedio de 97% de emergencia, mostrando una diferencia significativa frente al control absoluto (T6), que registro un 67%, y al control químico 100 kg/ha (T5), que alcanzó un 73%. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación de (CV) 8,73% (Figura 2).

Figura 2

Porcentaje de emergencia de semillas de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico.



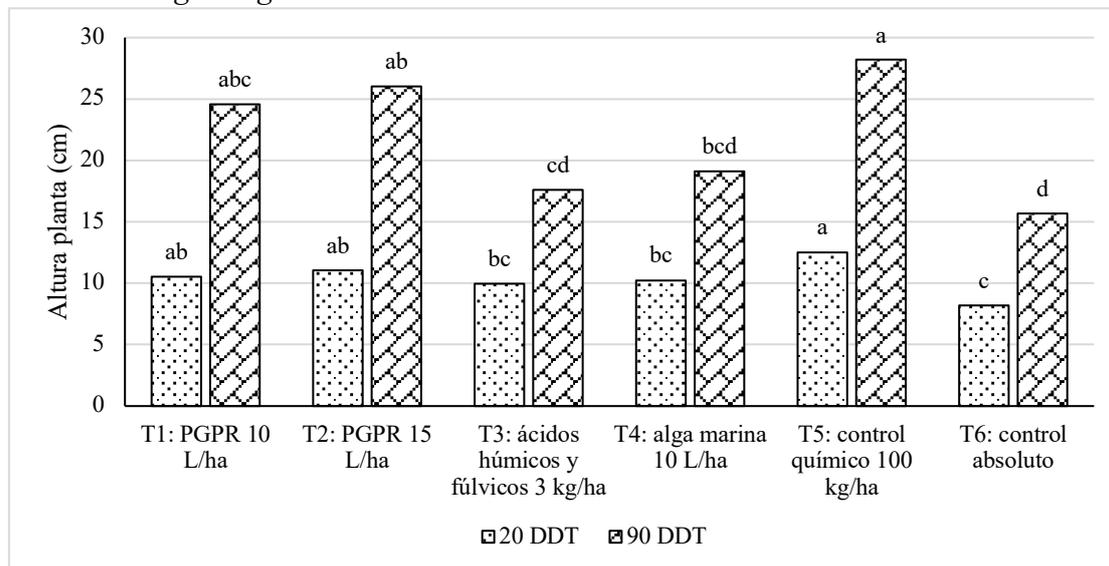
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas (P < 0.05) entre tratamientos (Autores, 2025).

Altura de la planta (cm)

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la altura de planta entre los tratamientos, tanto a los 20 como a los 90 días después del trasplante. El tratamiento con control químico 100 kg/ha (T5) alcanzó la mayor altura, con 12,53 cm a los 20 días y 28,23 cm a los 90 días, seguido por el tratamiento con bioformulado PGPR 15 L/ha (T2), que registró un promedio de 11,03 cm a los 20 días y 26 cm a los 90 días. En contraste, el control absoluto (T6) presentó el menor desarrollo, con una altura significativamente inferior respecto al resto de los tratamientos. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación (CV) de 7,44% a los 20 días y de 11,27% a los 90 días después del trasplante, lo que indica una dispersión moderada en las mediciones de altura en ambos periodos evaluados (Figura 3).

Figura 2

Altura de la planta de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico.



Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

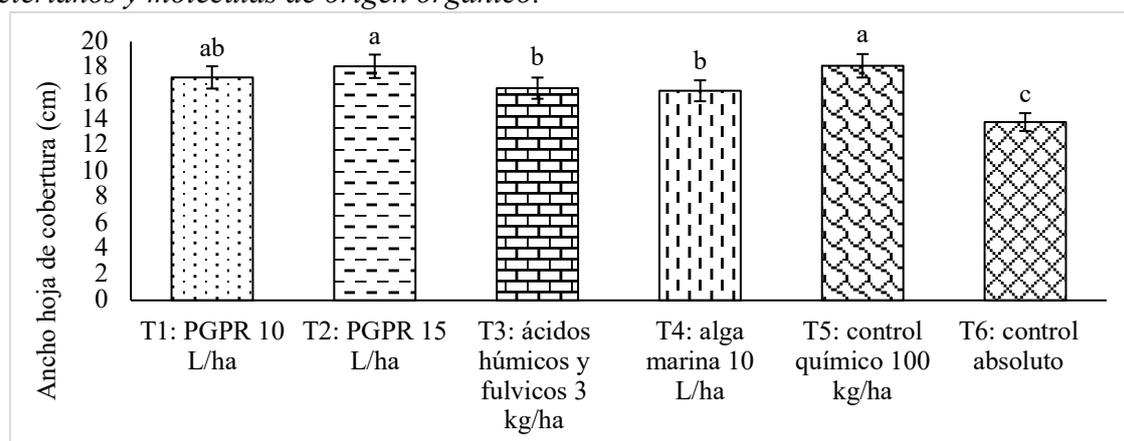
Ancho de la hoja de cobertura (cm)

En la evaluación de la presente variable (Figura 5), el mayor promedio se registró en el tratamiento control químico 100 kg/ha (T5) con 18,13 cm, estadísticamente igual al tratamiento bioformulados PGPR 15 L/ha (T2), que alcanzó un promedio de 18,09 cm. Ambos tratamientos

mostraron superioridad al resto, mientras que el control absoluto (T6) presentó el menor promedio con 13,78 cm, significativamente inferior al resto de los tratamientos evaluados. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación de (CV) 2,67% (Figura 4).

Figura 4

Ancho de la hoja de cobertura de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico.



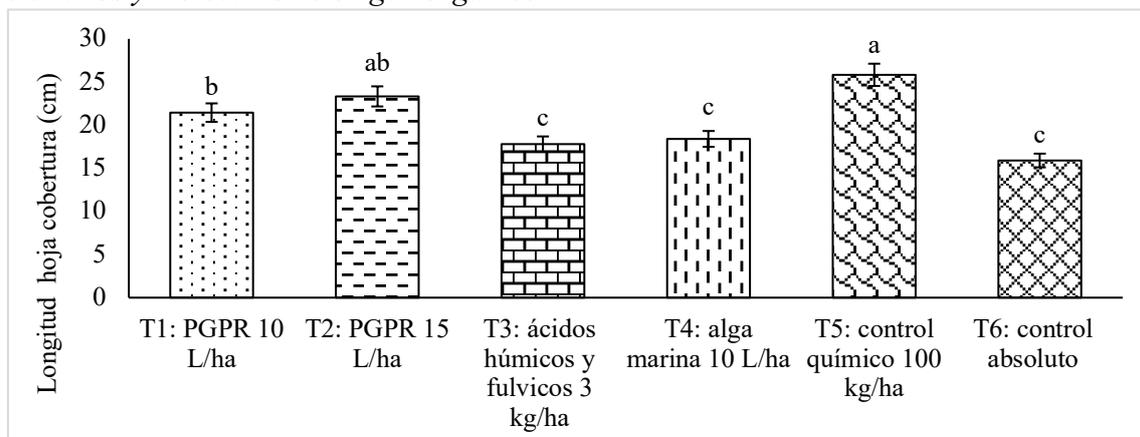
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Longitud de la hoja de cobertura (cm)

Los diferentes tratamientos aplicados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento control químico 100 kg/ha (T5) obtuvo el mayor promedio con 25,83 cm, seguido por el tratamiento con bioformulados PGPR 15 L/ha (T2), que alcanzó 23,33 cm de longitud de la hoja de cobertura. El tratamiento control (T6) registró el menor promedio con 15,90 cm. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación de (CV) 4,64% (Figura 5).

Figura 3

Longitud de la hoja de cobertura de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



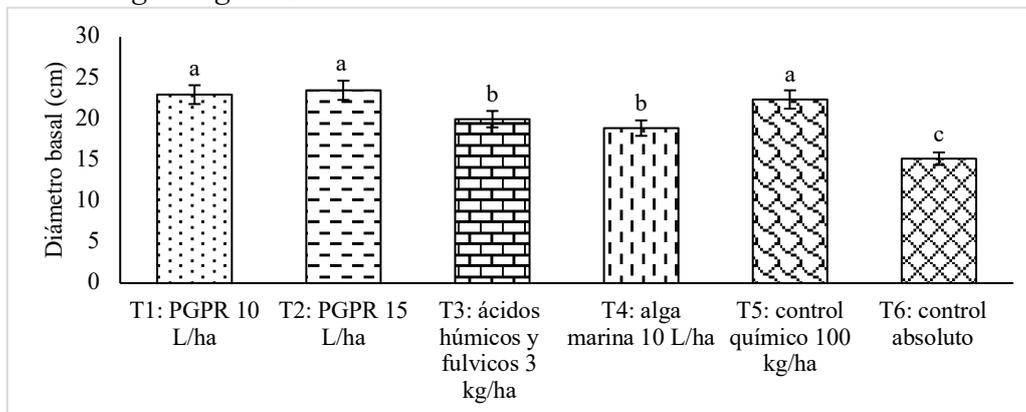
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Diámetro basal de la col a la cosecha (cm)

En la presente variable se evidenció el comportamiento de los diferentes tratamientos, destacándose el bioformulados PGPR 15 L/ha (T2), que alcanzó el mayor promedio con 23,50 mm, seguido por el bioformulados PGPR 10L/ha (T1) con 22,97 mm y control químico 100 kg/ha (T5) con 22,38 mm, los cuales mostraron un efecto significativo en comparación al resto de los tratamientos. El tratamiento, control absoluto (T6) registró el valor más bajo con promedio de 15,17 mm. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación de (CV) 2,31% (Figura 6).

Figura 4

Diámetro basal de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



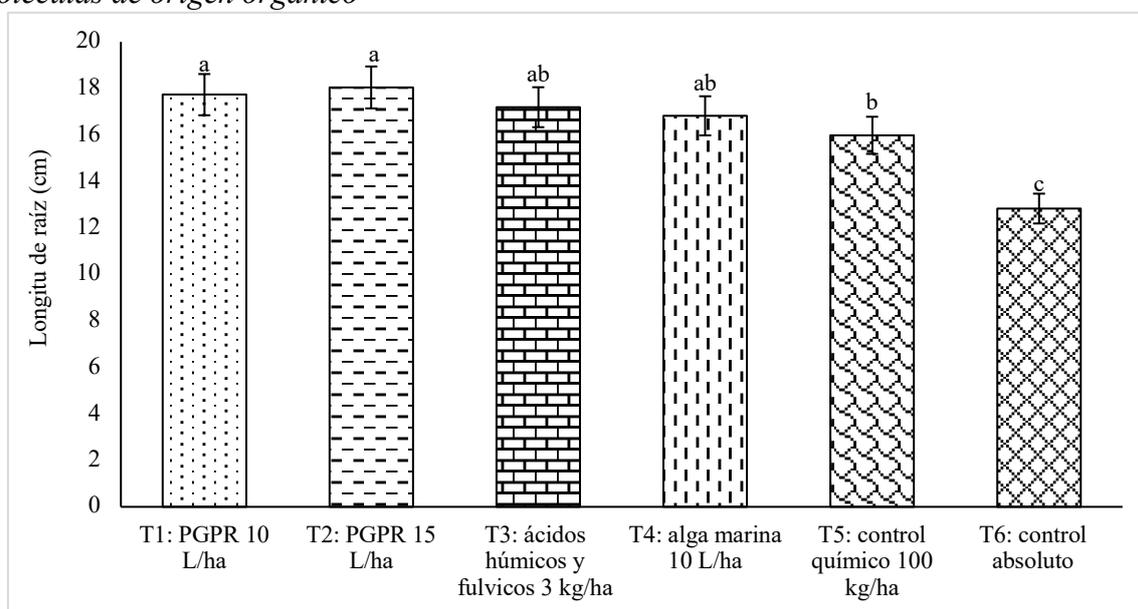
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Longitud de la raíz (cm)

En la evaluación de la variable longitud de raíz, el análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación (CV) de 3,02%. El tratamiento que genero mayor longitud de raíz fue el bioformulados PGPR 15 L/ha (T2), con 18,04 cm, seguido por el bioformulados PGPR 15 L/ha (T1), con promedio de 17,73 cm. En comparación, el control químico 100 kg/ha (T5) presento una menor longitud de raíz, mientras que el control absoluto (T6) registró el valor más bajo con un promedio de 12,83 cm (Figura 7).

Figura 7

Longitud de la raíz de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

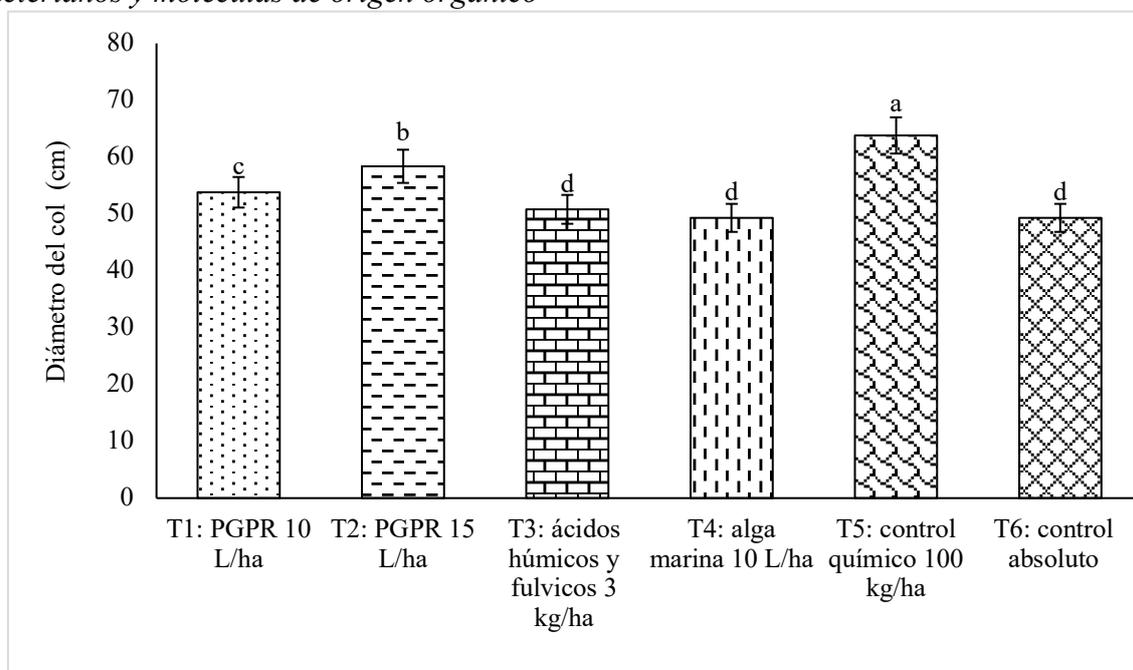
Diámetro del col a la cosecha (cm)

En la evaluación del diámetro del col a la cosecha, los tratamientos mostraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación (CV) de 1,25%. El control químico 100 kg/ha (T5) alcanzó el mayor diámetro promedio con 63,80cm, siendo estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Le siguió el bioformulados PGPR 15 L/ha (T2), con un diámetro promedio de 58,37 cm, el bioformulados PGPR 10L/ha (T1), que registró 53,80 cm. Los tratamientos como el ácido húmico y fúlvico 3 kg/ha (T3), alga marina (T4) y control

absoluto (T6) presentaron promedios más bajos y no mostraron diferencias significativas entre sí (Figura 8).

Figura 5

Diámetro de col a la cosecha de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



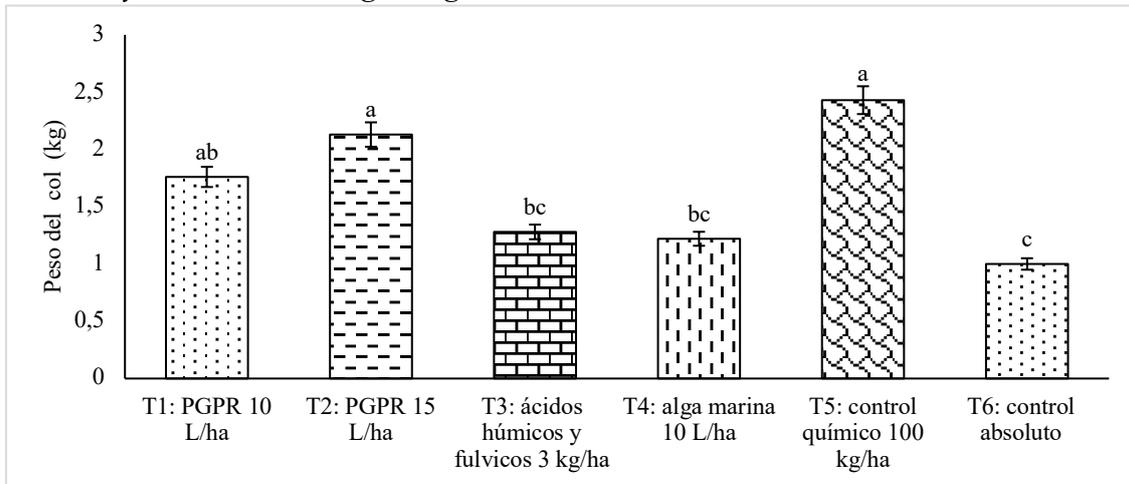
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Peso del col a la cosecha (kg)

En la evaluación de la presente variable, el tratamiento que registro el mayor peso promedio del col fue el control químico 100 kg/ha (T5), con 2,43 kg, evidenciando un efecto significativamente superior al resto del tratamiento. Le siguió el bioformulado PGPR 15 L/ha (T2), con 2,13 kg, en cambio el control absoluto (T6) presentó el menor peso promedio con 1,00 kg, reflejando la importancia del manejo nutricional para maximizar el desarrollo del cultivo en *B. oleracea var. capitata*. El análisis de variabilidad de los datos mostró un coeficiente de variación de (CV) 16,17% (Figura 9).

Figura 6

Peso del col a la cosecha de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



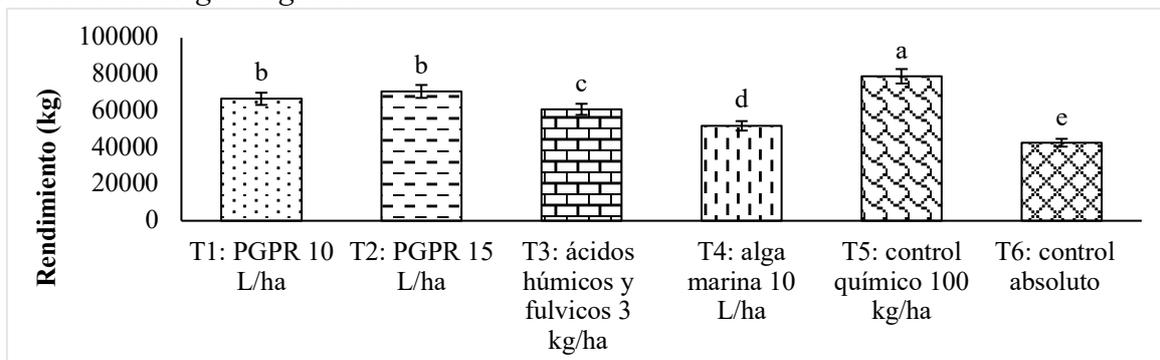
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Rendimiento (kg)

Los resultados del rendimiento reflejaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos aplicados, con un coeficiente de variación (CV) 2,31% (Anexo K). El control químico 100 kg/ha (T5) obtuvo mayor rendimiento con 78 985,92 kg/ha, seguido por el bioformulados PGPR 15 L/ha (T2) con 70 697,89 kg/ha y el bioformulado PGPR 10L/ha (T1) con 66 657,33 sin diferencias significativa entre ellos, siendo ambos inferiores al control químico. El control absoluto (T6) registro el valor más bajo, con un promedio de 42 654,60 estadísticamente inferior al resto de los tratamientos (Figura 11).

Figura 10

Rendimiento de B. oleracea var. capitata bajo el efecto de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico



Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales sobre la media la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos (Autores, 2025).

Análisis económico

El análisis económico evidenció que los tratamientos con bioformulados bacterianos mejoraron significativamente la rentabilidad del cultivo en comparación con el control absoluto (T6), donde no se aplicó ningún insumo. El tratamiento con PGPR a 15 L/ha (T2) alcanzó la mayor rentabilidad con 950,62 %, un beneficio neto de USD 11 514,37 y la relación beneficio/costo más alto del ensayo (10,51), lo que implica que por cada dólar invertido se generaron USD 10,51 de retorno. De manera similar, el control químico con fertilizante complejo (T5) obtuvo una rentabilidad de 908,55 %, con beneficio neto de USD 12 807,77 y una relación beneficio/costo de 10,09. En contraste, el control absoluto (T6) mostró la menor eficiencia económica, con una rentabilidad de 539,82 % y un beneficio neto de apenas USD 6 477,83, reflejando el impacto negativo de la ausencia de insumos en la rentabilidad del cultivo de *Brassica oleracea* var. *capitata*.

Tabla 1

Análisis económico de los tratamientos

Tratamientos	Rendimiento (kg/ha)	Ingreso bruto (\$)	Costo/tratamiento (\$)	Beneficio neto (\$)	Relación beneficio/costo	Rentabilidad
T1: bioformulados PGPR 10 L/ha	66 657,33	11 998,32	1 207,50	10 790,82	9,94	893,65
T2: bioformulados PGPR 15 L/ha	70 697,89	12 725,62	1 211,25	11 514,37	10,51	950,62
T3: ácido húmico y fúlvico 3 kg/ha	60 908,33	10 963,50	1 224,00	9 739,50	8,96	795,71
T4: alga marina 10 L/ha	51 887,41	9 339,73	1 470,00	7 869,73	6,35	535,36
T5: control químico 100 kg/ha	78 985,92	14 217,47	1 409,70	12 807,77	10,09	908,55
T6: control absoluto	42 654,60	7 677,83	1 200,00	6 477,83	6,40	539,82

Nota: (Autores, 2025).

Discusión

El uso de bioformulados bacterianos en la agricultura es ampliamente reconocido por su eficacia en el fortalecimiento del desarrollo morfológico y el incremento del rendimiento de los cultivos, constituyendo una estrategia sostenible que reduce la dependencia de

agroquímicos convencionales y contribuye a la protección ambiental. En este estudio se evaluaron diferentes dosis de bioformulados bacterianos y moléculas de origen orgánico en el cultivo de *Brassica oleracea* var. *capitata*.

En la fase inicial, el tratamiento con bioformulado PGPR 15 L/ha (T2) registró los mayores valores de germinación y emergencia, superando significativamente a los demás tratamientos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Macías-Holguín *et al.* (2023), quienes alcanzaron un 80% de germinación en papaya tratada con bioformulados bacterianos, y con Rocha *et al.* (2019), quienes demostraron que el recubrimiento de semillas con PGPR mejora de forma significativa las fases iniciales en hortalizas. De manera complementaria, Pedrini *et al.* (2017) destacaron la función de las PGPR como barrera protectora contra patógenos del suelo, lo que fortalece el establecimiento del cultivo. En arroz, se ha demostrado que la inoculación con *Pseudomonas* favorece la germinación y el establecimiento de plántulas mediante la síntesis de fitohormonas que estimulan la emergencia radicular, la elongación de brotes y un crecimiento vigoroso en etapas tempranas (Chakraborty *et al.*, 2024).

Durante la etapa vegetativa, el diámetro basal y la longitud de raíz fueron superiores en el tratamiento PGPR 15 L/ha (T2), lo cual evidencia la capacidad de estas bacterias para estimular la síntesis de auxinas y giberelinas que promueven la elongación celular y el desarrollo radicular. Resultados similares han sido reportados en balsa y melina en vivero tras la aplicación de *Pseudomonas* (Patiño *et al.*, 2020). Además, Posada Castaño *et al.* (2021) indicaron que la solubilización de fosfatos y la producción de ácido indolacético son mecanismos comunes y efectivos de las PGPR, confirmando su papel en la optimización del crecimiento y la arquitectura vegetal.

En cuanto a las variables foliares, como altura de planta y dimensiones de hoja, el control químico 100 kg/ha (T5) mostró los promedios más altos, atribuibles al aporte de micronutrientes como Zn, Mn y B presentes en el fertilizante (Vera-Maldonado *et al.*, 2024).

Sin embargo, los tratamientos con bioformulados PGPR (T1 y T2) alcanzaron valores comparables, superando a los tratamientos con ácidos húmicos y fúlvicos (T3) y alga marina (T4). Este efecto coincide con lo descrito por Lopes *et al.* (2021), quienes demostraron que los PGPR incrementan el número y tamaño de hojas al modular hormonas como giberelinas y citoquininas.

En la fase productiva, el control químico (T5) presentó los mayores valores de diámetro de cabeza, peso y rendimiento, seguido por los tratamientos con PGPR (T2 y T1), que superaron a los tratamientos orgánicos (T3 y T4) y al control absoluto (T6). Hallazgos similares se han reportado en trigo, con incrementos de rendimiento entre 9,6 y 23,3% tras inoculación con PGPR (Öksel *et al.*, 2022), en soja, donde se registraron aumentos significativos (Paulus y Tooy, 2024), y en brócoli, con rendimientos equivalentes a los obtenidos con manejo convencional (Ollio *et al.*, 2023). En hortalizas, Ikiz *et al.* (2024) demostraron que sustituir hasta el 80% del fertilizante mineral con PGPR mantiene el rendimiento y mejora la calidad nutricional en lechuga, mientras que en arroz cv. BRRI dhan 28, la aplicación de PGPR incrementó el número de granos por planta bajo condiciones naturales (Chakraborty *et al.*, 2024).

Desde el punto de vista económico, el control químico (T5) obtuvo alta rentabilidad y relación beneficio/costo, aunque el bioformulado PGPR 15 L/ha (T2) mostró un desempeño equivalente, alcanzando la mayor rentabilidad del estudio. Singh *et al.* (2017) reportaron resultados similares en lentejas al combinar PGPR con fósforo, mientras que Yang *et al.* (2024) señalaron que, a pesar de su mayor costo inicial, los biofertilizantes reducen el uso de insumos químicos y mejoran la rentabilidad neta a largo plazo. Estos resultados evidencian que la adopción de PGPR representa una alternativa viable para los agricultores, al aportar beneficios tanto productivos como económicos, en coherencia con los principios de la agricultura sostenible.

Conclusión

La aplicación de moléculas orgánicas y bioformulados bacterianos influyó de manera significativa en el desempeño agronómico de *Brassica oleracea* var. *capitata*, evidenciándose un efecto positivo en la germinación, emergencia, crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo. Los tratamientos con PGPR demostraron un alto potencial para favorecer la disponibilidad de nutrientes y estimular procesos fisiológicos clave, alcanzando resultados comparables al manejo químico convencional en variables productivas como diámetro y peso de la cabeza. Además, el análisis económico confirmó que los bioformulados bacterianos constituyen una estrategia rentable y sostenible, ofreciendo una alternativa viable para optimizar tanto la productividad como la rentabilidad del cultivo, en concordancia con los principios de una agricultura más sostenible y menos dependiente de insumos químicos.

Referencias bibliográficas

- Chakraborty, S., Islam, M. M., & Khokon, M. A. R. (2024). Field performance assessment of formulated *Pseudomonas fluorescens* for enhancing plant growth and inducing resistance against rice blast disease. *Journal of King Saud University - Science*, 36(6), 103228. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103228>
- Crespo Ávila, J. A., Carranza Cárdenas, C. C., Cedeño Moreira, A. V., Vera Benites, L. F., & Chevez Villanueva, M. S. (2024). Actividad antagonista de PGPR en nematodo fitoparásito *Pratylenchus* spp. en *Musa paradisiaca* (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*) vc Cavendish. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 8(24), 717-728. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.297>
- Ikiz, B., Dasgan, H. Y., & Gruda, N. S. (2024). Utilizing the power of plant growth promoting rhizobacteria on reducing mineral fertilizer, improved yield, and nutritional quality of Batavia lettuce in a floating culture. *Scientific Reports*, 14(1), 1616. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51818-w>
- Lopes, M. J. dos S., Dias-Filho, M. B., & Gurgel, E. S. C. (2021). Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>
- Lugmania Paillacho, M. C. (2020). *Determinación del efecto de la aplicación de Bacillus subtilis a tres dosis y tres frecuencias sobre la productividad de la remolacha*. Quito: Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>

- Macías-Holguín, C. J., Canchignia-Martínez, H. F., Delgado-Basurto, V. D., Paucar-Nieto, F. P., Arellano-Ibarra, K. V., & Cedeño-Moreira, Á. V. (2023). Efectos de la co-inoculación de bioformulados (PGPRs) sobre el porcentaje de germinación y promoción del crecimiento en plántula de papaya (*Carica papaya* L.). *Manglar*, 20(2), 149-155. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.017>
- Mishra, I., Fatima, T., Egamberdieva, D., & Arora, N. K. (2020). Novel bioformulations developed from *Pseudomonas putida* BSP9 and its biosurfactant for growth promotion of *Brassica juncea* (L.). *Plants*, 9(10), 1349. <https://doi.org/10.3390/plants9101349>
- Öksel, C., Balkan, A., Bilgin, O., Mirik, M., & Başer, İ. (2022). Investigation of the effect of PGPR on yield and some yield components in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 27(1), 127-133. <https://doi.org/10.17557/tjfc.1019160>
- Ollio, I., Santás-Miguel, V., Gómez, D. S., Lloret, E., Sánchez-Navarro, V., Martínez-Martínez, S., Egea-Gilabert, C., Fernández, J. A., Calviño, D. F., & Zornoza, R. (2023). Effect of biofertilizers on broccoli yield and soil quality indicators. *Horticulturae*, 10(1), 42. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010042>
- Ordoñez-Beltrán, V., Frías-Moreno, M. N., Parra-Acosta, H., & Martínez-Tapia, M. E. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Revista de Toxicología*, 36(2), 148-153.
- Ortiz, A. A., Arboleda, Z. E., & Medina, S. M. (2021). Calidad bromatológica del pasto kikuyo en respuesta a la inoculación con hongos micorrícicos y fertilización química. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3). <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.17645>
- Patiño, M. S. C., López, M. A. V., Muñoz, V. A. T., & Martínez, H. F. C. (2020). Potencial empleo de bioformulados de PGPRs en el proceso de germinación y desarrollo de balsa y melina en vivero. *Centrosur Agraria*. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/188>
- Paulus, J. M., & Tooy, D. (2024). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth and yield of soybean. *Journal of Agriculture*, 3(1), 30-38. <https://doi.org/10.47709/joa.v3i01.3613>
- Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, 22(2), 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- Posada Castaño, A. M., Mejía Durango, D. P., Polanco-Echeverry, D., & Cardona-Arias, J. A. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161-178. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>
- Rocha, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Vosátka, M., Freitas, H., & Oliveira, R. S. (2019). Seed coating: A tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1357. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01357>
- Šerá, B. (2023). Methodological contribution on seed germination and seedling initial growth tests in wild plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), 13164. <https://doi.org/10.15835/nbha51213164>
- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I.,

- Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: Un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el Estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>
- Singh, N., Singh, G., & Aggarwal, N. (2017). Análisis económico de la aplicación de fósforo, inoculación simple y doble de Rhizobium y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en lenteja (*Lens culinaris* Medikus). *Revista [Nombre del journal faltante]*, 9(2), 1008-1011.
- Sriwati, R., Chamzurn, T., Soesanto, L., & Munazhirah, M. (2019). Field application of *Trichoderma* suspension to control cacao pod rot (*Phytophthora palmivora*). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 41(1), 175-182. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i1.2146>
- Vassileva, M., Malusà, E., Sas-Paszt, L., Trzcinski, P., Galvez, A., Flor-Peregrin, E., Shilev, S., Canfora, L., Mocali, S., & Vassilev, N. (2021). Fermentation strategies to improve soil bio-inoculant production and quality. *Microorganisms*, 9(6), 1254. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061254>
- Vera-Maldonado, P., Aquea, F., Reyes-Díaz, M., Cárcamo-Fincheira, P., Soto-Cerda, B., Nunes-Nesi, A., & Inostroza-Blancheteau, C. (2024). Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1332459. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1332459>
- Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to advance sustainable agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434-451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>