

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta Agronómica de Tres Variedades de Cilantro a la Aplicación de  
Biofertilizantes en Campo Abierto

Por:

**YULEIDY MARTÍNEZ JERÓNIMO**

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta Agronómica de Tres Variedades de Cilantro a la Aplicación de  
Biofertilizantes en Campo Abierto

Por:

**YULEIDY MARTÍNEZ JERÓNIMO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



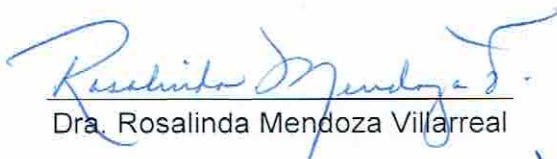
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor Principal



M.C. Raúl Alejandro Ramos Salazar

Asesor Principal Externo




Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor



Dra. Laura Raquel Luna García

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División De Agronomía



## DECLARACION DE NO PLAGIO

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos; ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Yuleidy Martínez

**Yuleidy Martínez Jerónimo**

Nombre y firma

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI ALMA TERRA MATER**

Gracias por permitirme convertirme en un ser profesional, a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.

A los maestros investigadores, que, en su momento, me brindaron el apoyo depositando su confianza y amistad para la realización de la presente tesis:

**Dr. Alberto Sandoval Rangel**

**MC. Raúl Alejandro Ramos Salazar**

Al departamento de **Horticultura** por la oportunidad, facilidades y confianza que en mi depositaron para la realización de esta investigación.

Al ingeniero **Moisés A. Limeta Aquino**, quien con su guía y apoyo constante me brindo la confianza para afrontar nuevos retos. Su conocimiento, paciencia y disposición para compartir su experiencia. Gracias a todo el equipo de FIRA por la calidez, el apoyo y la oportunidad de formar parte de su entorno profesional.

## **DEDICATORIAS**

A ti mi **DIOS** que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

A MIS PADRES: Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme un hogar donde crecer y por sus valores, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

Por todo el amor y confianza que me brindaron siempre, que me han alentado a seguir adelante hasta en los momentos más difíciles a ellos, este presente con todo mi Amor y Respeto. Los quiero con todo mi corazón.

**Sr. Filemón Martínez Hernández**

**Sra. Yolanda Gerónimo Gerón**

A MIS HERMANAS (O): por el apoyo y confianza que siempre me brindaron y han depositado en mí, con todo Amor y Cariño:

**A. Yamileth Martínez Gerónimo**

**Alma Delia Martínez Gerónimo**

**Yovani Martínez Gerónimo**

†EN MEMORIA DE MIS ABUELOS†

A MI ABUELA: ¡Tíos y demás familiares de todo corazón... Gracias!

A MI CUÑADO: agradezco por darme el apoyo de padre y por los consejos.

A MIS SOBRINOS: desde el primer día que los vi, supe que ustedes serian una parte importante en mi vida.

A MI ESPOSO: agradezco infinitamente por el amor incondicional, por la paciencia, comprensión y sacrificio ha sido invaluable, por el apoyo que me brindaste.

**Elpidio Bautista Cortes**

A MI HIJO: por su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que ha impulsado para lograr esta meta.

**File Yuel Bautista Martínez**

A MIS AMIGAS: por su comprensión y confianza, por su amor y amistad incondicional muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes.

**C. Berenice Martínez Torres**

**Edith Muñoz Pérez**

**Ana Daniela Medina Robles**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACION DE NO PLAGIO .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos .....	2
Hipótesis .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Importancia del cultivo .....	3
2.2 Producción mundial.....	3
2.3 Producción nacional.....	4
2.4 Aspectos generales del cultivo .....	5
2.4.1 Taxonomía del cultivo.....	5
2.4.2 Fisiología del cultivo.....	6
2.4.3 Fenología del cultivo .....	6
2.4.4 Requerimientos edafoclimatológicos.....	7
2.5 Manejo agronómico del cultivo .....	8
2.5.1 Requerimientos nutricionales .....	8
2.5.2 Labores culturales .....	9
2.6 Biofertilizantes en la agricultura.....	9
2.6.1 Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal .....	10
2.6.2 Lixiviado de lombricomposta .....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1 Ubicación del experimento.....	12
3.2 Material genético.....	12
3.3 Manejo agronómico.....	12
3.4 Diseño experimental.....	12
3.5 Variables evaluadas .....	13

3.6 Análisis estadístico .....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	43

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Índice de correlación de Spearman de las variables evaluadas en tres variedades de cilantro. ....	40
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Gráfica 1.</b> Comparación del número de hojas ante la aplicación de biofertilizantes. ...	15
<b>Gráfica 2.</b> Comparación del número de hojas por variedades.....	16
<b>Gráfica 3.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el número de hojas. ....	16
<b>Gráfica 4.</b> Comparación del número de macollos ante la aplicación de biofertilizantes. ....	17
<b>Gráfica 5.</b> Comparación del número de macollos por variedades.....	18
<b>Gráfica 6.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el número de macollos. ....	18
<b>Gráfica 7.</b> Comparación del número de hojas por macollo ante la aplicación de biofertilizantes. ....	19
<b>Gráfica 8.</b> Comparación del número de hojas por macollo por variedades. ....	19
<b>Gráfica 9.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el número de hojas por macollo.....	20
<b>Gráfica 10.</b> Comparación de la altura ante la aplicación de biofertilizantes. ....	21
<b>Gráfica 11.</b> Comparación de la altura por variedades. ....	22
<b>Gráfica 12.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en la altura.....	22
<b>Gráfica 13.</b> Comparación de la biomasa fresca foliar ante la aplicación de biofertilizantes. ....	23
<b>Gráfica 14.</b> Comparación de la biomasa fresca foliar por variedades. ....	24
<b>Gráfica 15.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa fresca foliar. ...	24
<b>Gráfica 16.</b> Comparación de la biomasa seca foliar ante la aplicación de biofertilizantes. ....	25
<b>Gráfica 17.</b> Comparación de la biomasa seca foliar por variedades.....	25
<b>Gráfica 18.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa seca foliar. ....	26
<b>Gráfica 19.</b> Comparación del contenido índice de materia seca ante la aplicación de biofertilizantes. ....	27
<b>Gráfica 20.</b> Comparación del contenido de materia seca foliar por variedades.....	28
<b>Gráfica 21.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el contenido de materia seca foliar. ....	28
<b>Gráfica 22.</b> Comparación de la biomasa fresca radicular ante la aplicación de biofertilizantes. ....	29

<b>Gráfica 23.</b> Comparación de la biomasa fresca radicular por variedades.....	30
<b>Gráfica 24.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa fresca radicular. .....	30
<b>Gráfica 25.</b> Comparación de la biomasa seca radicular ante la aplicación de biofertilizantes. ....	31
<b>Gráfica 26.</b> Comparación de la biomasa seca radicular por variedades.....	31
<b>Gráfica 27.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa seca radicular. .....	32
<b>Gráfica 28.</b> Comparación del contenido de materia seca radicular ante la aplicación de biofertilizantes. ....	33
<b>Gráfica 29.</b> Comparación del contenido de materia seca radicular por variedades. ....	33
<b>Gráfica 30.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el contenido de materia seca radicular.....	34
<b>Gráfica 31.</b> Comparación del área foliar unitaria ante la aplicación de biofertilizantes.	35
<b>Gráfica 32.</b> Comparación del área foliar unitaria por variedades. ....	36
<b>Gráfica 33.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el área foliar unitaria. ....	37
<b>Gráfica 34.</b> Comparación del área foliar total ante la aplicación de biofertilizantes. ....	37
<b>Gráfica 35.</b> Comparación del área foliar total por variedades. ....	38
<b>Gráfica 36.</b> Interacción entre tratamientos y variedades en el área foliar total. ....	39



## RESUMEN

El cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hierba aromática popular en gastronomía y medicina, aunque enfrenta desafíos ambientales y económicos por el excesivo uso de fertilizantes químicos convencionales, por lo que el uso de biofertilizantes es una alternativa prometedora. Este estudio evaluó el efecto de biofertilizantes en tres híbridos de cilantro (California, Lider Star y Long Standing) en condiciones de campo abierto en Buenavista, Saltillo, Coahuila, con una solución Hoagland al 50% aplicada vía fertirriego. Se utilizó un diseño parcelas divididas en bloques completos al azar (BCA) con cinco bloques y tres plantas por repetición, considerando el híbrido de cilantro como parcela grande y como parcela chica los tratamientos de biofertilizantes: un testigo (BlauKorn de CompoExpert), combinaciones de *Bacillus sp.*, *B. cereus*, *B. licheniformis*, y un lixiviado de lombricomposta, aplicados dos semanas después de la siembra. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ) en Infostat v. 2020, además de un análisis de correlación de Spearman. No se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas, indicando que los biofertilizantes no generaron un impacto estadísticamente relevante en el crecimiento total del cilantro. Sin embargo, los tratamientos BS + BC y BC + BL aumentaron el área foliar por hoja en comparación con el testigo, sugiriendo que ciertas combinaciones de *Bacillus spp.* pueden mejorar la expansión foliar unitaria sin afectar el área foliar total. Además, hubo correlaciones positivas significativas entre biomasa fresca y seca en las partes foliar y radicular, indicando un desarrollo balanceado entre ambas secciones de la planta. El uso de biofertilizantes bajo estas condiciones tiene un efecto limitado en el crecimiento general del cilantro, ya que aunque algunas combinaciones de *Bacillus* aumentaron el área foliar por hoja, no impactaron significativamente el rendimiento total en biomasa.

**Palabras clave:** *Bacillus*, *Coriandrum sativum*, Lixiviado de lombricomposta, PGPR.

## ABSTRACT

Coriander (*Coriandrum sativum*) is an aromatic herb widely used in gastronomy and medicine, although it faces environmental and economic challenges due to the excessive use of conventional chemical fertilizers. Therefore, the use of biofertilizers represents a promising alternative. This study evaluated the effect of biofertilizers on three coriander hybrids (California, Lider Star, and Long Standing) under open-field conditions in Buenavista, Saltillo, Coahuila, using a 50% Hoagland solution applied through fertigation. A split-plot randomized complete block design (RCBD) with five blocks and three plants per replicate was used, considering the coriander hybrid as the main plot and the biofertilizer treatments as the subplots. The treatments included a control (Blaukorn from CompoExpert), combinations of *Bacillus* sp., *B. cereus*, *B. licheniformis*, and a vermicompost leachate, applied two weeks after sowing. Data were analyzed using ANOVA and Fisher's LSD test ( $p \leq 0.05$ ) in Infostat v. 2020, along with a Spearman correlation analysis. No significant differences were found in most of the evaluated variables, indicating that biofertilizers did not produce a statistically relevant impact on the overall growth of cilantro. However, the treatments BS + BC and BC + BL increased the leaf area per leaf compared to the control, suggesting that certain *Bacillus* spp. combinations may enhance individual leaf expansion without affecting the total leaf area. Additionally, there were significant positive correlations between fresh and dry biomass in both foliar and root parts, indicating balanced development between these plant sections. Under these conditions, the use of biofertilizers had a limited effect on the overall growth of cilantro, as although some *Bacillus* combinations increased leaf area per leaf, they did not significantly impact total biomass yield.

**Keywords:** *Bacillus*, *Coriandrum sativum*, vermicompost leachate, PGPR.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta una serie de desafíos ambientales y productivos que ponen en riesgo la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de producción. Desde la segunda mitad del siglo XX, el uso de fertilizantes químicos ha sido una importante herramienta para aumentar los rendimientos agrícolas, contribuyendo a la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, esta intensificación de la producción ha traído consecuencias negativas, como la degradación del suelo, la contaminación de cuerpos de agua y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Fasusi *et al*, 2021; Nosheen *et al.*, 2021). Por otro lado, el cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hortaliza de hoja ampliamente cultivada y consumida en diversas regiones del mundo. Su producción enfrenta desafíos relacionados con la fertilización y la gestión sostenible del suelo (Filintas *et al*, 2023).

Esto hace necesario buscar alternativas más sostenibles que no solo garanticen una producción eficiente, sino que también protejan y restauren la salud del suelo y los ecosistemas agrícolas. Una de las estrategias más prometedoras es el uso de biofertilizantes, los cuales aportan nutrientes a las plantas de forma natural y fomentan la actividad biológica del suelo. Los biofertilizantes, en lugar de añadir nutrientes de forma directa, funcionan como mediadores que mejoran la disponibilidad y asimilación de nutrientes en el suelo a través de la actividad microbiana, promoviendo un desarrollo equilibrado y saludable de los cultivos (Nosheen *et al*, 2021).

Entre los biofertilizantes, destacan las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), un grupo de microorganismos beneficiosos que incluyen géneros como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*, entre otros. Las PGPR son capaces de colonizar las raíces de las plantas y de interactuar positivamente con ellas mediante la producción de fitohormonas, la solubilización de fosfatos y la fijación de nitrógeno, entre otros mecanismos (Vejan *et al.*, 2016). Además de las rizobacterias, los lixiviados de lombricomposta también han ganado popularidad en la agricultura sostenible por su capacidad para mejorar la estructura y fertilidad del suelo. El lixiviado de lombricomposta es un subproducto del proceso

de descomposición de la materia orgánica, en el cual participan lombrices y otros microorganismos. Este producto contiene una alta concentración de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y nutrientes esenciales que son fácilmente asimilables por las plantas (Oyege & Balaji Bhaskar, 2023). Su aplicación en el suelo no solo aporta nutrientes, sino que también incrementa la actividad microbiana, lo que contribuye a la descomposición de la materia orgánica y a la mejora de la estructura del suelo, aumentando la retención de agua y la aireación del mismo (Gan *et al.*, 2023).

Debido a lo anterior expuesto, la presente investigación se propone lo siguiente:

### **Objetivos**

Evaluar las características agronómicas de tres variedades de cilantro ante la inoculación de 2 tipos de biofertilizantes.

### **Hipótesis**

Al menos un biofertilizante mejorará los caracteres agronómicos de alguna variedad de cilantro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del cultivo

El cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum*) es una planta de ciclo anual la cual se ha integrado a la dieta humana debido a sus propiedades aromáticas, nutricionales y medicinales (Mandal & Mandal, 2015; McAusland *et al.*, 2020).

Aunque no se ha definido su origen, existen diversas opiniones acerca de la región donde se han encontrado los primeros indicios de su uso, así, se tiene como probables áreas geográficas donde el cultivo pudo haber surgido, el Cercano Oriente y/o Asia central y países mediterráneos (Diederichsen, 1996; Laribi *et al.*, 2015; Balasubramanian *et al.* 2011). Se han encontrado restos del cultivo como semillas en tumbas egipcias que datan de hace 3000 años, lo que permite observar la importancia de esta especia en los rituales y cultura desde sus orígenes (Holland *et al.*, 1991).

Actualmente el cultivo se produce en alrededor de 12 países de manera comercial siendo fuente de ingresos y parte importante en su gastronomía e industria (USDA, 2021). La versatilidad del cultivo y su diversidad genética, la cual comprende variedades silvestres, permite su explotación para consumo en fresco (Rosero-Gómez *et al.*, 2020) como para el aprovechamiento de sus aceites esenciales como recubrimientos (Kačániová, 2020), del mismo modo, sus compuestos fotoquímicos (polifenoles, vitaminas y fitoesteroles) aportan propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, antidiabéticos, analgésicos y cardiovasculares (Najibah, 2022).

### 2.2 Producción mundial

La producción de cilantro para su consumo en fresco, como hojas secas, especia o parte de la cocina tradicional es conocido en diversas regiones (Nejad Ebrahimi *et al.*, 2010). Sin embargo, a nivel mundial, es el uso de su fruto (semilla) lo que se emplea en mayor medida. Dicha semilla se emplea en la extracción de aceites esenciales y ácidos grasos, mercado en el cual destacan únicamente menos de 60 especies cultivadas con un rendimiento mayor a una tonelada anual. En este selecto grupo están incluidas las apiáceas entre las que se encuentra el cilantro. En el 2005, el cilantro presentó su mayor volumen de

producción anual con 70 ton y un valor de 49, 700,000 dólares (Gholizadeh, 2021).

Los números globales en la actualidad han sufrido modificaciones en cuanto al flujo de producción, importaciones y exportaciones. De acuerdo con la plataforma Tridge (2024), para el año 2021 los principales países productores fueron: India con 1, 890,000 toneladas, seguido de Turquía con 346,900 toneladas, México con 138, 100 toneladas, Rusia con 90, 300 toneladas e Irán con 61,700 toneladas.

En 2023, de acuerdo a la misma plataforma, se reportaron importaciones globales por un valor de 182.29 millones de dólares, con una reducción del 14.10% respecto del año anterior, siendo los principales importadores: China con 38.3 millones de dólares, Malasia con 18.7 millones, India con 18.2 millones, Egipto con 18.1 millones y Pakistán con 13.9 millones de dólares. En tanto que el valor de exportación para el mismo periodo fue de 175.54 millones de dólares, con un incremento del 12.46% respecto del año anterior. Así, los países que más exportaron cilantro fueron: India con 95.9 millones de dólares, Italia con 27.5 millones, Bulgaria con 15.5 millones, España con 4.7 millones y Canadá con 3.9 millones de dólares.

### **2.3 Producción nacional**

La producción nacional de cilantro colocó a México como el tercer productor mundial de esta hortaliza, con un volumen de producción de 138,100 toneladas (TRIDGE, 2024), por otro lado, SIAP (2024) reporta una superficie cosechada para ese año de 7,704.29 hectáreas, generando un valor global de la producción en moneda nacional de \$756,167,590.

Internamente la producción de cilantro se concentra en 4 estados cuyo valor de la producción en pesos mexicanos está por encima del 6% para cada estado, así, Baja California aporta el 39.41% del valor de la producción con \$298,040,070, mientras que Puebla participa con el 31.63% equivalente a \$239,216,450, por su parte Sonora participa con el 6.84% del valor de la producción nacional (\$51,759,830) en tanto que Aguascalientes aporta el 4.95% (\$37,457,300). El restante 17.17% lo aportan el resto de los estados (SIAP, 2024).

Respecto a la superficie sembrada, Puebla participa con una superficie de 3,536.55 hectáreas (45.86%), seguido de Baja California con 1,531 hectáreas (19.85%) y Aguascalientes con 652 hectáreas (8.45%), el resto corresponde a los demás estados (25.81%). Del mismo modo, para el rendimiento promedio por hectárea, se observa una variación entre las diversas zonas productoras, de tal manera que los rendimientos más altos se han obtenido en Quintana Roo con 36.44 toneladas por hectárea, mientras que los más bajos se han reportado en Tabasco con 1.96 toneladas por hectárea (SIAP, 2024).

El precio medio rural (PMR) también es variable y determina en gran medida en valor de la producción, de esta manera, el mejor precio pagado al productor se obtuvo en Baja California con un PMR de \$11,996.44 por tonelada, mientras que el PMR mínimo se dio en Tabasco con \$2,071.94 por tonelada de cilantro (SIAP, 2024).

## **2.4 Aspectos generales del cultivo**

### **2.4.1 Taxonomía del cultivo**

La clasificación taxonómica del cultivo de cilantro es como sigue (Vallejo & Estrada, 2004):

- Reino: Plantae.
- División: Magnoliophyta.
- Clase: Magnoliopsida.
- Orden: Apiales.
- Familia: Apiaceae (Umbelliferae).
- Género: *Coriandrum*
- Especie: *sativum*
- Nombre científico: *Coriandrum sativum*

La especie *sativum* tiene un rango de distribución amplio y su taxonomía formal distingue 3 subespecies y 10 variedades botánicas, esta clasificación intraespecífica se basa en descripciones morfológicas, forma de la hoja, flor, etc. (Diederichsen & Hammer, 2003)

- *sativum*

- *sativum*
- *africanum* Stolet.
- *microcarpum* DC.
  - *microcarpum* (DC.) Hegi
  - *asiaticum* Stolet
  - *syriacum* Diederichsen
  - *vavilovii* (Stolet.) Diederichsen
- *indicum* Stolet.
  - *indicum* Stolet. Ex Diederichsen
  - *bhutanense* Diederichsen
  - *omanense* Diederichsen
  - *pygmaeum* Stolet. Ex Diederichsen

#### **2.4.2 Fisiología del cultivo**

La planta de cilantro crece de forma herbácea, es de germinación epigea, es decir que los cotiledones emergen sobre el suelo, su raíz es fasciculada y presenta raíz secundaria. Su tallo es semirrecto y presenta una conformación simpodial caracterizada por presentar brotes concrecentes unidos al tallo principal por la lígula, el tallo presenta una coloración verde y en algunos casos se torna violácea en etapa de floración (Vallejo & Estrada, 2004)

Cuando la planta es adulta las hojas más alargadas se bifurcan en ramas y sub ramas (Khan *et al.*, 2014). Las flores son de color blanquecino, con 5 pétalos en forma de umbela, son flores compuestas y terminales, el proceso de floración dura de 2 a 3 semanas (Kassahun *et al.*, 2018).

El fruto es globular, con mericarpos unidos por sus márgenes los cuales forman un cremocarpo de 2-4 mm de diámetro, en ocasiones está coronado por restos de sépalos (Bairwa *et al.*, 2017).

#### **2.4.3 Fenología del cultivo**

De acuerdo con Curioni (1995), pueden identificarse tres etapas fenológicas en el cultivo de cilantro, las cuales se nombran como implantación, vegetativa y reproductiva, con algunas subetapas en cada una. Por ejemplo, la etapa de implantación, se compone de la germinación y emergencia. En la etapa vegetativa se presentan las subetapas de formación de rosetas, elongación de



tallo floral y finaliza con la emisión del primer botón floral. En la etapa reproductiva se observan las subetapas de floración y fructificación.

Cada etapa y subetapa puede variar en su duración en función de las condiciones climatológicas.

La etapa de implantación se caracteriza por la germinación de la semilla y la emergencia de las plántulas por encima del sustrato o suelo, culminando con la emisión de las primeras hojas cotiledonares (Mondino & Garay, 2000). Para esta etapa, Curioni & Arizio (1997) sugieren un periodo de 8-10 días, pudiéndose extender hasta 20 días. Mientras que algunos estudios reportan que pueden durar de 4 a 17 días (Luayza et al., 1994).

La etapa de roseta se caracteriza por el desarrollo de una gran cantidad de hojas que se acumulan de forma circundante al tallo principal. En este periodo las hojas desarrolladas presentan un peciolo de gran tamaño, las hojas son pinatisectas, con segmentos ovales cuneados. Sin embargo, al iniciar la subetapa de alargamiento del tallo, las primeras hojas desaparecen y en su lugar van apareciendo otro tipo de hojas, bi-tripinadas, con segmentos agudos y vainas que envuelven el tallo (Curioni & Arizio, 1997). La subetapa de roseta puede durar de 28 a 79 días mientras que la elongación del tallo hasta 63 días ((Mondino & Garay, 2000), esta duración está determinada por la fecha de siembra, lo que se relaciona directamente con la temperatura y horas luz.

La etapa reproductiva inicia con la apertura de la inflorescencia del tallo principal, continuando con la floración de las demás ubicadas en los extremos. Una vez que se llevó a cabo la floración, la fructificación es notoria a los 7 días, con un fruto aun verde. En total, esta etapa desde floración hasta madurez del fruto puede tardar de 40 a 43 días (Mondino & Garay, 2000).

#### **2.4.4 Requerimientos edafoclimatológicos**

De acuerdo con UNIDO/FAO (2005), el cultivo de cilantro se adapta desde los climas templados hasta subtropicales. Tolera muy bien diversos tipos de suelo, siendo fundamental la disposición de riego eficiente, sin embargo, se obtienen mejores resultados en suelos medianamente ligeros a pesados, con

buen drenaje (Macvey *et al.*, 1991; Verma *et al.*, 2011). El cultivo se adapta a un rango de pH de 4.5 a 8, con un óptimo 6.3 (Blade *et al.*, 2016).

Aunque las temperaturas altas no generan problemas para su desarrollo, durante la etapa de germinación se obtienen buenos resultados con una temperatura de 20-25 °C. El mismo rango de temperatura es óptimo para el crecimiento temprano (Sharma y Sharma, 2004). Una temperatura de 10-30 °C es óptima para la producción de follaje y una temperatura durante la etapa de crecimiento cercana a 18 °C es óptima para la producción de semillas (Blade *et al.*, 2016).

## **2.5 Manejo agronómico del cultivo**

### **2.5.1 Requerimientos nutricionales**

La fertilización a aplicar debe aportar el total de macro y microelementos considerados para una planta normal y debe ser incorporada antes de la siembra, así en un campo cuyo rendimiento promedio es de 20 ton ha, la extracción y por ende el aporte a considerar de NPK es de, 100 kg de N, 30 k de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 70 kg de K<sub>2</sub>O. Del mismo modo, las aplicaciones foliares de nitrato de potasio a dosis de 3 g L<sup>-1</sup> al inicio de la tercera semana después de emergencia y dos veces por semana, han dado excelentes resultados (Vallejo & Estrada, 2004).

Aunque el aporte mineral suele estar condicionado por la calidad y contenido mineral de agua y suelo, así como de la variedad establecida, esta deberá ser balanceada asegurando un aporte de macro y micro nutrientes. El cultivo presenta una bajademanda nutrimental durante los primeros 20 días después de la siembra (DDS), sin embargo, después de esta etapa hasta la cosecha el aporte debe ser constante. De esta manera, para un rendimiento de 24 ton ha, y una densidad de 570,000 plantas por ha, se requiere un aporte por hectárea de: 150 kg de N, 50 kg de P, 280 kg de K, 60 kg de Ca, 16 kg de Mg, 6.5 kg de S, 2 kg de Fe, 1.5 kg de Zn, 0.8 kg de Mn, 0.25 kg de Cu, 0.15 de B y 0.07 de Mo (Intagri, 2021).

En esquemas de manejo hidropónico o de fertirriego se han utilizado soluciones nutritivas adecuadas de acuerdo a los genotipos, así, Cruz-Crespo *et*

*al.*, (2017) reporta el uso de una solución nutritiva con los siguientes requerimientos de solución: Potencial osmótico: 0.054 MPa, NO<sub>3</sub>: 9 mEq L, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 0.75 mEq L, SO<sub>4</sub>: 5.25 mEq L, Ca<sup>2+</sup>: 6.75 mEq L, Mg<sup>2+</sup>: 3 mEq L, K<sup>+</sup>: 5.25 mEq L, y C: 1.52 dS m. A nivel experimental se ha empleado la solución de Steiner (1981) para la mayoría de los cultivos, sin embargo, en algunos casos, la solución de Hoagland (1933) compuesta por NH<sub>4</sub>: 1 mEq L, K: 6 mEq L, Ca: 6 mEq L, Mg: 2 mEq L, NO<sub>3</sub>: 14 mEq L, SO<sub>4</sub>: 3 mEq L, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 1 mEq L además de los microelementos bajo las siguientes cantidades: Mn: 0.5 mg L, Zn: 0.05 mg L, B: 0.5 mg L, Cu: 0.02 mg L, Mo: 0.01 mg L.

### **2.5.2 Labores culturales**

Las principales labores del cultivo de cilantro son las comunes a la mayoría de los cultivos cíclicos, se comienza con la siembra directa, la cual debe realizarse de forma directa a una profundidad de 2 a 5 cm. Se emplean camas o en terreno plano bien mullido, puede realizarse mediante mateado en tres bolillos, a una separación de 25 cm entre plantas e hilera, el otro método de siembra es en chorrillo a doble hilera a una distancia entre hilos de 20-30 cm.

Es recomendable para el control de malezas la aplicación de dos escardas, a los 35 y 42 días después de la siembra. Del mismo modo se recomienda la aplicación de 4 aporques a los 21, 26, 50 y 61 días después de la siembra, estos aporques pueden ayudar a cubrir el fertilizante aplicado en caso de llevar una nutrición mineral granulada.

Respecto al aporte hídrico, se sugiere el uso de tensiómetros para la aplicación eficiente de estos. Una programación generalizada de riegos sugiere la aplicación de 1 riego al momento de la siembra, luego riegos ligeros cada 5-6 días y posteriormente 1 riego semanal hasta completar un total de 6 a 11 riegos por ciclo. Una lámina de riego de 350 mm ha dado buenos resultados en rendimiento (INTAGRI, 2021)

## **2.6 Biofertilizantes en la agricultura**

De acuerdo con SAGARPA (2013), los biofertilizantes agrupan al conjunto de microorganismos cuya utilización y aplicación en campo permite observar mejoras en el crecimiento del cultivo, SAGARPA (2013) mediante una definición más técnica, afirma que estos son productos tecnológicos elaborados que

contienen microorganismos benéficos que promueven el crecimiento de las plantas y que les pueden proporcionar nutrientes.

El uso de biofertilizantes en México se incrementó en el año 2000 debido a políticas públicas que promovieron su uso, sin embargo, el término biofertilizante obedeció en origen a una estrategia para el registro de cepas a nivel comercial. Aunque en la actualidad muchos de los productos no cumplen con la definición establecida, se distinguen 4 grupos importantes de biofertilizantes: a) microorganismos fijadores de nitrógeno, b) microorganismos para absorción de agua y nutrientes, c) microorganismos solubilizadores y d) microorganismos antagonistas de patógenos (Aguado Santacruz, 2015).

Se ha observado que el manejo nutricional con biofertilización, genera buena respuesta del cilantro a la adición de materia orgánica, así como de bacterias y hongos micorrízicos arbusculares, como *A. chroococcum*, *B. megatherium* var. *phosphaticum*, *B. circulans* (Ali et al., 2023).

### **2.6.1 Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal**

El término Rizobacterias Promotoras De Crecimiento Vegetal (RPCV) o *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) se empleó por primera vez por J. W. Kloepper & M. N. Schroth en 1978, para describir al conjunto de bacterias presentes en la zona de la rizósfera y suelo que circunda esta área. Estos microorganismos tienen como principal característica que poseen actividades beneficiosas para el desarrollo de la planta (Labra-Cardón et al., 2012).

Dentro del grupo RPCV se encuentran *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcous*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Serratia* (Ahemat y Kibret, 2013)

Las RPCV pueden afectar positivamente el crecimiento de la planta mediante mecanismos que actúan de forma directa o indirecta sobre el ecosistema de la rizósfera, así, las bacterias que actúan por mecanismos directos son aquellas que mediante sus procesos metabólicos incrementan la disponibilidad de algún mineral por medio de la solubilización de estos o

mediante la generación de metabolitos secundario, como los ácidos orgánicos (Gómez-Luna *et al.*, 2012). Por otro lado, la producción de enzimas líticas, sustancias antimicrobianas y/o antibióticas que afecten la proliferación de microorganismos fitopatógenos, así como la competencia por espacio y nutrientes de la zona de la rizósfera se considera como un mecanismo indirecto de las RPCV (Esquivel-Cote *et al.*, 2013).

Se ha observado un incremento en altura de planta, peso seco, diámetro de tallo y biomasa mediante la aplicación de algunas cepas de Rizobacterias PGPR como *Burkholderia cepacia* (A05, A06), *Agrobacterium deltaense* (A13), *Pseudomonas plecoglossicida* (A39), *Paenarthrobacter aurescens* (A45) y *Stenotrophomonas pavanii* (A64) en cilantro (Amzeri *et al.*, 2022).

### **2.6.2 Lixiviado de lombricomposta**

Se denomina lombricompostaje al proceso de compostaje en el que se emplean lombrices para llevar a cabo la maduración y degradación de la materia orgánica para obtener un producto con alta concentración de nutrientes minerales y carga microbiana que supera a cualquier otro método de composteo, para este proceso comúnmente se emplean lombrices del genero *Eisenia* (*foestida* o *Andreï*) conocidas coloquialmente como lombriz roja californiana (Katiyar *et al.*, 2023).

El líquido que proviene de los escurrimientos de la producción de lombricomposta toma el nombre de humus líquido o lixiviado de lombriz (Semeraro *et al.*, 2023), respecto a su contenido nutricional Li y colaboradores (2024) indican que el humus de lombricomposta contiene nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, boro, hierro, zinc, materia orgánica, ácidos húmicos y fúlvicos, además de tener una alta carga microbiana, y suele tener un pH de 6.5 a 8.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en el área experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, situada en Buenavista, Saltillo, Coahuila en las coordenadas 25° 21' 21.6" N y 101° 02' 10.3" O con una altura de 1742 msnm.

#### 3.2 Material genético

El experimento evaluó tres variedades de cilantro de la casa comercial StarSeeds, los genotipos evaluados fueron los siguientes:

Genotipo
California
Long Standing
Lider Star

#### 3.3 Manejo agronómico

##### Preparación del terreno

Se formaron surcos de 40 m de longitud y 0.8 m de separación, el ancho de la cama acolchada fue 0.3 m de ancho y 0.3 m de alto. El requerimiento hídrico del cultivo se aportó mediante un sistema de riego por goteo con emisores a 20 cm y un gasto de 1 litro por hora por emisor a 8 libras de presión. Mediante el goteo se aplicó una solución nutritiva Hoagland al 50%.

##### Siembra

Se realizó siembra directa al voleo, 2.5 g m<sup>-1</sup> a doble hilera el día 18 de enero.

##### Deshierbe

Las malezas se controlaron de forma manual cada semana.

#### 3.4 Diseño experimental

El experimento se estableció con un diseño de parcelas divididas en Bloques Completos al Azar (BCA) con 5 bloques, donde un bloque representaba

una repetición. La parcela grande fue el híbrido de cilantro y la parcela chica fue la aplicación de los siguientes tratamientos, los cuales se aplicaron al pie de la planta 1 semana después del trasplante:

Tratamiento	Descripción
T1	Testigo
T2	<i>Bacillus</i> sp. + <i>B. cereus</i> (50 L ha <sup>-1</sup> [1 x 10 <sup>7</sup> UFC ml <sup>-1</sup> ])
T3	<i>Bacillus</i> sp. + <i>B. licheniformis</i> (50 L ha <sup>-1</sup> [1 x 10 <sup>7</sup> UFC ml <sup>-1</sup> ])
T4	<i>B. cereus</i> + <i>B. licheniformis</i> (50 L ha <sup>-1</sup> [1 x 10 <sup>7</sup> UFC ml <sup>-1</sup> ])
T5	Lixiviado de lombricomposta (50 L ha <sup>-1</sup> )

El lixiviado de lombricomposta fue proporcionado por un productor de la comunidad Rincón de los Pastores, Saltillo, Coahuila. Las cepas de PGPR fueron proporcionadas por el Departamento de Horticultura de la UAAAN (Ramos Salazar *et al.*, 2022).

### 3.5 Variables evaluadas

#### Variables de crecimiento.

**Número de hojas y macollos.** Se realizó el conteo manualmente del total de hojas y macollos por planta de 5 plantas por repetición y se calculó el número de hojas por macollo, dividiendo el total de hojas entre el total de macollos.

**Altura de planta.** Se midió con un flexómetro desde la base de la planta, hasta el ápice. El resultado se expresó en cm.

**Biomasa fresca.** Al término del experimento se extrajeron 3 plantas por repetición de cada tratamiento, se dividió en raíz y parte aérea y se pesó en una balanza digital marca VINSON MOD-VINS-5. El resultado se expresó en gramos.

**Biomasa seca.** Las muestras obtenidas en el punto anterior se secaron en un secador solar y una vez secas se pesaron en una balanza digital marca VINSON MOD-VINS-5. El resultado se expresó en g.

**Materia seca.** Se calculó el índice de materia seca con la siguiente fórmula:

$$Materia\ seca = \left( \frac{Biomasa\ seca}{Biomasa\ fresca} \right)$$

**Área foliar.** Se contaron las hojas por planta de 3 plantas por repetición en cada tratamiento, se seleccionaron 3 hojas representativas por cada planta (por tamaño) y se midió su área con la aplicación Petiole (Petiole LTD). El resultado promedio por repetición se multiplicó por 2 para obtener el área foliar total por planta.

### **3.6 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se analizaron con un diseño de parcelas divididas en BCA. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) ( $p \leq 0.05$ ), y una prueba de comparación de medias de LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ). Además, se realizó un análisis de correlación de Spearman con las variables no calculadas. Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico Infostat v. 2020 (Infostat Inc., Córdoba, Argentina).



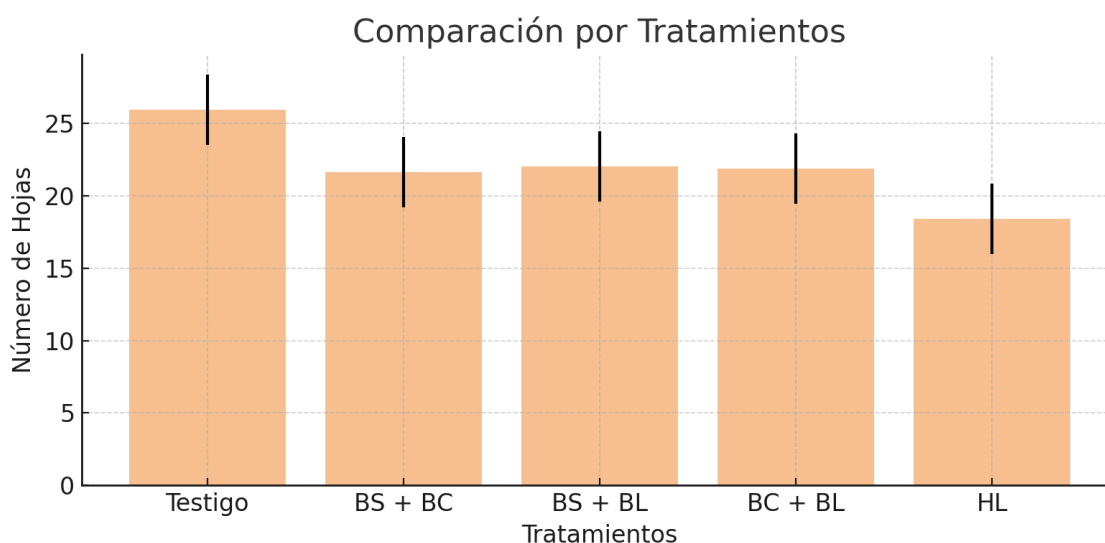
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Número de hojas y macollos

En las Gráficas 1, 2 y 3 se presenta el número de hojas de las tres variedades de cilantro estudiadas en respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos de biofertilizantes.

En la Gráfica 1, los resultados muestran que ninguno de los tratamientos con biofertilizantes generó diferencias significativas en el número de hojas en las variedades de cilantro evaluadas. Sin embargo, el tratamiento sin aplicación de biofertilizantes mostró un promedio más alto. Se refleja una variabilidad considerable dentro de los grupos, lo que sugiere que los efectos de los biofertilizantes no fueron consistentes en mejorar el desarrollo foliar bajo las condiciones del experimento.

**Gráfica 1.** Comparación del número de hojas ante la aplicación de biofertilizantes.

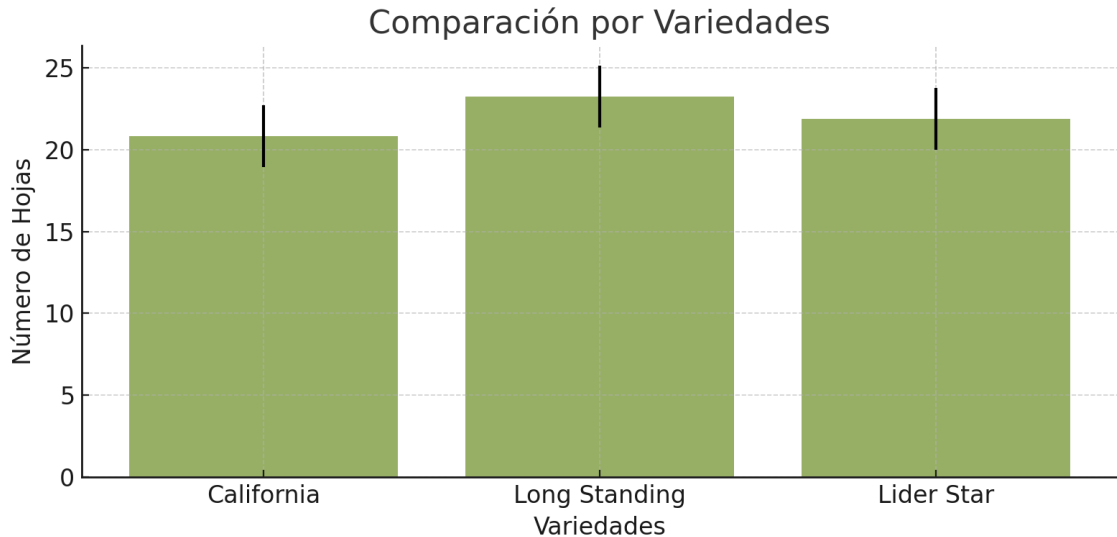


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

Las tres variedades de cilantro (Long Standing, Lider Star y California) no mostraron diferencias significativas en el número de hojas, como se muestra en la Gráfica 2. Esto sugiere que las variedades tienen un comportamiento fisiológico similar en el desarrollo foliar, probablemente derivado de características genéticas compartidas. Por otro lado, en la gráfica 3 se muestra

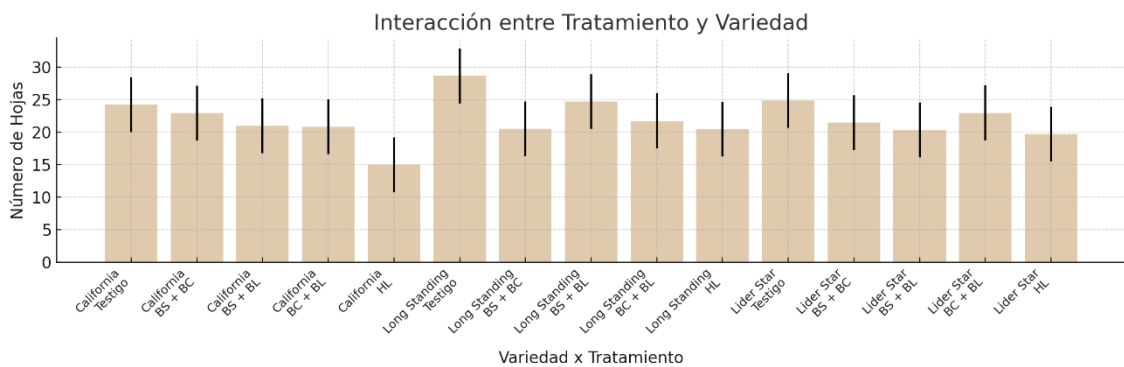
el análisis de la interacción entre los tratamientos con biofertilizantes y las variedades de cilantro donde se observa que no existieron diferencias significativas.

**Gráfica 2.** Comparación del número de hojas por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Gráfica 3.** Interacción entre tratamientos y variedades en el número de hojas.



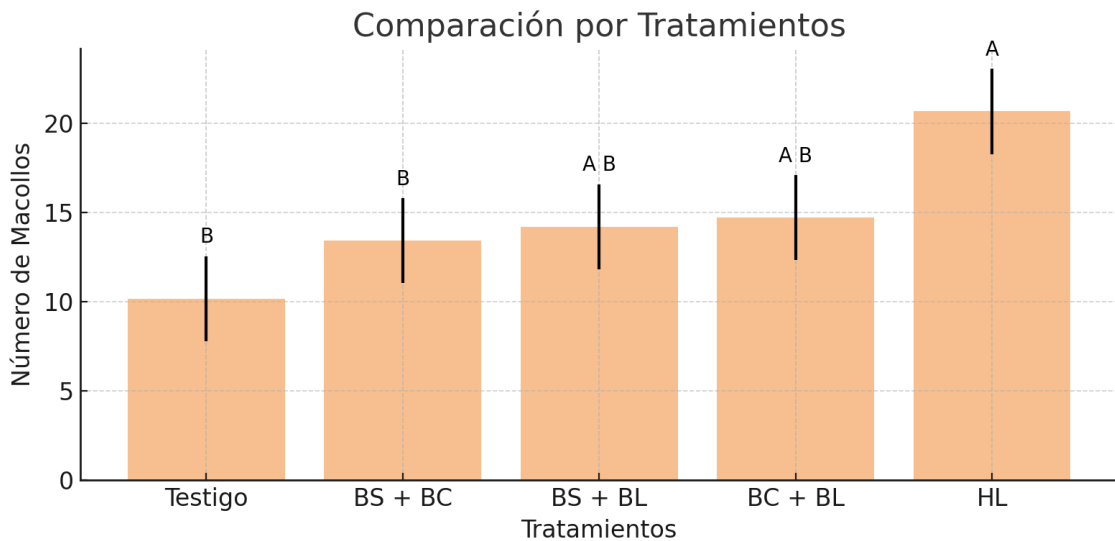
*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

En las gráficas 4, 5 y 6 se presenta el número de macollos de las tres variedades de cilantro estudiadas en respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos de biofertilizantes.

En la gráfica 4 se muestran los resultados de los tratamientos con biofertilizantes en el número de macollos, donde se mostraron diferencias significativas. El tratamiento con humus de lombricomposta (HL) mostró un

incremento significativo en comparación con el testigo, alcanzando un valor promedio de 20.67 macollos frente a los 10.18 macollos del tratamiento testigo. Esto representa un aumento del 103.07% en el número de macollos con la aplicación de humus de lombricomposta, lo cual sugiere que este biofertilizante estimula la producción de macollos en las plantas de cilantro.

**Gráfica 4.** Comparación del número de macollos ante la aplicación de biofertilizantes.

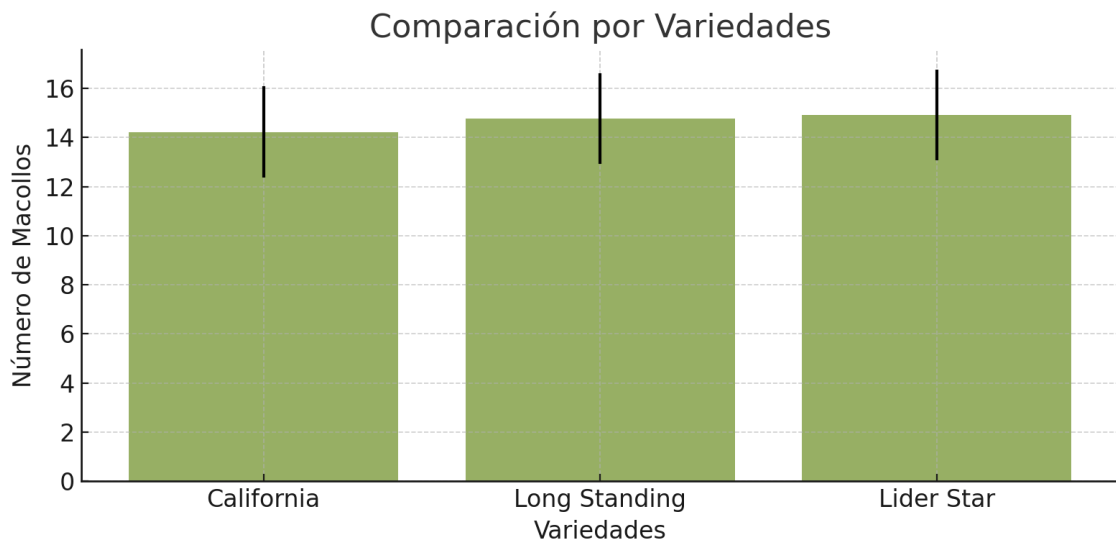


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

En las gráficas 5 y 6, donde se presenta el número de macollos por variedades y la interacción entre tratamiento y variedad, respectivamente, no se observaron diferencias significativas entre los grupos evaluados.

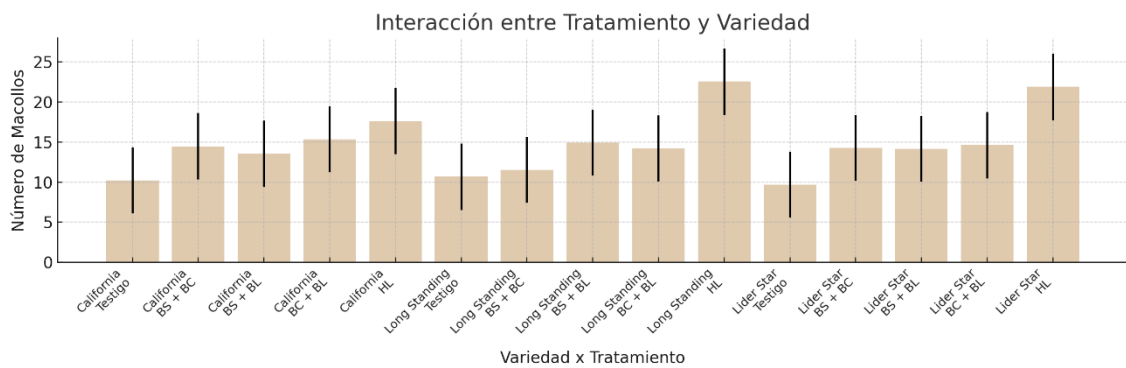
Por otro lado, en cuanto al número de hojas por macollo, el efecto de los tratamientos se muestra en la Gráfica 7, donde el tratamiento testigo mostró un valor significativamente mayor de 2.78 hojas por macollo, superando al tratamiento HL, que presentó un promedio de 1.27 hojas por macollo. Esto implica que el tratamiento testigo tiene un 118.9% más de hojas por macollo en comparación con HL. Estos resultados sugieren que, aunque el humus de lombricomposta promueve un mayor número de macollos, podría reducir la densidad foliar por macollo en comparación con el tratamiento sin biofertilizantes.

**Gráfica 5.** Comparación del número de macollos por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

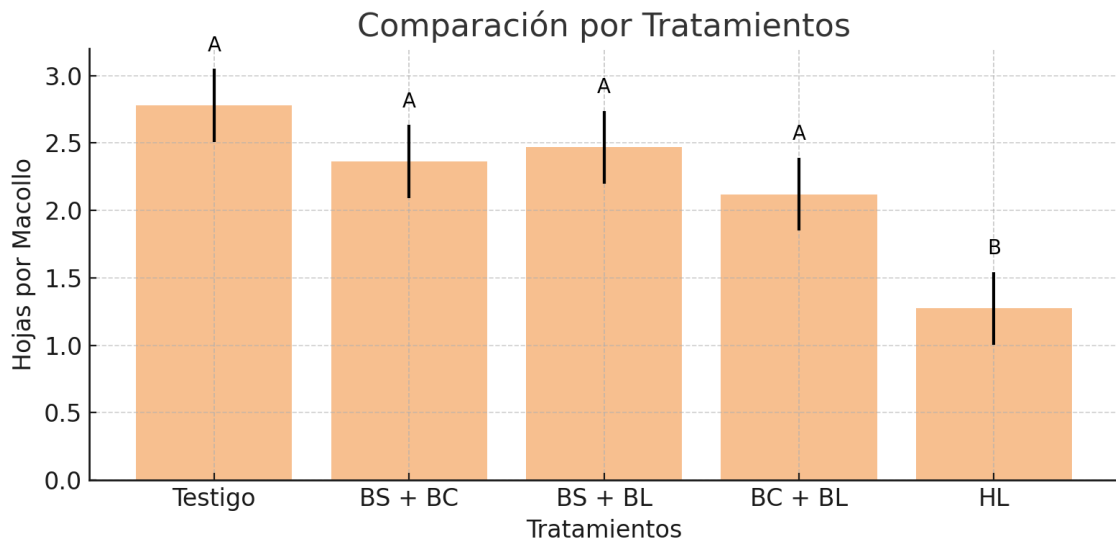
**Gráfica 6.** Interacción entre tratamientos y variedades en el número de macollos.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

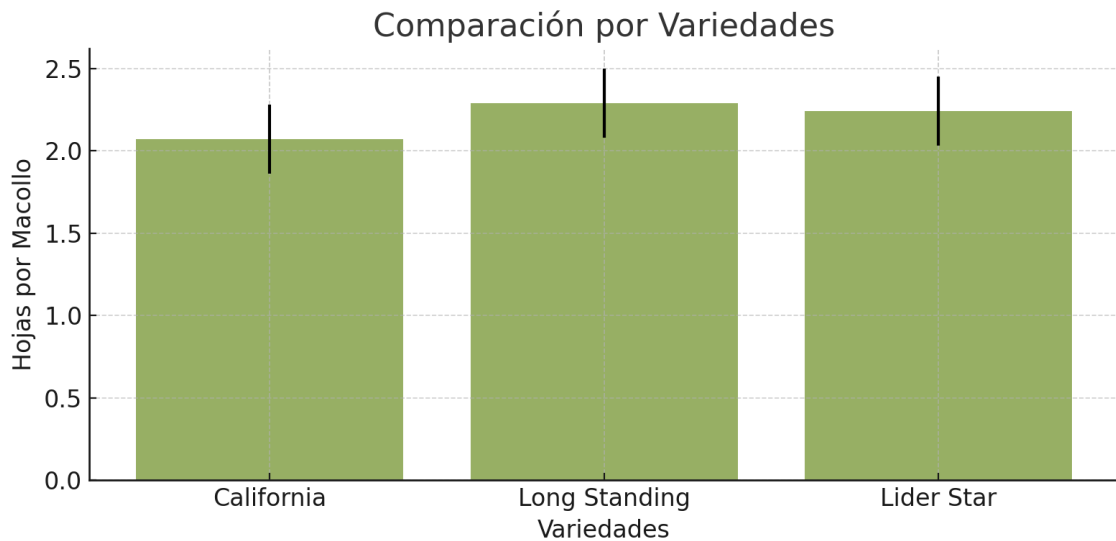
El efecto de la variedad, así como la interacción entre la variedad y tratamiento, se presentan en las Gráficas 8 y 9, respectivamente. En la Gráfica 8, se observa que las variedades de cilantro evaluadas (California, Long Standing y Lider Star) donde se indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ellas. De manera similar, en la Gráfica 9, donde se presenta la interacción entre los tratamientos y las variedades, se observan patrones consistentes en los promedios, pero nuevamente, el análisis de varianza indica la ausencia de diferencias significativas.

**Gráfica 7.** Comparación del número de hojas por macollo ante la aplicación de biofertilizantes.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus* sp.; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, Humus de lombricomposta.

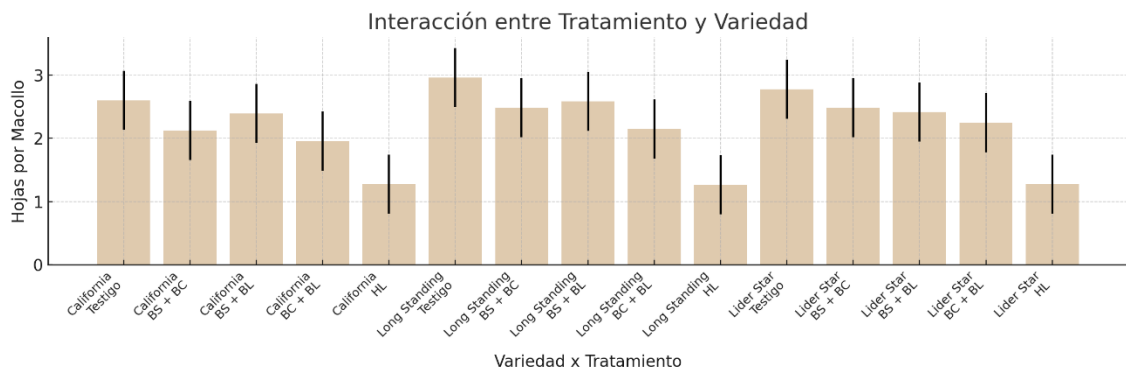
**Gráfica 8.** Comparación del número de hojas por macollo por variedades.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Al respecto de estas variables, Altarhouni *et al.*, (2024) reportaron un efecto bioestimulante en sentido positivo sobre los valores del total de ramas o macollos de *Coriandrum sativum*, de hasta 30 macollos, cuando este tratamiento se aplicó a los 35 y 65 días de siembra, a dosis de 12 kg ha<sup>-1</sup> de forma sinérgica con *Azotobacter chromium*, *Azospirillum Brasiliense*, *Bacillus polymath* y extracto de algas.

**Gráfica 9.** Interacción entre tratamientos y variedades en el número de hojas por macollo.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ; BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, Humus de lombricomposta.

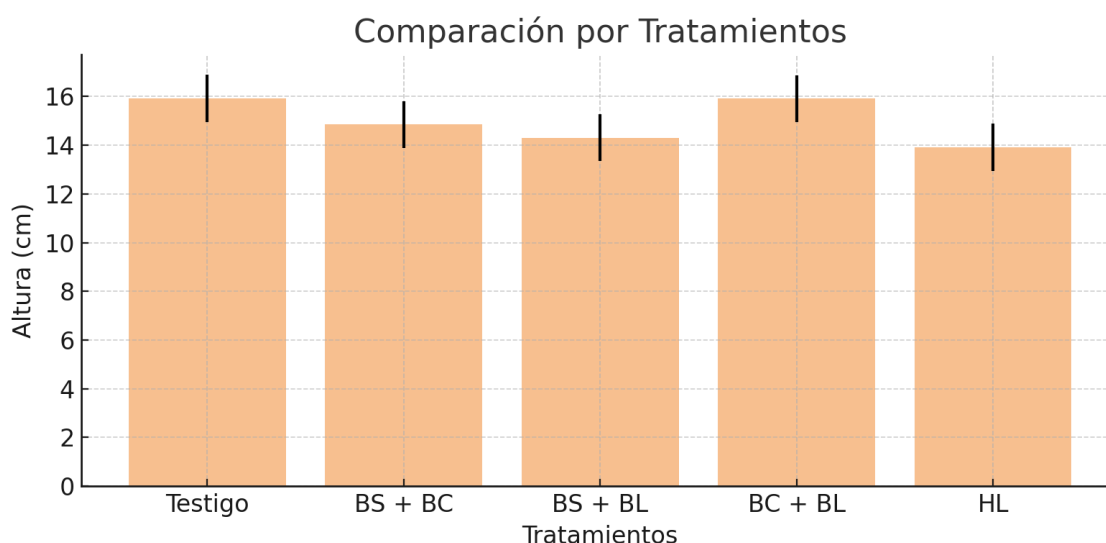
Además, existe evidencia de un efecto positivo del humus líquido sobre el número de hojas de *Coriandrum sativum*, mediante aplicación foliar al cultivo a dosis de 1 y 2 mL L<sup>-1</sup>, este comportamiento se atribuye a una mejor absorción de los elementos y compuestos contenidos en el HL los cuales son absorbidos en mejor medida bajo este método de aplicación (Hamza *et al.*, 2021). Por otro lado, Brengi *et al.*, (2024) reportan que la aplicación de *Basillus subtilis* + Cobalto, genera un incremento del 30% para el número de hojas.

### Altura

En las gráficas 10, 11 y 12 se presenta la altura de las tres variedades de cilantro estudiadas en respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos de biofertilizantes.

En este caso, no se observaron diferencias significativas entre las tres variedades evaluadas, los tratamientos aplicados ni en la interacción entre ellos ( $p > 0.05$ ). Aunque existen variaciones en los valores de altura promedio, estas diferencias no son estadísticamente significativas, lo que sugiere que tanto el uso de biofertilizantes como la selección de variedad no influyeron de manera relevante en el crecimiento en altura en las condiciones de este estudio.

**Gráfica 10.** Comparación de la altura ante la aplicación de biofertilizantes.



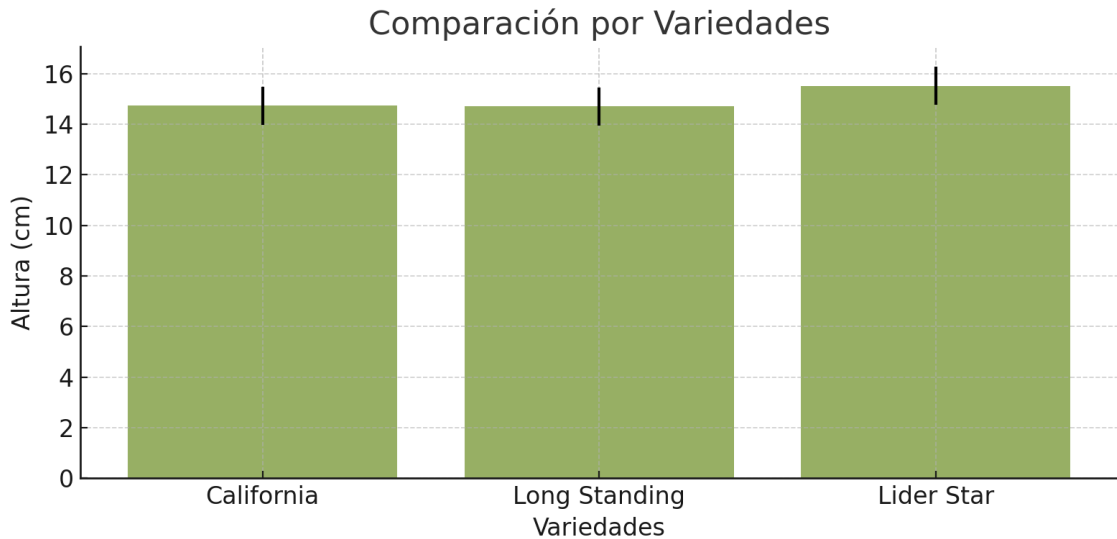
Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ; BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, Humus de lombricomposta).

Aunque no existieron diferencias significativas a nivel de tratamiento, el testigo y el tratamiento con la combinación de *Bacillus cereus* y *Bacillus licheniformis* (BC + BL) presentaron alturas ligeramente superiores (15.92 y 15.91 cm, respectivamente), mientras que el tratamiento con humus de lombricomposta (HL) mostró el valor promedio más bajo de altura (13.91 cm). Altarhouni *et al.* (2024) reportan que la aplicación únicamente de ácidos húmicos al suelo mediante fertirriego, aumenta la altura de la planta en un 29 a 25.9% respecto a tratamientos sin aplicación de estos, así también se observa que, mediante la aplicación de ácidos húmicos, microorganismos y extracto de algas de forma sinérgica, se genera una altura de planta de 84.67 cm. Por su parte Jiménez-Gómez *et al.*, (2020) reportan un incremento de 22.6 y 19.4% mediante la inoculación del suelo de la cepa SCCPVE07 de *Basillus halotolerans*, bajo condiciones normales y de estrés salino, respectivamente. Mientras que Brenji *et al.*, (2024) comprobaron un efecto positivo del uso de *B. subtilis* + Cobalto sobre la variable altura, alcanzando incrementos del 7% respecto al testigo. Lo anterior deja ver un efecto estadístico significativo del uso de microorganismos aplicados al suelo.

Sin embargo, basándose en los resultados del experimento, al no haber diferencias significativas, estos valores no se pueden interpretar como un efecto

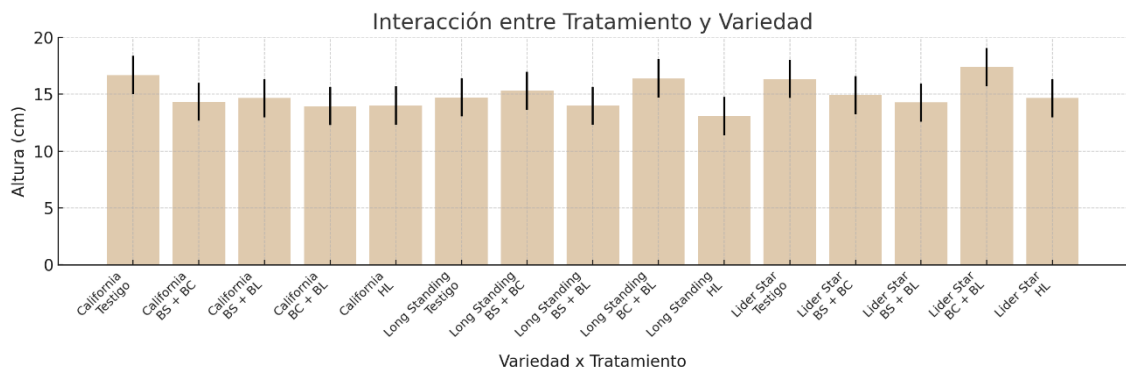
consistente de los tratamientos sobre la altura de las plantas. Los resultados sugieren que la aplicación de biofertilizantes y la elección de variedad no tuvieron un impacto significativo en la altura de las plantas de cilantro, indicando que otros factores, posiblemente ambientales o del manejo agronómico, podrían tener mayor influencia sobre esta variable en las condiciones evaluadas.

**Gráfica 11.** Comparación de la altura por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Gráfica 12.** Interacción entre tratamientos y variedades en la altura.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

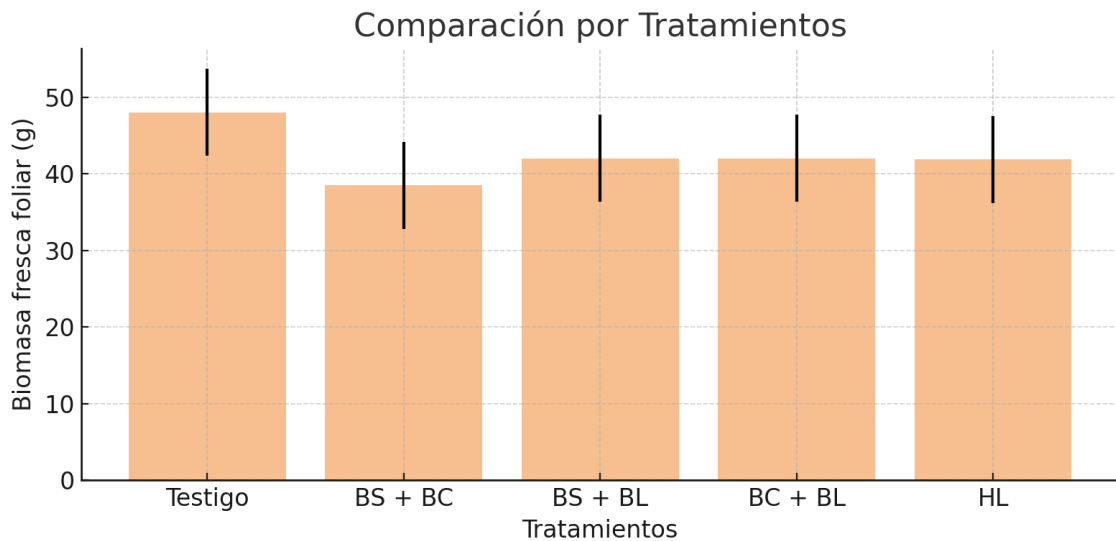
### Biomasa y humedad foliar

La Gráfica 13 presenta la biomasa fresca foliar promedio obtenida para los tratamientos aplicados. Aunque el tratamiento Testigo tiene un promedio ligeramente superior (48.02 g), seguido por BS + BL y BC + BL (42.02 g) cada



uno), sin embargo, las diferencias entre los tratamientos no fueron significativas, según el análisis de varianza (ANOVA). El tratamiento BS + BC mostró el promedio más bajo (38.49 g), pero no difiere estadísticamente de los demás. Esto indica que los biofertilizantes evaluados no generaron un impacto diferenciado en la biomasa fresca foliar bajo las condiciones experimentales.

**Gráfica 13.** Comparación de la biomasa fresca foliar ante la aplicación de biofertilizantes.

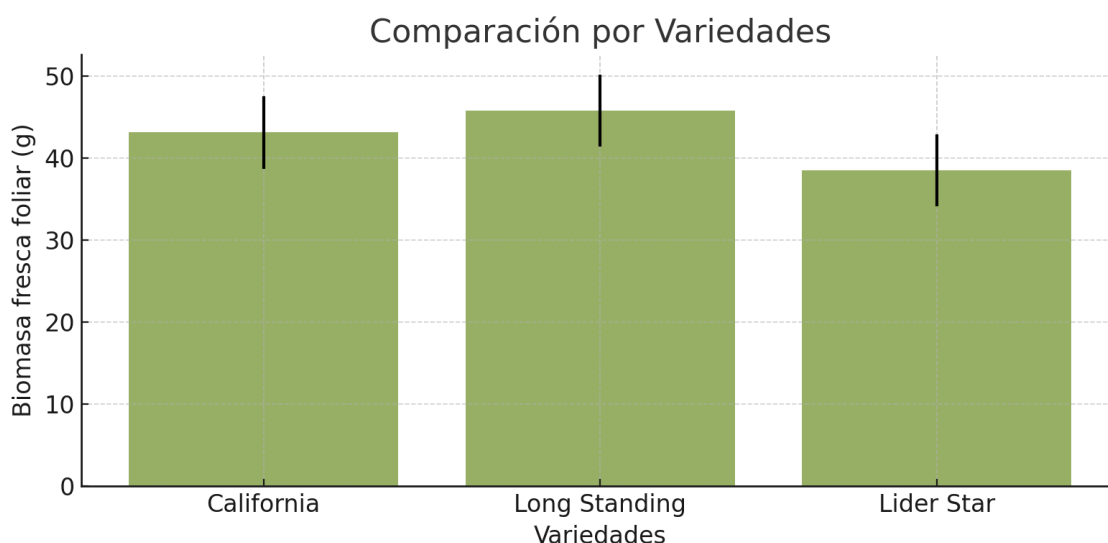


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ; BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

La Gráfica 14 muestra la biomasa fresca foliar promedio para las tres variedades de cilantro evaluadas. Las variedades Long Standing y California presentaron los promedios más altos (45.78 g y 43.14 g, respectivamente), mientras que la variedad Lider Star tuvo el promedio más bajo (38.53 g). Sin embargo, el ANOVA indica que estas diferencias no son significativas.

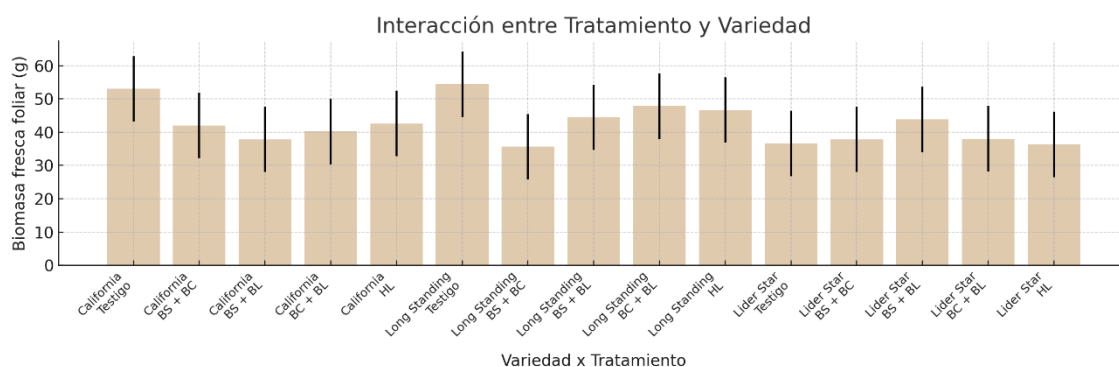
Por otro lado, la Gráfica 15 presenta la interacción entre los tratamientos y las variedades en términos de biomasa fresca foliar. Aunque algunos patrones pueden observarse, como los valores más altos en las combinaciones de Long Standing con Testigo (54.42 g) y de California con Testigo (53.02 g), el ANOVA confirma que no hay diferencias significativas en esta interacción. Esto implica que las combinaciones específicas de tratamientos y variedades no influyeron significativamente en la biomasa fresca foliar.

**Gráfica 14.** Comparación de la biomasa fresca foliar por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

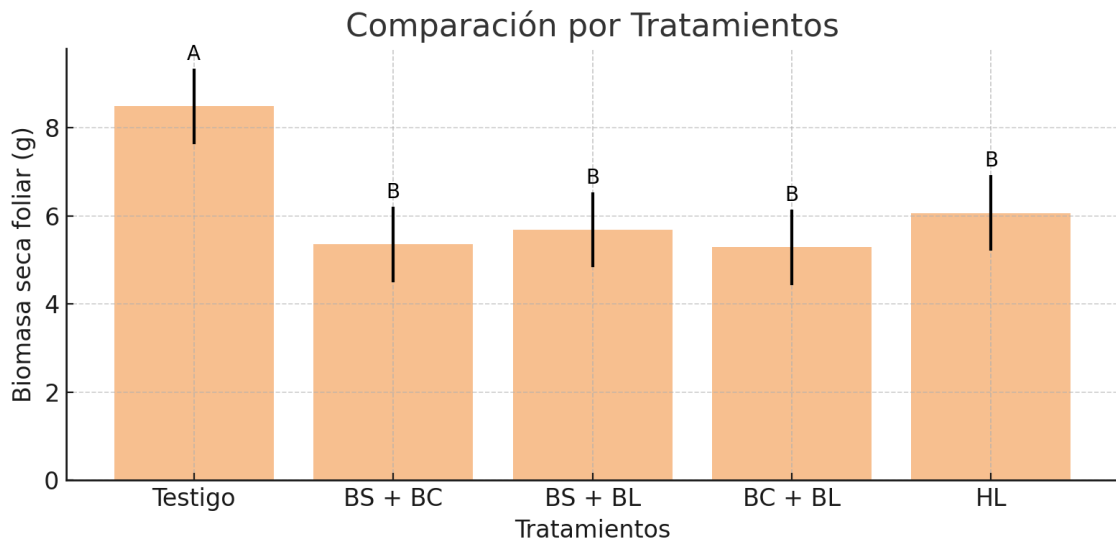
**Gráfica 15.** Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa fresca foliar.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

En la Gráfica 16 se muestra la biomasa seca foliar promedio obtenida para los tratamientos aplicados. El Testigo presentó el promedio más alto (8.49 g), lo que lo posiciona como significativamente diferente del resto de los tratamientos. Por otro lado, los tratamientos HL, BS + BL, BS + BC, y BC + BL mostraron promedios más bajos y no difirieron significativamente entre sí. Estos resultados sugieren que los biofertilizantes aplicados no lograron incrementar significativamente la biomasa seca foliar en comparación con el Testigo bajo las condiciones del presente experimento.

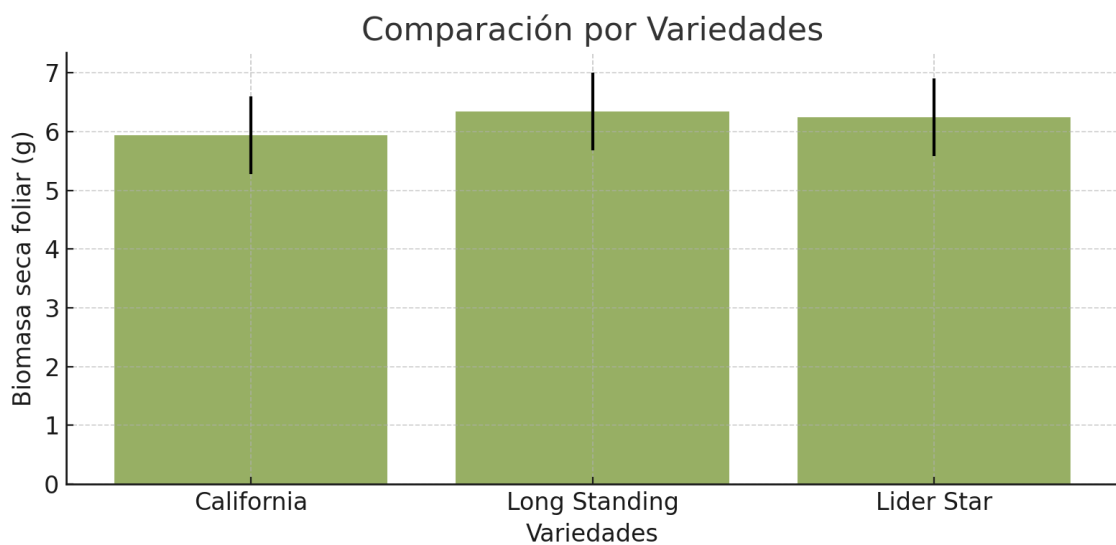
**Gráfica 16.** Comparación de la biomasa seca foliar ante la aplicación de biofertilizantes.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus* sp.; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, Humus de lombricomposta.

La Gráfica 17 presenta la biomasa seca foliar promedio para las tres variedades de cilantro evaluadas. Las variedades Long Standing (6.34 g) y Lider Star (6.25 g) mostraron promedios ligeramente superiores a la variedad California (5.94 g). Sin embargo, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias significativas entre las variedades.

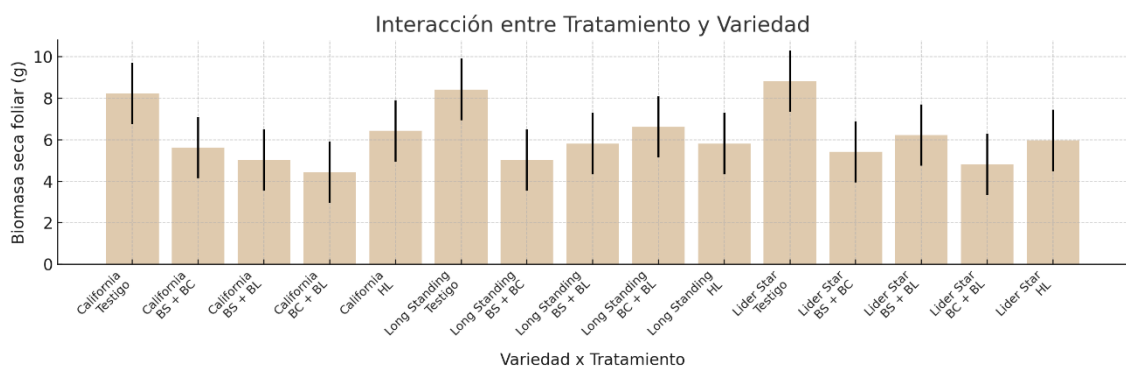
**Gráfica 17.** Comparación de la biomasa seca foliar por variedades.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

La Gráfica 18 presenta la interacción entre los tratamientos y las variedades en términos de biomasa seca foliar. Se observan ciertos patrones, como los valores más altos en la combinación de Lider Star con Testigo (8.82 g) y en Long Standing con Testigo (8.42 g), mientras que la combinación de California con BC + BL presentó el promedio más bajo (4.42 g). Sin embargo, el ANOVA no detectó diferencias significativas en la interacción, lo que indica que la combinación de tratamiento y variedad no produjo efectos en la biomasa seca foliar.

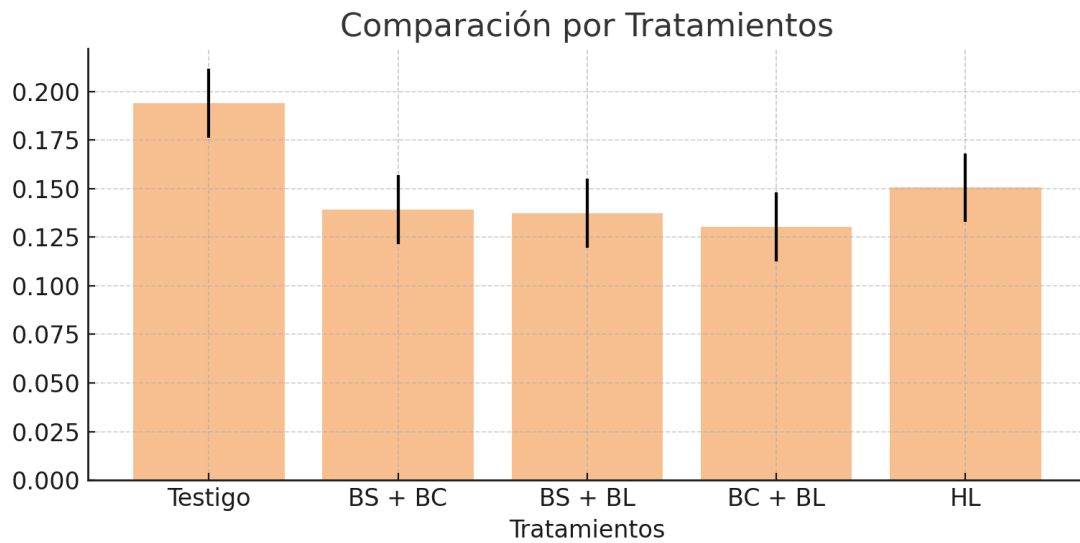
**Gráfica 18.** Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa seca foliar.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

La Gráfica 19 muestra el índice de materia seca foliar promedio obtenido para los tratamientos aplicados. Aunque el tratamiento Testigo presentó el promedio más alto (0.1939), seguido por HL (0.1505), BS + BC (0.1393), BS + BL (0.1374), y BC + BL (0.1302), las diferencias no fueron significativas según el análisis de varianza (ANOVA). Por otro lado, la Gráfica 20 muestra que las variedades de cilantro (California, Long Standing y Lider Star), aunque mostraron promedios similares en el índice de materia seca foliar (0.1375, 0.1399 y 0.1734, respectivamente), no presentaron diferencias significativas según el ANOVA. En la Gráfica 21, que presenta la interacción entre tratamientos y variedades, se observan ciertos patrones, como el valor más alto en la combinación de Lider Star con Testigo (0.2616) y el más bajo en California con BC + BL (0.1151). Sin embargo, estas combinaciones tampoco mostraron diferencias significativas, lo que indica que ni las variedades ni las combinaciones específicas de tratamiento y variedad influyeron de manera significativa en este índice.

**Gráfica 19.** Comparación del contenido índice de materia seca ante la aplicación de biofertilizantes.

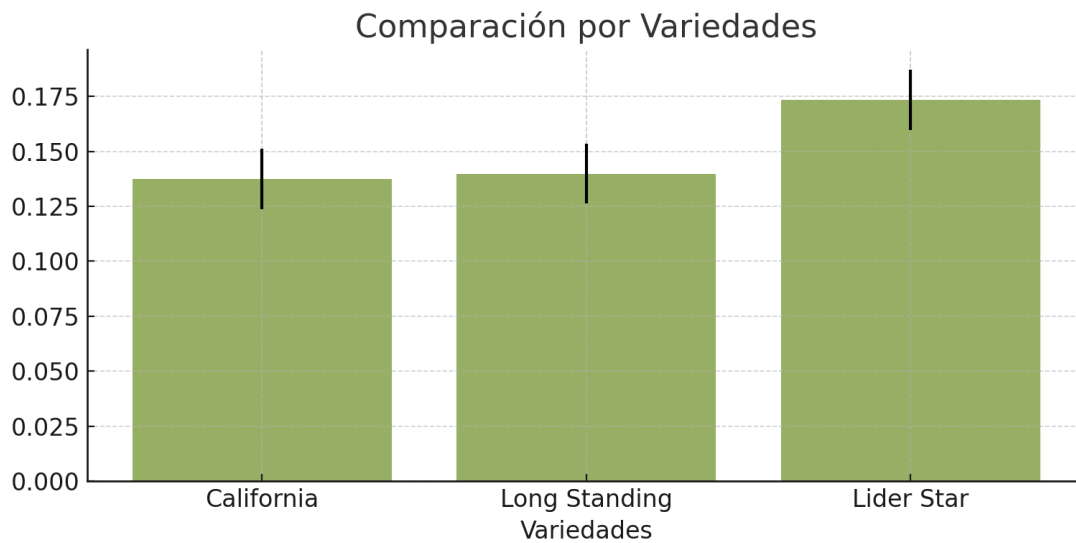


Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ; BS, *Bacillus* sp.; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, Humus de lombricomposta).

Estos resultados indican que los tratamientos de biofertilizantes no alteraron significativamente la capacidad de retención de agua en las hojas de las plantas de cilantro. En la interacción entre variedad y tratamiento, aunque se observan algunas variaciones en los promedios de biomasa fresca, biomasa seca y el índice de humedad foliar, no se presentan diferencias significativas en ninguna de las combinaciones. Esto sugiere que los efectos de los biofertilizantes sobre estas variables no dependen de la variedad de cilantro en este estudio. Los resultados indican que ni las variedades de cilantro ni los tratamientos de biofertilizantes aplicados tuvieron un impacto estadísticamente significativo sobre la biomasa fresca, biomasa seca o el índice de humedad foliar en las condiciones experimentales evaluadas.

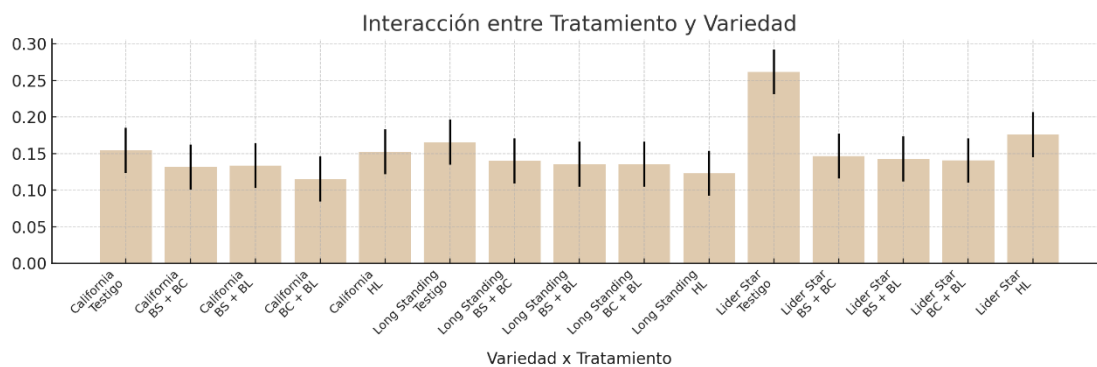
Un estudio muestra que la inoculación del suelo con la cepa SCCPVE07 de *Bacillus halotolerans* permite obtener incrementos del 47.8 y 32.3% en peso seco de la parte aérea de la planta de *Coriandrum sativum* en condiciones normales y salinas respectivamente (Jiménez - Gómez *et al.*, 2020). Brengi *et al.*, (2024) demostraron que el uso de *B. subtilis* aplicado al cultivo de cilantro, genera un incremento del 28 y 29% en peso fresco y peso seco de la parte aérea de la planta.

**Gráfica 20.** Comparación del contenido de materia seca foliar por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Gráfica 21.** Interacción entre tratamientos y variedades en el contenido de materia seca foliar.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

### Biomasa y humedad radicular

Las Gráfica 22, 23 y 24 muestran los resultados de biomasa fresca radicular considerando los efectos de los tratamientos, las variedades y su interacción.

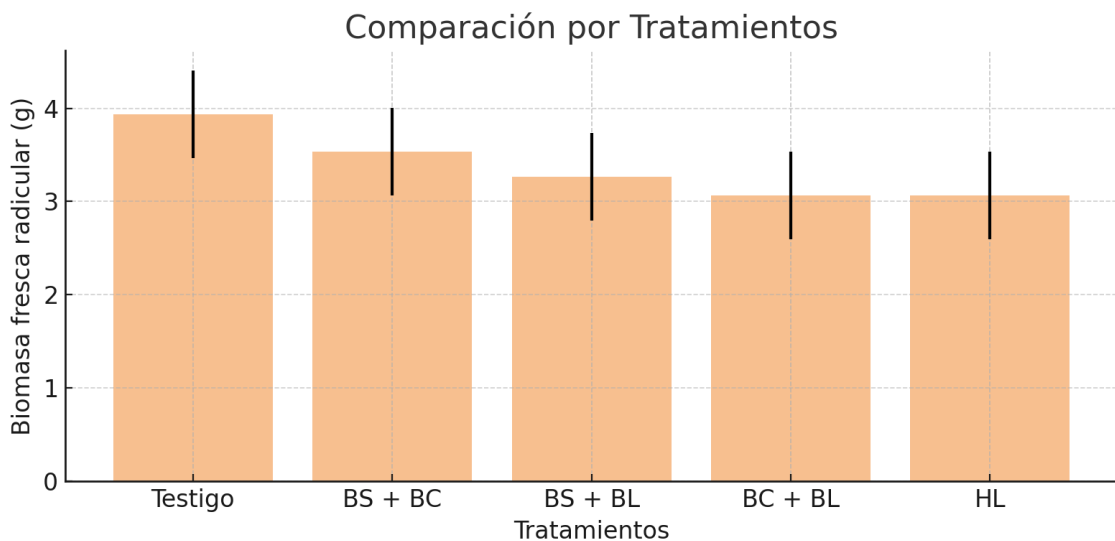
En la Gráfica 22, correspondiente a los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que no hubo diferencias significativas. El tratamiento Testigo presentó el promedio más alto (3.93 g), seguido por BS + BC (3.53 g) y

BS + BL (3.27 g), mientras que los valores más bajos se observaron en HL y BC + BL (3.07 g cada uno).

En la Gráfica 23, que presenta los promedios de biomasa fresca radicular según las variedades, tampoco se encontraron diferencias significativas. Las variedades California (3.56 g) y Long Standing (3.48 g) mostraron valores ligeramente superiores a Lider Star (3.08 g), pero estas diferencias no fueron estadísticamente relevantes.

Finalmente, en la Gráfica 24, se analiza la interacción entre tratamientos y variedades. Aunque se observaron algunos patrones, como los valores más altos en la combinación de California con Testigo (4.40 g) y los más bajos en Lider Star con BS + BL (2.60 g), el ANOVA no detectó diferencias significativas en estas combinaciones.

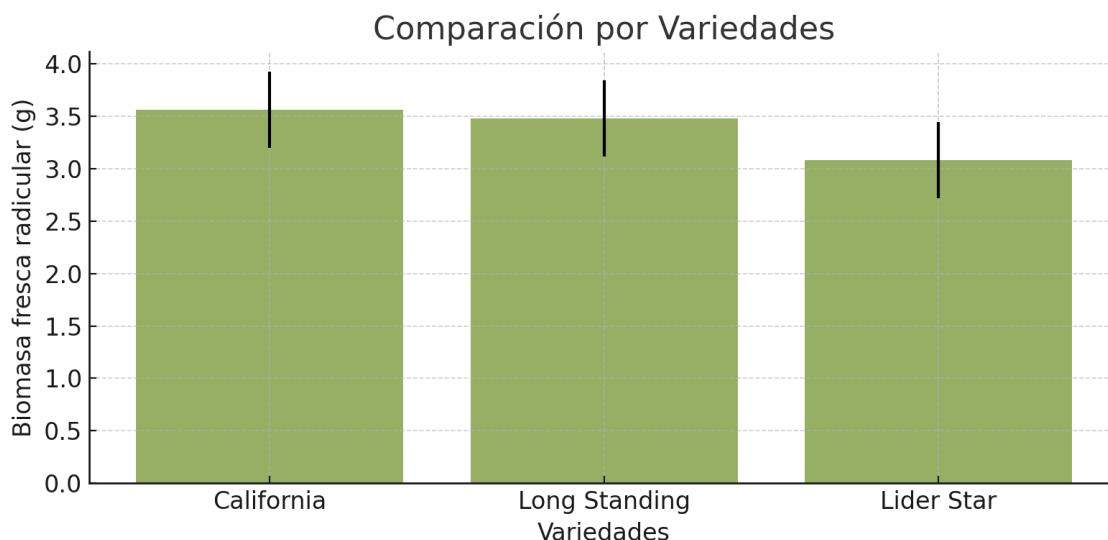
**Gráfica 22.** Comparación de la biomasa fresca radicular ante la aplicación de biofertilizantes.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

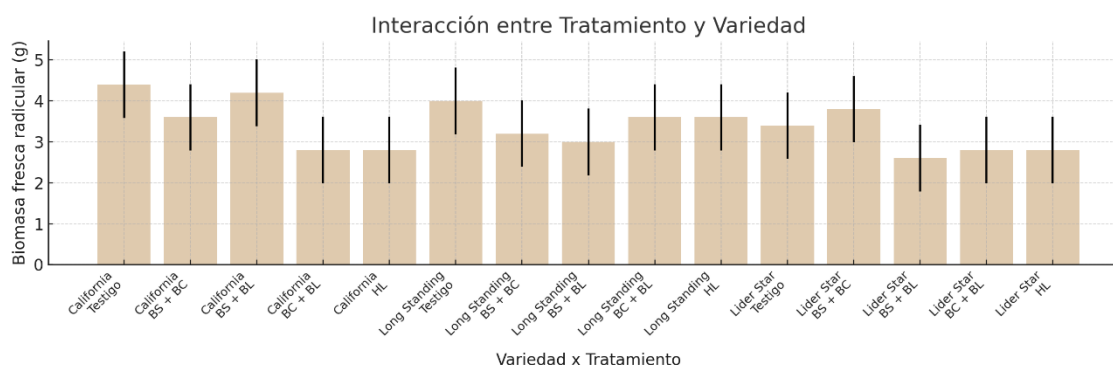
Estos resultados reflejan que ni los tratamientos, ni las variedades, ni su interacción tuvieron un efecto significativo en la biomasa fresca radicular bajo las condiciones experimentales evaluadas.

**Gráfica 23.** Comparación de la biomasa fresca radicular por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Gráfica 24.** Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa fresca radicular.

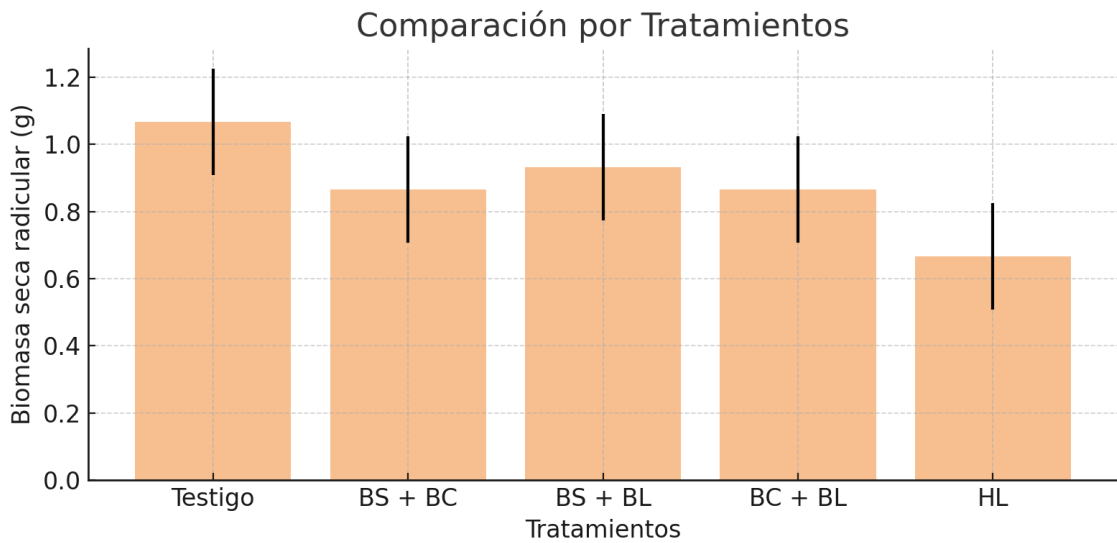


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

Las Gráficas 25, 26 y 27 muestran los resultados de biomasa seca radicular considerando los efectos de los tratamientos, las variedades y su interacción. En la Gráfica 25, correspondiente a los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas según el análisis de varianza (ANOVA). El tratamiento Testigo presentó el promedio más alto (1.07 g), seguido por BS + BL (0.93 g), mientras que los valores más bajos se observaron en HL (0.67 g).

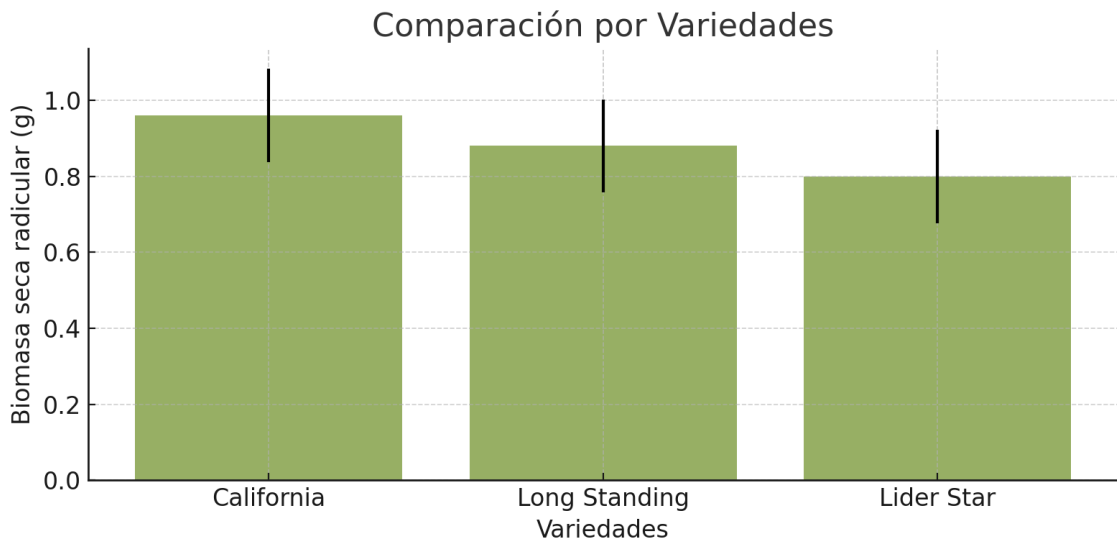


**Gráfica 25.** Comparación de la biomasa seca radicular ante la aplicación de biofertilizantes.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

**Gráfica 26.** Comparación de la biomasa seca radicular por variedades.

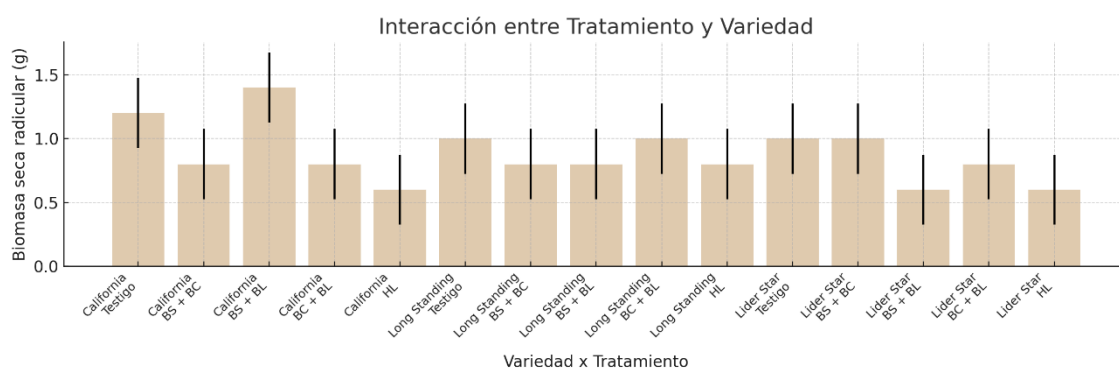


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

En la Gráfica 26, que analiza las variedades, tampoco se encontraron diferencias significativas. Las variedades California (0.96 g) y Long Standing (0.88 g) mostraron promedios ligeramente superiores a Lider Star (0.80 g). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

En la Gráfica 27, que muestra la interacción entre tratamientos y variedades, se observan ciertos patrones. Por ejemplo, los valores más altos se presentaron en la combinación de California con BS + BL (1.40 g) y en California con Testigo (1.20 g). Por otro lado, los valores más bajos se observaron en Lider Star con HL (0.60 g) y con BS + BL (0.60 g). Sin embargo, el ANOVA no detectó diferencias significativas en esta interacción, lo que indica que las combinaciones específicas de tratamientos y variedades no influyeron en la biomasa seca radicular.

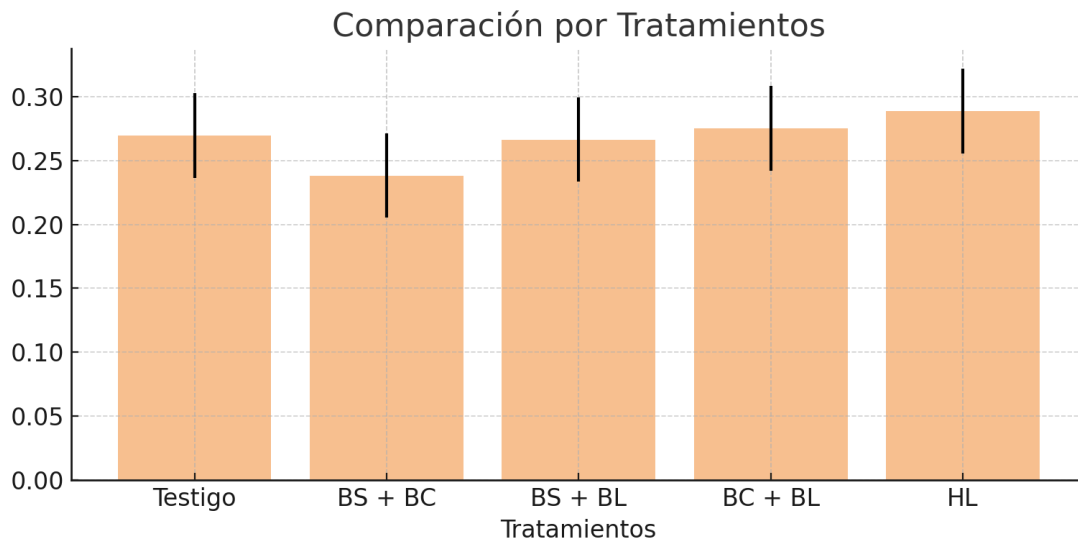
**Gráfica 27.** Interacción entre tratamientos y variedades en la biomasa seca radicular.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

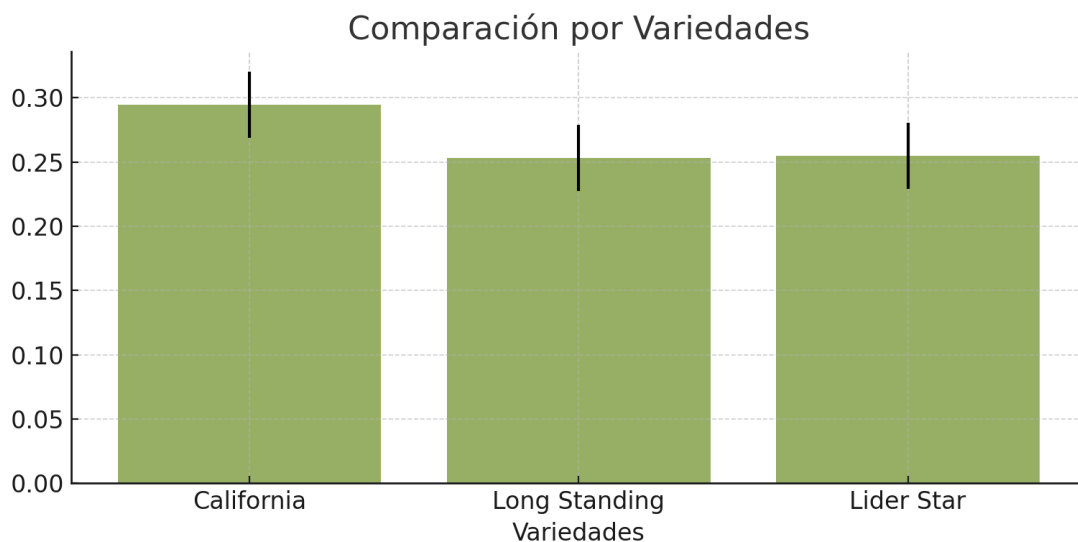
Las Gráficas 28, 29 y 30 presentan los resultados del contenido de materia seca radicular considerando los efectos de los tratamientos, las variedades y su interacción. En la Gráfica 28, correspondiente a los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas según el análisis de varianza (ANOVA). El tratamiento HL presentó el contenido de materia seca más bajo (0.2886), mientras que el Testigo (0.2695), BC + BL (0.2750), BS + BL (0.2663) y BS + BC (0.2382) mostraron promedios similares, pero sin variaciones estadísticas.

**Gráfica 28.** Comparación del contenido de materia seca radicular ante la aplicación de biofertilizantes.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, Bacillus sp.; BC, B. cereus; BL, B. licheniformis; HL, Humus de lombricomposta.*

**Gráfica 29.** Comparación del contenido de materia seca radicular por variedades.

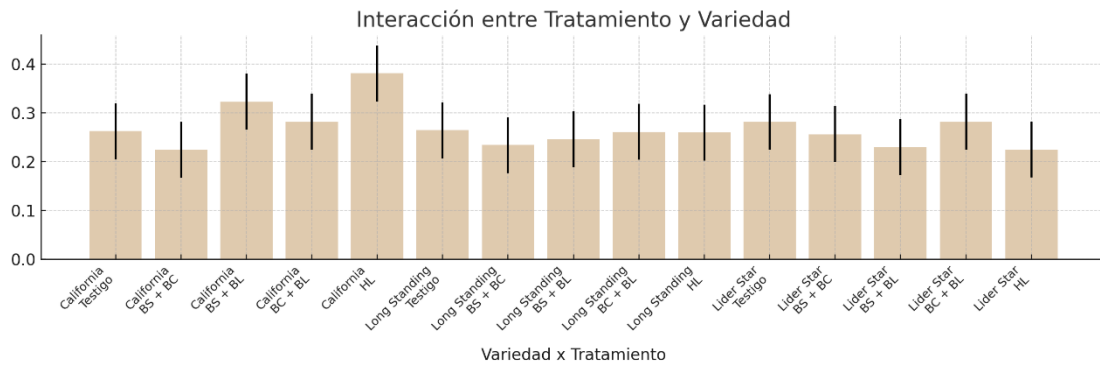


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

En la Gráfica 29, que analiza las variedades, tampoco se encontraron diferencias significativas en el contenido de materia seca radicular. La variedad California (0.2946) mostró el promedio más alto, seguida de Lider Star (0.2548) y Long Standing (0.2531). Estas diferencias, aunque aparentes, no son estadísticamente significativas. En la Gráfica 30, que representa la interacción

entre tratamientos y variedades, se observan algunos patrones, como los valores más altos en la combinación de California con HL (0.3810) y de California con BS + BL (0.3231). Sin embargo, las combinaciones restantes, como Lider Star con HL (0.2250) y Long Standing con BS + BC (0.2342), no difirieron significativamente.

**Gráfica 30.** Interacción entre tratamientos y variedades en el contenido de materia seca radicular.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, *Humus de lombricomposta*.*

Respecto al peso fresco y seco de la planta, Altarhouni *et al.*, (2024) encontraron un incremento significativo de ambos parámetros mediante la aplicación de ácidos húmicos aplicados al suelo en cultivo de *Coriandrum sativum*. Aunque en este estudio no se efectuó un análisis del peso fresco y seco de forma individual, se observa un efecto positivo general del tratamiento sobre el peso fresco y seco de la planta completa. Por su parte Brengi *et al.*, (2024) obtuvieron incrementos de 17 y 18% en peso fresco y peso seco de raíz respectivamente, mediante la aplicación al suelo de *B. subtilis* y cobalto, en el cultivo de cilantro.

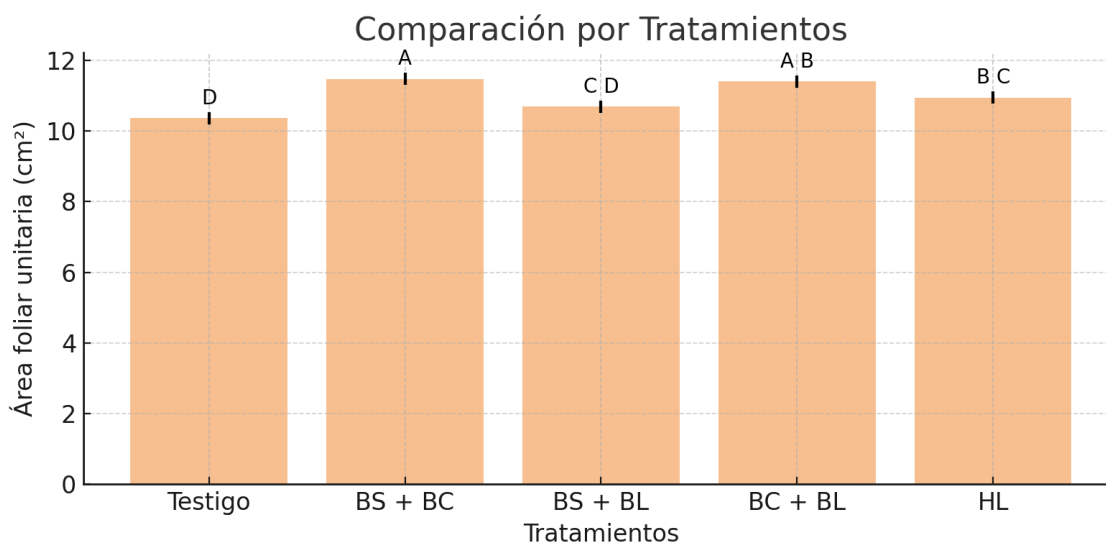
### Área foliar

En el análisis de área foliar por hoja, se encontraron diferencias altamente significativas tanto entre variedades como entre tratamientos, así como en la interacción entre ellas.

En cuanto a los tratamientos, que se muestran en la gráfica 31, el tratamiento BS + BC presentó el área foliar por hoja más alta (11.47 cm<sup>2</sup>), lo que representa un incremento significativo del 10.6% en comparación con el

tratamiento testigo (10.37 cm<sup>2</sup>). Este aumento sugiere que la combinación de *Bacillus* sp. y *B. cereus* en el tratamiento BS + BC podría estar promoviendo un mayor desarrollo en el área foliar individual de las hojas. Otro tratamiento que mostró un valor significativo fue BC + BL, con un promedio de 11.40 cm<sup>2</sup>, lo que representa un 9.9% más que el testigo. Ambos tratamientos (BS + BC y BC + BL) destacaron por aumentar el área foliar unitaria, sugiriendo que estas combinaciones de biofertilizantes pueden favorecer la expansión de las hojas de cilantro. Los tratamientos BS + BL (10.69 cm<sup>2</sup>) y HL (10.95 cm<sup>2</sup>) también presentaron valores mayores que el testigo, pero no se diferenciaron significativamente de este en términos de área foliar por hoja.

**Gráfica 31.** Comparación del área foliar unitaria ante la aplicación de biofertilizantes.

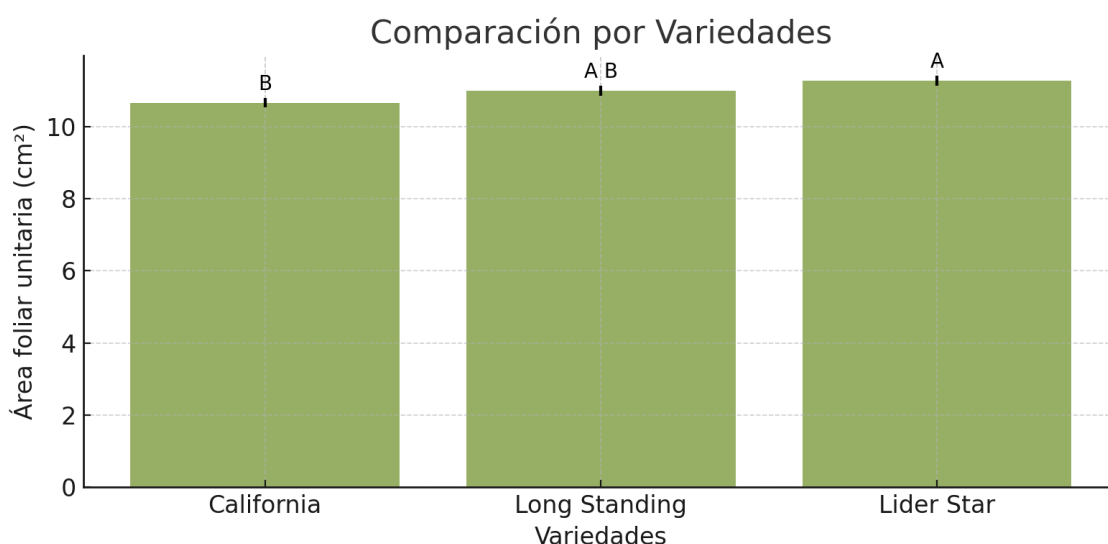


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus* sp.; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, *Humus de lombricomposta*.*

En la gráfica 32 se observa que la variedad Líder Star presentó el área foliar por hoja más alta con un promedio de 11.27 cm<sup>2</sup>, lo cual representa un 5.7% más que California (10.66 cm<sup>2</sup>), que mostró el valor más bajo entre las variedades. Esta diferencia indica que Líder Star tiene una tendencia a desarrollar hojas más grandes en comparación con California, aunque Long Standing también mostró un valor elevado (10.99 cm<sup>2</sup>) sin diferencias significativas con respecto a las otras variedades.

Por otra parte, en la gráfica 33 se muestra la interacción entre variedad y tratamiento, donde se observaron algunas combinaciones con diferencias altamente significativas. La combinación Líder Star/BS + BC tuvo el área foliar por hoja más alta con 12.47 cm<sup>2</sup>, lo cual representa un 20.3% más que el testigo. Esta interacción sugiere que la variedad Líder Star responde particularmente bien al tratamiento BS + BC, maximizando el área de cada hoja en comparación con el testigo. En contraste, la combinación California/BS + BL mostró el valor más bajo de área foliar por hoja (9.48 cm<sup>2</sup>), siendo 8.6% menor que el testigo. Esta reducción podría indicar una respuesta menos favorable de la variedad California al tratamiento BS + BL en términos de expansión foliar.

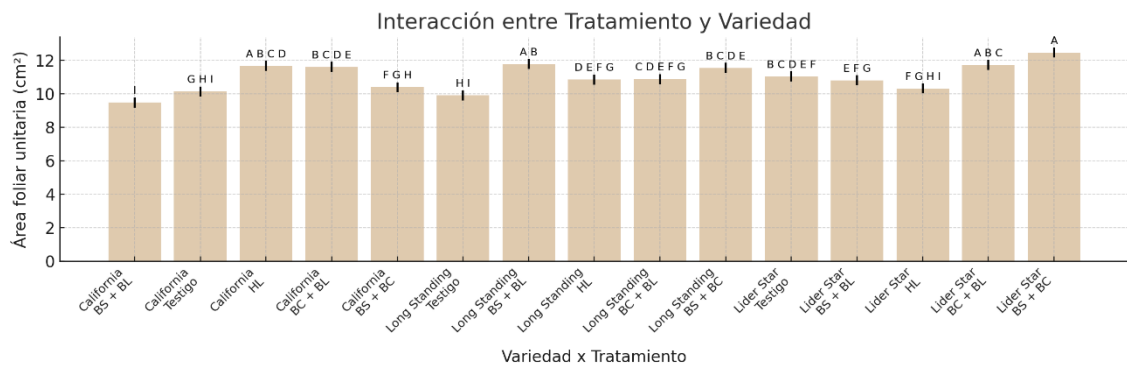
**Gráfica 32.** Comparación del área foliar unitaria por variedades.



*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

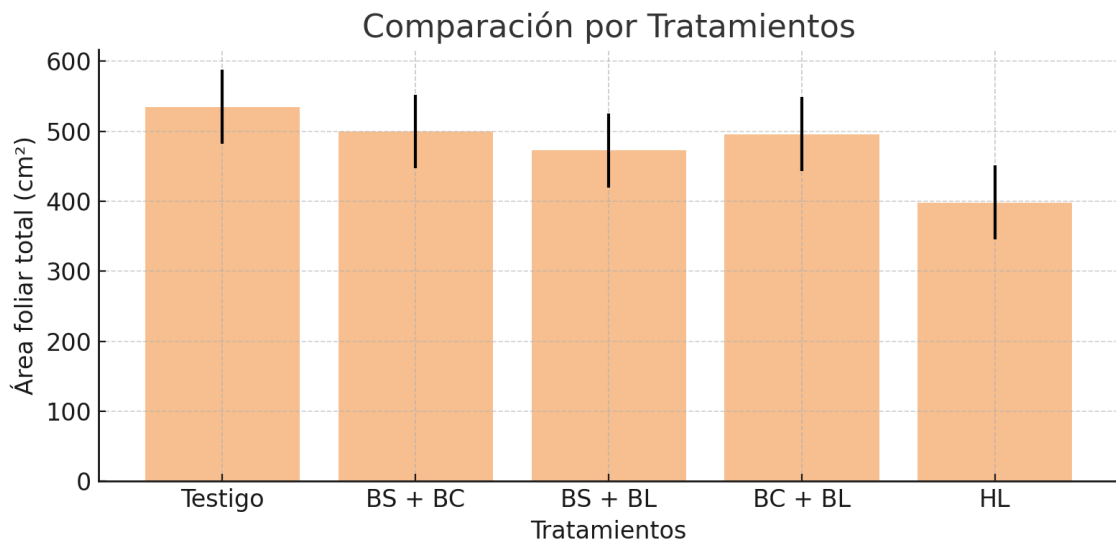
El área foliar total se calculó multiplicando el área foliar unitaria por el doble del número de hojas para considerar ambas caras de cada hoja: la superficie adaxial (superior) y la superficie abaxial (inferior), y estos resultados se muestran en las Gráficas 34, 35 y 36. Este método permite obtener una estimación más completa del área foliar total, lo cual es importante para evaluar la capacidad fotosintética de la planta. Al incluir ambas caras, se tiene en cuenta toda la superficie expuesta a la luz y, por lo tanto, la capacidad de la planta para captar energía solar, lo cual es un factor crucial en su crecimiento y rendimiento.

**Gráfica 33.** Interacción entre tratamientos y variedades en el área foliar unitaria.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, *Humus de lombricomposta*.

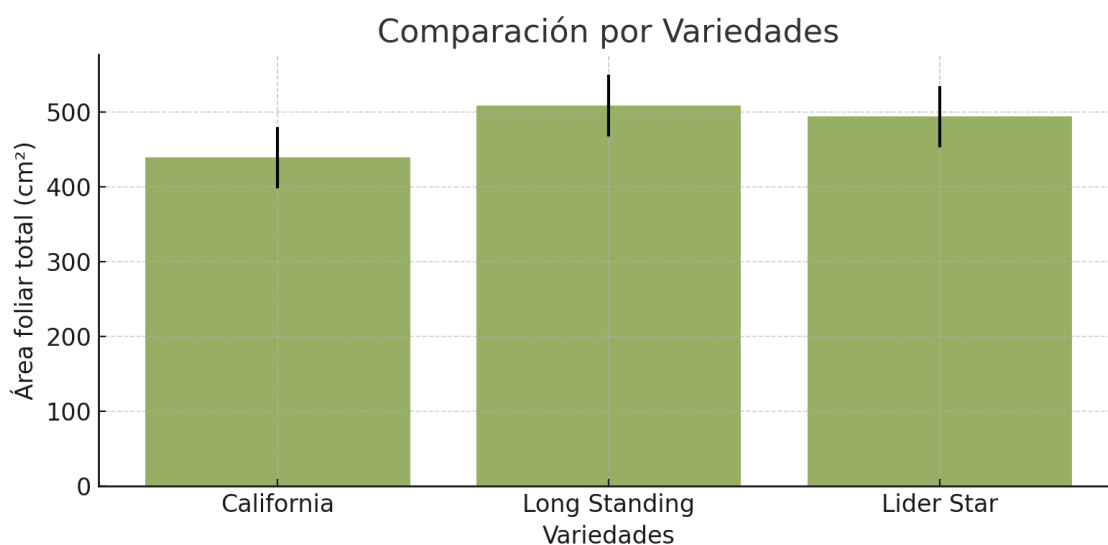
**Gráfica 34.** Comparación del área foliar total ante la aplicación de biofertilizantes.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, *Humus de lombricomposta*.

Para el área foliar total no se encontraron diferencias significativas entre variedades ni entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), aunque se observaron algunas variaciones en los valores promedio. Esto sugiere que ni la variedad de cilantro ni los tratamientos de biofertilizantes tuvieron un efecto significativo sobre el área foliar acumulada en las plantas bajo las condiciones de este estudio.

**Gráfica 35.** Comparación del área foliar total por variedades.

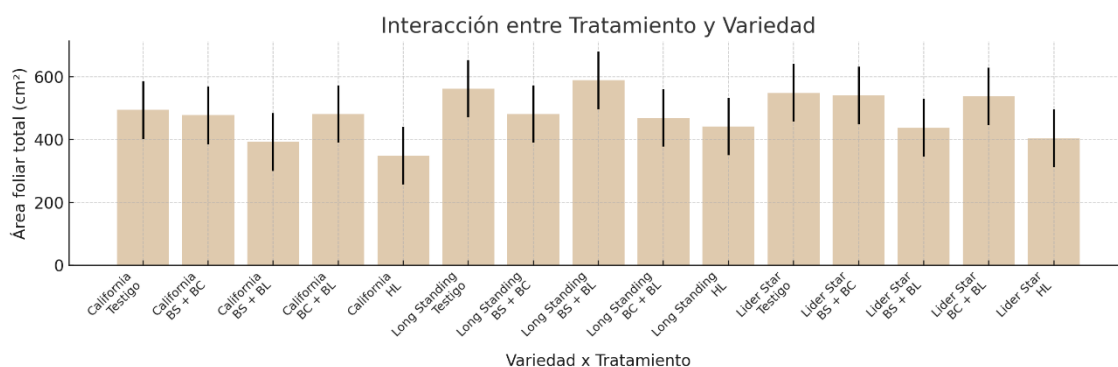


*Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

Aunque no se encontraron diferencias significativas, se observaron algunas tendencias en los valores de área foliar total. El tratamiento testigo presentó el valor más alto de área foliar total (535.87 cm<sup>2</sup>), seguido por el tratamiento BS + BC con 499.67 cm<sup>2</sup> y BC + BL con 496.01 cm<sup>2</sup>. En contraste, el tratamiento con humus de lombricomposta (HL) mostró el valor más bajo (398.12 cm<sup>2</sup>), lo cual representa una reducción del 25.7% en comparación con el testigo. Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa, por lo que no se puede interpretar como un efecto consistente del tratamiento de humus de lombricomposta sobre el área foliar total. En la interacción entre variedad y tratamiento, se observaron algunas combinaciones con valores elevados en el área foliar total. La combinación Long Standing/BS + BL alcanzó el valor más alto con 588.80 cm<sup>2</sup>, seguido de Líder Star/Testigo con 548.80 cm<sup>2</sup>. En cambio, la combinación California/HL tuvo el área foliar total más baja (348.59 cm<sup>2</sup>), lo cual representa un 35% menos que el valor del testigo en general. A pesar de estas diferencias observadas, la falta de significancia estadística implica que estos valores pueden deberse a variaciones experimentales y no necesariamente a efectos específicos de los tratamientos o las variedades.



**Gráfica 36.** Interacción entre tratamientos y variedades en el área foliar total.



Prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ); BS, *Bacillus sp.*; BC, *B. cereus*; BL, *B. licheniformis*; HL, *Humus de lombricomposta*.

### Correlación de Spearman

La Tabla 1 presenta el índice de correlación de Spearman entre las variables evaluadas en las tres variedades de cilantro, permitiendo observar las relaciones entre las diferentes medidas de crecimiento y biomasa. Existe una correlación positiva significativa entre el número de hojas y la biomasa fresca foliar ( $r = 0.33$ ,  $p < 0.01$ ). Esto sugiere que a medida que aumenta el número de hojas, también incrementa la biomasa fresca en el follaje. Esta relación es lógica, dado que un mayor número de hojas contribuye directamente al aumento de la masa fresca total en la planta. Se observó una correlación positiva significativa entre la biomasa fresca foliar y la biomasa fresca radicular ( $r = 0.72$ ,  $p < 0.01$ ). Esta correlación indica que las plantas con un mayor desarrollo foliar tienden a tener también un sistema radicular más desarrollado, reflejando una relación balanceada en el crecimiento de ambas partes. La biomasa fresca foliar y la biomasa seca foliar están altamente correlacionadas ( $r = 0.87$ ,  $p < 0.01$ ), lo cual es esperado, ya que la biomasa fresca contribuye directamente a la biomasa seca una vez que se elimina el contenido de agua. También se observó una correlación positiva significativa entre la biomasa fresca radicular y la biomasa seca radicular ( $r = 0.79$ ,  $p < 0.01$ ). Esta relación indica que el peso seco de las raíces es proporcional al peso fresco, lo cual es común en las estructuras de soporte de la planta. La biomasa fresca foliar presenta una correlación positiva significativa con la biomasa seca radicular ( $r = 0.53$ ,  $p < 0.01$ ). Asimismo, la biomasa fresca radicular se correlaciona positivamente con la biomasa seca foliar ( $r = 0.69$ ,  $p < 0.01$ ) y la biomasa seca radicular ( $r = 0.79$ ,  $p < 0.01$ ). Estas

relaciones sugieren que el crecimiento en la biomasa foliar está asociado con el desarrollo radicular, lo cual es un indicativo de que las plantas con mayor capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes en las raíces tienden a desarrollar un mayor contenido de biomasa en el follaje.

**Tabla 1.** Índice de correlación de Spearman de las variables evaluadas en tres variedades de cilantro.

	Número de hojas	Número de macollos	Altura (cm)	Biomasa fresca foliar (g)	Biomasa fresca radicular (g)	Biomasa seca foliar (g)	Biomasa seca radicular (g)	Área foliar por hoja (cm <sup>2</sup> )
Número de hojas	1.00							
Número de macollos	-0.10	1.00						
Altura (cm)	-0.19	0.10	1.00					
Biomasa fresca foliar (g)	0.33**	-0.14	-0.20	1.00				
Biomasa fresca radicular (g)	0.18	-0.04	-0.11	0.72**	1.00			
Biomasa seca foliar (g)	0.19	-0.13	-0.21	0.87**	0.69**	1.00		
Biomasa seca radicular (g)	0.04	0.09	0.08	0.53**	0.79**	0.53**	1.00	
Área foliar por hoja (cm <sup>2</sup> )	-0.13	0.07	0.02	0.01	-0.08	0.01	-0.11	1.00

## V. CONCLUSIONES

Los resultados no mostraron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas, lo que sugiere que, bajo las condiciones experimentales, los biofertilizantes aplicados no generaron un impacto significativo en el crecimiento total del cilantro. Sin embargo, se observaron algunas tendencias interesantes.

En cuanto al área foliar por hoja, los tratamientos BS + BC y BC + BL incrementaron significativamente esta variable en comparación con el testigo, lo que indica que ciertas combinaciones de *Bacillus* sp. pueden mejorar el área unitaria de las hojas. Además, la variedad Líder Star presentó la mayor área foliar por hoja, sugiriendo una capacidad intrínseca de expansión foliar en esta variedad. No obstante, estos aumentos no se reflejaron en el área foliar total, la cual no mostró diferencias significativas, lo que sugiere que el efecto de los biofertilizantes se concentra en el tamaño de las hojas individuales sin afectar el área acumulada de la planta.

En el análisis de biomasa (fresca y seca, tanto foliar como radicular), el tratamiento testigo y algunos tratamientos con biofertilizantes presentaron valores altos, pero sin diferencias significativas.

Las correlaciones de Spearman revelaron que el aumento en la biomasa foliar está positivamente relacionado con el desarrollo radicular, indicando una relación balanceada en el crecimiento de ambas partes de la planta. Las correlaciones significativas entre biomasa fresca y seca refuerzan la consistencia de estas medidas en el seguimiento del desarrollo de la planta.

Aunque los biofertilizantes evaluados no generaron efectos estadísticamente significativos en la mayoría de las variables de crecimiento y biomasa en cilantro, el tratamiento BS + BC mostró una tendencia a mejorar el área foliar por hoja. Esto indica que algunas combinaciones de *Bacillus* spp. pueden influir en características específicas de la planta sin necesariamente aumentar el rendimiento total en biomasa. Estos resultados sugieren que, bajo condiciones controladas, el uso de biofertilizantes puede tener efectos limitados en cilantro, y se recomienda realizar estudios adicionales en diferentes

condiciones ambientales y con un enfoque en la interacción entre variedades y tratamientos para explorar su potencial en este cultivo.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado Santacruz, G. A. (Ed.). (2015). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/311424135\\_Introduccion\\_al\\_Uso\\_y\\_Manejo\\_de\\_los\\_Biofertilizantes\\_en\\_la\\_Agricultura](https://www.researchgate.net/publication/311424135_Introduccion_al_Uso_y_Manejo_de_los_Biofertilizantes_en_la_Agricultura). Consultado el 4 de diciembre de 2024.
- Ahemad, M. & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001
- Ali, M., Hassan, E., Ebrahim, A., Ismail, S., & Soliman, T. (2023). Response of Coriander Plants to Some Organic and Bio-Fertilizer Treatments. *New Valley Journal of Agricultural Science*, 3(10), 80-94. doi: 10.21608/nvjas.2023.229900.1235
- Altarhouni, R. S., Alsanose, A. E., Abudabbus, A. I., Alwoshesh, M. M., & Abd El-Rahman, A. H. (2022). Efecto de los niveles de ácido húmico y tratamientos con bioestimulantes en el crecimiento, rendimiento y producción de aceite volátil de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 50(2), 1-10.
- Amzeri, A., Badami, K., Santoso, S. B., & Sukma, K. P. W. (2022). Caracterización morfológica y molecular de líneas de maíz tolerantes al estrés por sequía. *Biodiversitas*, 23(11), 5844-5853. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231129>
- Bairwa, R. K., Dhaka, B. L., Poonia, M. K., Nagar, B. L., & Balai, C. M. (2017). Coriander: a potential seed spice crop of humid south eastern plains-zone of Rajasthan, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 2385–2391.
- Balasubramanian, S., Singh, K. K., Kumar, R. (2012). Physical properties of coriander seeds at different moisture content. *Int. Agrophys*, 26: 419–422.

- Blade, S, Bandara, M, Hu, S (2016). Coriander. Alberta Agriculture and Rural Development, *Agdex* 147/20-2, Alberta Ag-Info Centre Call toll free 310-FARM (3276).
- Brengi, S. H., Moubarak, M., El-Naggar, H. M. *et al.* (2024). Promoting salt tolerance, growth, and phytochemical responses in coriander (*Coriandrum sativum* L. cv. Balady) via eco-friendly *Bacillus subtilis* and cobalt. *BMC Plant Biol* 24, 848. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05517-3>
- Curioni, A. (1995). Análisis de mercado y tecnología de producción del coriandro. Proyecto de diversificación productiva (PRODIP), Serie B, No. 4, INTA.
- Curioni, A. & Arizio, O. (1997). Plantas aromáticas y medicinales umbelíferas. Capítulo 1, 1-34 pp.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2021). *Estadísticas sobre cultivos en EE. UU.* Departamento de Agricultura de EE. UU. Recuperado el 4 de diciembre de 2024, de <https://www.usda.gov>.
- Diederichsen, A. (1996). Coriander. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 3. In: Spices, Vol. 2; Purseglove, J.W.; Brown, E.G.; Green, C.L.; Robbins, S.R.J.; Eds.; Longman: New York; p. 736–788.
- Diederichsen, A., Hammer, K. (2003). The infraspecific taxa of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50(1): 33e63.
- Espinoza, A. (2022). Estudio Comparativo de la Efectividad de Abonos Orgánicos en Cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*). Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R. y Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 251-258.
- Fasusi, Oluwaseun Adeyinka, Cristina Cruz, Olubukola Oluranti Babalola. (2021). "Agricultural Sustainability: Microbial Biofertilizers in Rhizosphere

Management" *Agriculture* 11, no. 2: 163.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture11020163>

Filintas, Agathos, Nikolaos Gougoulas, Nektarios Kourgialas, and Eleni Hatzichristou. (2023). Management Soil Zones, Irrigation, and Fertigation Effects on Yield and Oil Content of *Coriandrum sativum* L. Using Precision Agriculture with Fuzzy k-Means Clustering. *Sustainability* 15, no. 18: 13524. <https://doi.org/10.3390/su151813524>

Gan, Jiawei, Wenxiu Zou, Xiaozeng Han, Xu Chen, Jun Yan, and Xinchun Lu. (2023). Effects of Organic Materials and Their Incorporation Depths on Humus Substances Structure and Soil Microbial Communities' Characteristics in a Chinese Mollisol. *Agronomy* 13, no. 8: 2169. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082169>

Gholizadeh, A., Khodadadi, M., & Sharifi-Zagheh, A. (2021). Modeling the final fruit yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) using multiple linear regression and artificial neural network models. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(10), 1398–1412. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1894637>

Hamza, R. K., Al-Mazirah, H. S., & Hamed, N. N. (2021). El efecto de la fecha de plantación y la aspersion con humus líquido y sus interacciones en el crecimiento de *Coriandrum sativum* L. y su rendimiento de aceite y frutos. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, 17(01-Supplement), 1297-1304.

Holland B, Unwin ID, Buss DH (1991). *Vegetables, Herbs and Spices*. 4th edition. Cambridge, UK; p. 113.

INTAGRI. 2021. El Cultivo de Cilantro. Serie Hortalizas, Núm. 27. *Artículos Técnicos de INTAGRI*. México. 4 p.

Jiménez-Gómez A, García-Estévez I, García-Fraile P, Escribano-Bailón MT, Rivas R. Increase in phenolic compounds of *Coriandrum sativum* L. after the application of a *Bacillus halotolerans* biofertilizer. *J Sci Food Agric*.

2020 Apr;100(6):2742-2749. doi: 10.1002/jsfa.10306. Epub 2020 Feb 12.  
PMID: 32003001.

- Kačániová, M.; Galovičová, L.; Ivanišová, E.; Vukovic, N.L.; Štefániková, J.; Valková, V.; Borotová, P.; Žiarovská, J.; Terentjeva, M.; Felšöciová, S.; et al. (2020). Antioxidant, Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential Oil for Its Application in Foods. *Foods*, 9, 282. <https://doi.org/10.3390/foods9030282>
- Kassahun BM (2018). Variation in pheno-qualitative characters of Ethiopian coriander (*Coriandrum sativum* L.) accessions. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res.*, 6(9): 531–538.
- Katiyar, R. B., Sundaramurthy, S., Sharma, A. K., Arisutha, S., Pratap-Singh, A., Mishra, S., Ayub, R., Jeon, B. -H., & Khan, M. A. (2023). Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 15(20), 14701. <https://doi.org/10.3390/su152014701>
- Khan IU, Dubey W, Gupta V (2014). Taxonomical Aspect of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Int. J. Curr. Res.*, 6(11): 9926–9930.
- Laribi B, Kouki K, M'Hamdi M, Bettaieb T (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia.*, 103: 9–26.
- Li, X., Li, J., Zhao, Z., Zhou, K., Zhan, X., Wang, Y., Liu, N., Han, X., & Li, X. (2024). Soil Organic Carbon and Humus Characteristics: Response and Evolution to Long-Term Direct/Carbonized Straw Return to Field. *Agronomy*, 14(10), 2400. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102400>
- Luayza, G. G., Palomo, I. R. y Brevedan, R. E. (1994). Efecto de la época de siembra sobre el crecimiento y desarrollo del coriandro cultivado bajo riego. *Anales de SAIPA*. Vol. 12, 353-362 pp.
- Mackvey B, Reilly A, Rogers BR, Pleasant B, Bilderback D, Brooke B (1991). The gardner's home companion. *Macmillan Publishing company, New York*; p. 409–410.



- Mandal, S., and Mandal (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 5(6): 421–428.
- McAusland, L., Lim, M.-T., Morris, D. E., Smith-Herman, H. L., Mohammed, U., Hayes-Gill, B. R., Crowe, J. A., Fisk, I. D., & Murchie, E. H. (2020). Growth spectrum complexity dictates aromatic intensity in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, 462.
- Mondino, M. & Garay, F. (2000). Coriandro (*Coriandrum sativum*) un cultivo invernal para Santiago del Estero. CFI-UNSE.
- Nejad Ebrahimi, S., Hadian, J., & Ranjbar, H. (2010). Essential oil compositions of different accessions of *Coriandrum sativum* L. from Iran. *Natural Product Research*, 24(14), 1287–1294. doi:10.1080/14786410903132316
- Nosheen, Shaista, Iqra Ajmal, and Yuanda Song. (2021). Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability* 13, no. 4: 1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>
- Oyege, Ivan, and Maruthi Sridhar Balaji Bhaskar. (2023). Effects of Vermicompost on Soil and Plant Health and Promoting Sustainable Agriculture. *Soil Systems* 7, no. 4: 101. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
- Ramos Salaza, R. A., Mendoza Villarreal, R., Robledo Torres, V., & Hernández Pérez, A. (2022). Efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en caracteres agronómicos y minerales de *Tagetes erecta*. *Biotecnia*, 24(2), 149-154.
- Rosero-Gómez, C.A., Zambrano, M. L., García, R. E., Viracocha, L. A. (2020). Nomenclatura y usos del culantro de monte (*Eryngium foetidum* L.) en la comunidad San Antonio de Padua, cantón Quinsaloma, provincia de Los Ríos –Ecuador. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat* 19(3):334–343. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.3.21>
- SAGARPA. (2013). Manual teórico-práctico: Los biofertilizantes y su uso en la agricultura. Recuperado el 4 de diciembre de 2024, de

<https://mydokument.com/manual-teorico-practico-los-biofertilizantes-y-su-uso-en-la-agricultura.html>

Semeraro, S., Fazzari, M., Kipf, P., Rasmann, S., & Le Bayon, R. -C. (2023). Humus Forms and Organic Matter Decomposition in the Swiss Alps. *International Journal of Plant Biology*, 14(3), 729-745. <https://doi.org/10.3390/ijpb14030054>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Cierre agrícola. Recuperado el 4 de diciembre de 2024, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Sharma MM, Sharma RK (2004). Coriander. In: Handbook of herbs and spices. Vol. 2 (ed.) Peter K. V. Woodhead Pub. Ld., Abington Hall, Abington cambridge CBI 6AH, England; p.145–161.

Silva, F., Domeño, C., & Domingues, F. C. (2020). *Coriandrum sativum* L. Characterization, Biological Activities, and Applications. En Preedy and Ross, Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention, 497–519. doi:10.1016/b978-0-12-818553-7.00035-8

TRIDGE. (2024). Inteligencia de exportación de cilantro. Recuperado el 4 de diciembre de 2024, de <https://www.tridge.com/intelligences/coriander/export>

UNIDO/FAO (2005). Herbs, spices and essential oils: Post harvest operations in developing countries. Vienna International Centre, G.P.O.Box. 3000, 1400 Vienna, Austria.

Universidad Nacional de Colombia. (1ª Ed.), Colombia. 291-309 p.

Vallejo, F. A. & Estrada, E. I. (2004). Producción de Hortalizas de Clima Cálido.

Vega, C. (2012). Evaluación de Cinco Cultivares de Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) Bajo Invernadero en la Región de la Araucanía. Temuco, Chile: Universidad de la Frontera.

Vejan, Pravin, Rosazlin Abdullah, Tumirah Khadiran, Salmah Ismail, and Amru Nasrulhaq Boyce. 2016. "Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in

Agricultural Sustainability—A Review" *Molecules* 21, no. 5: 573.  
<https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

Verma A, Pandeya S N, Yadav SK, Singh S, Soni P (2011). A review of *Coriandrum sativum* (Linn): An Ayurvedic medicinal herbs of happiness. *J. Pharmacy and Healthcare Research*, 1(3): 28–48.