

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

POSGRADO



MAESTRÍA EN ESTADÍSTICA APLICADA

**Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de
rábano con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma***

Trabajo de titulación previa la obtención del
Título de Magister en Estadística aplicada

Autora: Andrade Loor Diana Mercedes

Tutor: Caballero Núñez Alberto Ph.D.

Tulcán, 2024

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el maestrante Andrade Loor Diana Mercedes con el número de cédula 1315125144 ha elaborado el trabajo de titulación: “Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de rábano con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuestas en la Codificación del reglamento de Régimen Académico y de estudiantes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi con RESOLUCIÓN N° 171-CSUP- 2023, por lo tanto, autorizo su presentación para la sustentación respectiva

Caballero Núñez Alberto Ph.D.

TUTOR

Tulcán, octubre de 2024

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente trabajo de titulación constituye un requisito previo para la obtención del título de Magister en Estadística aplicada.

Yo, Andrade Loor Diana Mercedes con cédula de identidad número 1315125144 declaro: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

.....

Andrade Loor Diana Mercedes

AUTORA

Tulcán, octubre de 2024

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrade Loor Diana Mercedes declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de titulación: "Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de rábano con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

.....

Andrade Loor Diana Mercedes

AUTORA

Tulcán, octubre de 2024

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y salud cada día para poder lograr los objetivos propuestos en mi vida.

A mis padres Orlando Antonio y Doyis Amarilis por ser mi motor fundamental, mi apoyo incondicional, mi fortaleza para poder cumplir mis objetivos.

A mi esposo Diego Efrén Zambrano gracias por todo el apoyo incondicional, y por darme fuerzas de motivación para poder lograr las metas propuestas.

A mi tutor de tesis Ph.D. Alberto Caballero por compartir conocimientos y ser la guía durante la ejecución de la tesis.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” por permitirme realizar la ejecución de la tesis de la maestría.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes han sido el motor principal de mi vida, y me han brindado todo el apoyo incondicional y han estado presentes, proporcionándome el afecto y cariño necesario para alcanzar mis objetivos. Agradezco profundamente su constante respaldo en cada fase de mi vida

También dedico este trabajo a mi hermano Erick Orlando, con la esperanza de que le sirva como ejemplo a seguir. Quiero recordarle que, con esfuerzo y dedicación, es posible alcanzar todas las metas.

ÍNDICE

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	17
PROBLEMA	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Hipótesis	18
1.3. Objetivos de investigación	19
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
1.4. Justificación.....	20
CAPÍTULO II	22
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	22
2.1. Antecedentes de investigación	22
2.2. Marco teórico	27
2.2.1. Origen e importancia del cultivo de rábano	27
2.2.2. Taxonomía y morfología del cultivo de rábano.....	27
2.2.3. Fenología del cultivo de rábano	28
2.2.4. Requerimientos edafoclimáticos.....	29
2.2.5. Requerimientos nutricionales	29
2.2.6. Prácticas agrícolas del cultivo rábano	29
2.2.7. Importancia de los microorganismos benéficos en el campo agropecuario	30
2.2.8. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal	31
2.2.9. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal	36
CAPÍTULO III	40

METODOLOGÍA.....	40
3.1. Descripción del área de estudio.....	40
3.1.1. Grupo de estudio	41
3.2. Enfoque y tipo de investigación	41
3.2.1. Enfoque.....	41
3.2.2. Tipo de Investigación	42
3.3. Definición y operacionalización de variables	42
3.4. Procedimientos	43
3.4.1. Fase 1	43
3.4.2. Fase 2	47
3.5. Métodos estadísticos	51
3.5. Consideraciones bioéticas.....	64
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS.....	103
ANEXOS	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	27
Taxonomía del cultivo de rábano	27
Tabla 2	30
Prácticas agrícolas en el cultivo de rábano	30
Tabla 3	42
Operacionalización de las variables	42
Tabla 4	44
Esquema del análisis de varianza	44
Tabla 5	44
Descripción de los tratamientos	44
Tabla 6	48
Esquema del ANOVA.....	48
Tabla 7	48
Descripción de los tratamientos	48
Tabla 8	50
Dosis de aplicación en las parcelas	50
Tabla 9	59
ANOVA para el Diseño Completamente al Azar	59
Tabla 10	65
Prueba de normalidad de solubilización de fosfato y halos de sideróforos en cepas Bacillus y Trichoderma.....	65
Tabla 11	66
Prueba de homogeneidad de varianza en el índice de solubilización, halos de sideróforos en cepas Bacillus y Trichoderma.....	66
Tabla 12	67

Análisis descriptivo del índice de solubilización de fosfato (%) en cepas Bacillus	67
Tabla 13	67
Análisis de varianza del índice de solubilización de fosfato en cepas Bacillus	67
Tabla 14	68
Modelo de regresión lineal de solubilización de fosfato en cepas Bacillus.....	68
Tabla 15	70
Análisis descriptivo de halos de sideróforos (mm) en cepas Bacillus.....	70
Tabla 16	70
Análisis de varianza en formación de halos de sideróforos (mm) cepas Bacillus	70
Tabla 17	71
Modelo de regresión lineal de halos de sideróforos cepas de Bacillus	71
Tabla 18	73
Análisis descriptivo de solubilización de fosfato (mm) en cepas Trichoderma .	73
Tabla 19	73
Análisis de varianza en solubilización de fosfato (mm) en cepas de Trichoderma	73
Tabla 20	74
Modelo de regresión lineal de halos de solubilización de fosfato en cepas (mm) Trichoderma	74
Tabla 21	76
Análisis descriptivo de la formación de halos de sideróforos (mm) en cepas Trichoderma	76
Tabla 22	76
Análisis de varianza en la formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de Trichoderma	76
Tabla 23	77

Modelo de regresión lineal de formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de Trichoderma	77
Tabla 24	79
Prueba de normalidad de la respuesta del cultivo de rábano.....	79
Tabla 25	79
Prueba de homogeneidad de varianza de la respuesta del cultivo de rábano .	79
Tabla 26	80
Análisis descriptivo de la altura de planta (cm)	80
Tabla 27	81
Análisis de varianza de altura de planta (cm).....	81
Tabla 28	81
Modelo de regresión lineal en altura de planta (cm).....	81
Tabla 29	83
Análisis descriptivo de longitud de hoja (cm).....	83
Tabla 30	84
Análisis de varianza de longitud de hoja (cm)	84
Tabla 31	84
Modelo de regresión lineal de longitud de hoja (cm)	84
Tabla 32	86
Análisis descriptivo ancho de hoja (cm)	86
Tabla 33	86
Análisis de varianza de ancho de hoja (cm).....	86
Tabla 34	87
Modelo de regresión lineal de ancho de hoja (cm).....	87
Tabla 35	89
Análisis descriptivo número de hojas	89
Tabla 36	89
Análisis de varianza de número de hojas/planta	89

Tabla 37	90
Modelo de regresión lineal de numero de hojas.....	90
Tabla 38	92
Análisis de descriptivo de longitud de raíz (cm)	92
Tabla 39	92
Análisis de varianza de longitud de raíz (cm).....	92
Tabla 40	93
Modelo de regresión lineal de longitud de raíz (cm).....	93
Tabla 41	95
Análisis descriptivo diámetro de bulbo (cm)	95
Tabla 42	95
Análisis de varianza de diámetro de bulbo (cm).....	95
Tabla 43	96
Análisis descriptivo diámetro de bulbo (cm)	96
Tabla 44	98
Análisis descriptivo número de rendimiento (Kg/ha ¹)	98
Tabla 45	99
Análisis de varianza de rendimiento (Kg/ha ⁻¹)	99
Tabla 46	100
Modelo de regresión lineal del rendimiento Kg/ha ⁻¹	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	28
Fenología del cultivo de rábano	28
Figura 2	31
Hongos <i>Trichoderma longibrachiatum</i>	31
Figura 3	33
Estructura microscópica E-44 <i>Bacillus subtilis</i>	33
Figura 4	40
Ubicación de la carrera de Medicina Veterinaria de ESPAM MFL	40
Figura 5	69
Test de Tukey del índice de solubilización (%) en cepas de <i>Bacillus</i>	69
Figura 6	72
Test de Tukey de formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de <i>Bacillus</i>	72
Figura 7	75
Test de Tukey de la solubilización de fosfato (mm) en cepas <i>Trichoderma</i>	75
Figura 8	78
Test de Tukey de los sideróforos (mm) en cepas <i>Trichoderma</i>	78
Figura 9	83
Test de Tukey de altura de planta (cm).....	83
Figura 10	85
Test de Tukey de longitud de hoja (cm)	85
Figura 11	88
Test de Tukey de ancho de hoja(cm)	88
Figura 12	91
Test de Tukey de numero de hojas/planta (cm)	91
Figura 13	94

Test de Tukey longitud de raíz(cm)	94
Figura 14	98
Test de Tukey diámetro de bulbo (cm).....	98
Figura 15.	101
Test de Tukey rendimiento (Kg/ha ⁻¹)	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado o Acta del Perfil de Investigación.....	122
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	122
Anexo 3. Activación y multiplicación de cepas de <i>Bacillus</i>	123
Anexo 4. Activación y multiplicación cepas de <i>Trichoderma</i>	123
Anexo 5. Formación de halos de solubilización de fosfato en <i>Bacillus</i>	124
Anexo 6. Formación de halos de solubilización de fosfato en <i>Trichoderma</i> 124	
Anexo 7. Formación de halos de sideróforos en <i>Bacillus</i> (mm).....	124
Anexo 8. Formación de halos de sideróforos en <i>Trichoderma</i> (mm)	125
Anexo 9. Croquis de los tratamientos en las parcelas	125
Anexo 10. Distribución de los tratamientos en las parcelas	125
Anexo 11. Siembra la semilla de rábano y aplicación de los microorganismos <i>Bacillus</i> y <i>Trichoderma</i>	126
Anexo 12. Plantas de rábano en las parcelas	126
Anexo 13. Variables morfológicas y reproductivas del rábano.	127

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de rábano con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en Calceta, Provincia Manabí en el año 2023. La investigación se desarrolló en dos fases: la primera fase abarcó la activación, multiplicación y caracterización de las cepas *Bacillus* (E-44, E-54, 21-BMC, 31-BMC, 20-BP) y *Trichoderma* (EM-12, EM-72, EM-150, EM-149, EM-49), que permitió verificar las características deseables como promotoras de crecimiento vegetal, las variables evaluadas fueron la formación de halos de solubilización de fosfato y formación de halos de sideróforos. La segunda fase consistió en determinar el efecto promotor de crecimiento vegetal de las cepas *Bacillus* y *Trichoderma* en las plantas de rábano. Se utilizó un DCA diseño completamente al azar, las unidades experimentales fueron las parcelas con semillas de rábano variedad Crimson Gian. Los tratamientos evaluados fueron: Cepas *Bacillus* T1, Cepas *Trichoderma* T2, Cepas *Bacillus* + *Trichoderma* T3, Testigo absoluto T4. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, longitud de raíz, ancho de hoja, longitud de hoja, diámetro de frutos. Los resultados muestran que las variables estudiadas presentaron normalidad y homogeneidad de varianza al aplicar estadística paramétrica. Se empleó el análisis de varianza ANOVA para el análisis estadístico de dichas variables. La bacteria E-54 produjo el mayor índice de solubilización 1.31 mm, mientras que la cepa E-44 mostró el mayor halo de sideróforos 2 mm; a diferencia de las cepas fúngicas EM-149 que produjo el mayor halo de solubilización de fosfato 7.17 mm y la cepa EM-150 que produjo el mayor halo de sideróforos 3.8 mm respectivamente. El tratamiento T3 produjo la mayor longitud de hoja, ancho de hoja, número de hojas, diámetro del bulbo y rendimiento del cultivo de rábano. La combinación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* puede utilizarse para mejorar parámetros agro-productivos en el cultivo de rábano.

Palabras clave: Rábano, Inoculación, *Bacillus*, *Trichoderma*, sideróforo, solubilización de fosfato.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the plant growth promoting capacity in radish cultivation with *Bacillus* and *Trichoderma* strains in Calceta, Manabí Province in 2023. The research was performed in two phases: the first one included the activation, multiplication and characterization of the strains of *Bacillus* (E-44, E-54, 21-BMC, 31-BMC, 20-BP) and *Trichoderma* (EM-12, EM-72, EM-150, EM-149, EM-49), which allowed the verification of the desirable characteristics as plant growth promoters, evaluating the formation of phosphate solubilization halos and siderophore halos. The second phase consisted of determining the plant growth promoting effect of *Bacillus* and *Trichoderma* strains on radish plants. A completely randomized design CRD was used, in which the experimental units were the plots with seeds of Crimson Gian radish variety. The evaluated treatments were *Bacillus* strains T1, *Trichoderma* strains T2, *Bacillus* + *Trichoderma* strains T3, absolute control T4. The evaluated variables were plant height, root length, leaf width, leaf length, and bulb diameter. The results show that the studied variables presented normality and homogeneity of variance when applying parametric statistics. An ANOVA was used for the statistical analysis of these variables. The bacteria E-54 produced the highest solubilization index 1.31 mm, while the strain E-44 showed the largest siderophore halo 2 mm, in contrast to the fungal strain EM-149 which produced the highest phosphate solubilization halo 7.17 mm and strain EM-150 which produced the highest siderophore halo 3.8 mm. Treatment T3 produced the highest leaf length, leaf width, number of leaves, bulb diameter and yield of radish crop. The combination of *Bacillus* and *Trichoderma* strains can be used to improve agro-productive parameters in radish cultivation.

Keywords: Radish, Inoculation, *Bacillus*, *Trichoderma*, siderophore, phosphate solubilization

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible plantea la visión de un mundo más sano, más justo y equitativo, un mundo libre de pobreza, hambre y malnutrición. El hambre a nivel mundial no empeoró entre 2021 y 2022, pero va en aumento en muchos lugares del mundo (FAO, FIDA, OPS, PMA y UNICEF. 2023). El número de personas que sufren inseguridad alimentaria moderada o grave en América Latina y el Caribe aumentó de 205,2 millones en 2019 a 267,7 millones en 2021. Esto se debe principalmente al aumento en América del Sur y proporciona evidencia adicional de un deterioro de la situación allí, especialmente para las personas que ya se enfrentan a graves dificultades. La inseguridad alimentaria moderada o grave afectó en 2021 a 177,7 millones de personas en América del Sur, 61,9 millones en Mesoamérica y 28 millones en el Caribe (FAO, IFAD, PAHO, UNICEF y WFP. 2023).

En América del Sur, el Estado Plurinacional de Bolivia registró la prevalencia más alta de hambre (19,4%), seguido de la República Bolivariana de Venezuela (17,9%) y el Ecuador (13,9%). Entre los países con la prevalencia mínima de subalimentación en la subregión se encuentran el Brasil (4,7%), la Argentina (3,2%), Chile (2,5%) y Guyana y el Uruguay (ambos por debajo del 2,5%) (FAO. 2023). En Ecuador, aproximadamente el 20% de la población no tiene acceso a una dieta saludable (FAO *et al.*, 2023). Esta situación podría estar relacionada con la aplicación indiscriminada de insumos químicos en la producción agrícola, como pesticidas, plaguicidas y fertilizantes, que generan problemas de salud consecuentemente, afectan la calidad de vida de la población (Simbaña, 2015). La salud humana y comunitaria está intrínsecamente ligada a la salud de los ecosistemas: suelos fértiles dan origen a cultivos robustos, los cuales son fundamentales para la salud animal y humana (Secretaría General de la Comunidad Andina [SGCA], 2011).

En Manabí, la utilización de pesticidas y fertilizantes con nitrógeno y fósforo en la agricultura puede llevar a problemas como la disminución de microorganismos beneficiosos, la degradación del suelo por erosión, compactación y salinización, así como la contaminación del aire, suelo y agua. Esto puede resultar en una rápida reducción de la materia orgánica y un desequilibrio nutricional, afectando negativamente la fertilidad del suelo y su capacidad productiva (Meena *et al.*, 2020). Por lo tanto, la validación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* es de importancia para garantizar su calidad y seguridad al ser inoculados en el cultivo del rábano.

En Ecuador, se comercializan microorganismos promocionados como beneficiosos para la producción agroalimentaria. Sin embargo, estos provienen de regiones con condiciones edafoclimáticas distintas a las locales y, frecuentemente, no se ha verificado su eficacia, adaptabilidad y seguridad para ser empleados en nuestros ecosistemas, lo que podría representar una barrera para su implementación en prácticas agrícolas (Zambrano, 2011).

Con base a lo expuesto, el problema científico de la investigación se plantea a través la siguiente interrogante: ¿Cómo incide la inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* con capacidad promotora del crecimiento vegetal, sobre el rendimiento y calidad del fruto en cultivo de rábano (*Raphanus sativus*)?

1.2. Hipótesis

La inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* con capacidad promotora del crecimiento vegetal, incide sobre el rendimiento y calidad del fruto en cultivo de rábano (*Raphanus sativus*)

VI: Inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*

VD: rendimiento y calidad del fruto en el cultivo del rábano

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de rábano con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en Calceta, Provincia Manabí en el año 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad de promoción de crecimiento vegetal a las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en estudio *in vitro*.
- Evaluar la respuesta del cultivo de rábano (*Raphanus sativus L*) a la inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* promotoras de crecimiento vegetal.

1.4. Justificación

Chávez *et al.* (2020) indican que, mediante el uso de estrategias adecuadas, la agricultura sostenible puede contribuir a la reducción del uso de fertilizantes sintéticos y a la mitigación de la contaminación ambiental. Utilizar técnicas biotecnológicas como la biofertilización en cultivos de interés agroalimentario representa una alternativa eficiente y ecológica, ya que disminuye la contaminación generada por los fertilizantes químicos.

La aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma*, benéficos para las plantas de rábano, reduce el uso intensivo de agroquímicos y así se reducen los altos costos de producción para los pequeños y medianos productores; de la misma manera, se acogen nuevos conocimientos y aplicaciones científicas para marcar una nueva era basada en el aprovechamiento sustentable de los recursos biológicos para la producción de productos sostenibles en beneficio de la salud.

Los principales retos en la agricultura sostenible están asociados con la economía de los productores, debido a la percepción y balance que hacen respecto al costo-beneficio de los productos agrícolas (Bergel, 2020); por tal razón, la búsqueda de nuevas alternativas económicamente viables es de vital importancia, ya que se garantiza la obtención de productos sustentables en el sector agropecuario y genera mayores ganancias para los agricultores debido a la reducción de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

Los resultados de la investigación pueden contribuir significativamente al conocimiento existente. Algunos posibles vacíos de conocimiento que podrían llenarse incluyen: Efecto de las cepas microbianas: ¿Cuáles son los efectos positivos específicos de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en el crecimiento del rábano? ¿Hay diferencias notables en comparación con otros microorganismos o tratamientos?, también el Impacto en la agricultura sostenible: ¿Cómo se pueden aplicar estos hallazgos en prácticas agrícolas sostenibles? ¿Pueden estas cepas ser utilizadas como biofertilizantes o biopesticidas?

El presente trabajo de investigación aporta al Plan Nacional de Desarrollo Vigente en el Ecuador, (2021-2025) que fue aprobado con la resolución Nro. 002-2021-CNP, en el eje económico, al objetivo 3, que es fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícolas, bajo el enfoque de la economía circular; Además la información generada en la investigación contribuye con la línea de investigación de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi: “Aplicación de la Estadística en la solución de problemas del entorno”. También aporta con el Objetivo 12: Producción y Consumo Responsables: Al utilizar microorganismos beneficiosos en lugar de productos químicos, se promueve una agricultura más sostenible y responsable.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de investigación

Sánchez *et al.* (2012) realizaron la investigación en inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero, en el área de la Corporación Colombiana. Utilizaron como tratamientos las cepas bacterianas *Pseudomonas putida* (PSO14) y *Enterobacter sp.* (TVL-2) y fertilización química. Los datos fueron sometidos empleando un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey con 95% de confianza. En el experimento evidenciaron que las cepas TVL-2 y PSO14 incrementaron de manera significativa la biomasa y desarrollo de la planta, como el rendimiento en la producción de frutos. Lo que aporta esta investigación es la metodología utilizada para determinar las características de promoción de crecimiento de las bacterias y el análisis estadístico utilizado para determinar el efecto de las bacterias en relación con el testigo.

Estrada *et al.* (2013) inocularon bacterias diazotróficas *H. seropedicae* (H18, ZA15 y ZAE 94), *B. vietnamiensis* (AR114), *G. diazotrophicus* (PAL5) y *A. chroococcum* (Ac1) para el desarrollo de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en la Universidad Rural do Rio de Janeiro, Brasil. Como resultado las cepas de *Herbaspirillum* fijadoras de nitrógeno pueden solubilizar fósforo inorgánico *in vitro* y promover un aumento en el rendimiento de las plantas de arroz cultivadas, las bacterias promovieron la eficiencia de los elementos (N, P K) en un 47 % en las plantas, en comparación con la que se utilizaron fertilizantes químicos. El aporte científico es que las bacterias pueden ser utilizadas como fuentes nutricionales para los cultivos y la distribución del diseño experimental en los tratamientos.

Cisneros *et al.* (2016) evaluaron el efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF), *Kocuria sp.* y *Bacillus subtilis*, sobre el desarrollo de plántulas de café variedad Castillo. El experimento se realizó en condiciones de invernadero en Palmira, Colombia. El experimento se realizó en condiciones de invernadero, se

utilizó el diseño experimental DCA, con nueve tratamientos y diez repeticiones. Los tratamientos se establecieron bajo tres tipos de sustratos para las plántulas. La aplicación de pulpa de café descompuesta con y sin RF, y de las BSF favoreció la disponibilidad de fósforo, que mejoró el desarrollo de las plántulas de café. La información generada en la investigación contribuye en la planificación del tipo experimento aplicado para evaluar el efecto de las bacterias solubilizadoras de fosfato.

En un estudio realizado por González *et al.* (2019) en mejoramiento de la productividad agrícola de lechuga y rábano con el uso de microorganismos eficientes, en la Universidad de Matanzas, Cuba. Plantearon un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Aplicaron un ANOVA para realizar el análisis estadístico de los datos y para la comparación de medias se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p < 0.05$). Finalmente concluyeron que la aplicación de microorganismos eficientes en la asociación lechuga, rábano en condiciones organopónicas morfo métrica mejora los parámetros de rendimiento en los cultivos. Las técnicas aplicadas en el laboratorio para la obtención de los microorganismos eficientes y el marco experimental utilizado en el campo contribuyen a la investigación.

Zulueta *et al.* (2020) evaluaron un estudio comparativo con bioinoculación de microorganismos benéficos y fertilización química, en el campus Córdoba-Veracruz, México. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con siete tratamientos: 1) fertilización inorgánica total (100%FI); 2) hongos micorrízicos arbusculares (HMA); 3) *Azospirillum brasilense* (Ab); 4) HMA+Ab; 5) HMA+50%FI; 6) Ab+50%FI y 7) HMA+Ab+50%FI. Los mejores resultados se presentaron con los microorganismos en dosis reducida de fertilización (HMA + Ab + 50% FI) lo cual representa una alternativa potencial para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz en condiciones de campo. Los datos contribuyen en la investigación para realizar la comparación de las medias de las variables de rendimiento del cultivo de rábano.

Amado *et al.* (2022) realizaron una investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín (Colombia). Se realizó sobre el efecto de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal sobre la fenología del cultivar de quinua

Amarilla Marangani. Se utilizaron las cepas bacterianas del género *Bacillus* (*licheniformis*, *cereus*), *Actinobacillus*, *Pseudomona aeruginosa*, Coctel (combinación de las bacterias caracterizadas), DIPEL® (*Bacillus thuringensis*) y un tratamiento control. Los datos se analizaron con los supuestos de normalidad y homogeneidad a través de la prueba de Shapiro Willk y Barttlet, las diferentes variables se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias (Tukey $P < 0.05$), también se realizó un análisis de agrupamiento que determinó la similitud entre los tratamientos.

Seguidamente los autores mostraron que la aplicación de microorganismos favorece el crecimiento de las plantas. *Actinobacillus* aumentó el número de panículas y *P. aeruginosa* la producción de granos. Estos resultados confirmaron que el uso de microorganismos favorece los parámetros fenológicos de la quinua, lo que permite reconocer el potencial biológico de las bacterias que promueven el crecimiento en este cultivo. La investigación aporta en la utilización del análisis estadístico aplicado a las variables morfológicas y productivas del cultivo.

Un estudio realizado por Mahmoodian *et al.* (2022) en el Instituto Nacional de Ingeniería Genética y Biotecnología, Teherán, Irán, indican que la utilización de hongos del género *Trichoderma* aumenta la biomasa total, la altura de las plántulas y el potencial de crecimiento de las plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Los datos se analizaron mediante ANOVA unidireccional. Las medias de los tratamientos se separaron mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de nivel de significación. Los resultados mostraron que ChBD15 y ChBD1 tuvieron un mejor rendimiento en términos de aumento de la absorción de nutrientes y el crecimiento de las raíces, mejorando así la tasa de crecimiento y el rendimiento de la planta. La utilización de hongos del género *Trichoderma* aporta a la investigación por el efecto positivo que causó con las plantas y así se pueden validar las cepas fúngicas en diferentes cultivos.

Reyes *et al.* (2022) realizaron una evaluación sobre el efecto de tratamientos pre germinativos con *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp sobre el porcentaje de germinación de semillas de *A. victoriae-reginae*, Campo experimental Saltillo,

México. En la investigación se realizó un análisis de covarianza para evaluar el efecto de los tratamientos pre germinativos y el tiempo después de la siembra sobre el PG de las semillas tratadas ($\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico R. Como conclusión la germinación de semillas en *A. victoriae-reginae* respondió favorablemente al tratamiento con *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp incrementaron los porcentajes de germinación. Los resultados obtenidos contribuyen a los agricultores y así poder generar nuevas alternativas biológicas para los cultivos, y por ende evitando los productos químicos como fuente contaminante para la salud.

Martinez *et al.* (2014) evaluaron microorganismos de montaña (MM) provenientes de tres sistemas agroecológicos (café, potrero y un bosque natural) y microorganismos Eficientes comerciales (EM), para la producción del cultivo de acelga (*Beta vulgaris*). Para tales fines se estableció un diseño experimental, de parcelas divididas, determinadas por el factor aplicación (1 y 2 veces por semana), y en cada parcela 3 bloques con los 5 tratamientos. Finalmente, la aplicación de microorganismos mejoró la calidad del suelo evaluado, ya que provocó cambios en su fertilidad e incremento el pH y el contenido de nitrógeno. Esta investigación genera metodologías para obtener los organismos eficientes en el laboratorio y aplicarlos en el campo.

En una investigación realizada por Toribio *et al.* (2020) utilizaron bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de *Latuca sativa L* en campo de la Universidad Autónoma de Guerrero, México, se evaluó una parcela de lechugas con las cepas *B. licheniformis*, *P. putida*, *Pseudomonas* sp., se utilizó el análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey 0.05, Finalmente se obtuvieron plantas sanas y con mayor peso para ambos consorcios bacterianos, que el fertilizante control. En la investigación se llega a la conclusión que las bacterias promotoras de crecimiento son viables para los agricultores, que ayudan a mitigar el abuso de agroquímicos y obtener productos que garanticen la seguridad alimentaria. La aplicación de las bacterias *B. licheniformis* contribuyen a la presente investigación porque son validadas como potenciadora de crecimiento vegetal y pueden ser aplicadas como fuentes nutricionales a los cultivos.

Martin *et al.* (2018) realizaron un estudio sobre el efecto promotor del crecimiento vegetal de bacterias del área natural en el Cerro de Culiacán, Guanajuato, México. El estudio de microorganismos de zonas protegidas, entre ellos las PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), es de gran importancia en la búsqueda de alternativas biotecnológicas para la producción agrícola, debido a la creciente demanda de los consumidores, quienes cada vez son más exigentes con el uso de agroquímicos. En este trabajo, se evaluó la capacidad promotora de crecimiento y desarrollo de plantas de rábano (*Raphanus sativus*), aisladas en un medio con actividad ACC (1-ácido carboxílico, 1-aminociclopropano) desaminasa. El suelo utilizado provino del área protegida Cerro del Culiacán, extraído de la rizosfera de plantas de encino (*Quercus rugosa*). Se evaluaron los porcentajes de germinación y desarrollo de la planta hasta la cuarta semana después de la siembra, así como la capacidad de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos. La mayoría de las cepas aceleraron la germinación de las semillas. Las cepas 254, 275, 256, 304, 225 y 113 aumentaron la longitud de la raíz, y la mayoría de los hongos fueron inhibidos por las diez cepas evaluadas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Origen e importancia del cultivo de rábano

De acuerdo con Torrez (2011), el rábano es una hortaliza de procedencia asiática; no obstante, ya se cultivaba en Egipto y Grecia hace 400 años a.C. Es un alimento que tiene un bajo porcentaje de calorías debido a su elevada concentración de agua, además tiene enormes porciones de potasio y yodo. De la misma manera, InfoAgro (2009) indica que el rábano es un alimento con bajo aporte calórico gracias a su alto contenido en agua.

Oliveira *et al.* (2010) manifiestan que el rábano es una planta de gran importancia por sus altos contenidos de vitaminas y elementos importantes como el potasio, calcio, fósforo y azufre. Seguidamente, Cando (2016) indica que en Ecuador se consume de manera frecuente hortalizas entre ellas el rábano, debido a que las personas lo buscan por su sabor. De igual forma, Velecela *et al.* (2019) indican que es importante para el cuidado de la glándula tiroides, ya que regula el metabolismo e interviene en procesos involucrados con el crecimiento, y en los procesos del intestino.

2.2.2. Taxonomía y morfología del cultivo de rábano

La taxonomía del cultivo de rábano se centra en el estudio y clasificación dentro del reino vegetal.

Tabla 1

Taxonomía del cultivo de rábano

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Familia:	Brassicaceae
Género:	<i>Raphanus</i>
Especie:	<i>sativus L.</i>
Nombre Científico:	<i>Raphanus sativus L</i>

Fuente: (Nasevilla, 2010).

De acuerdo con Moscoso (2017) indica las características morfológicas del cultivo de rábano

Sistema radicular: La raíz es carnosa y se puede encontrar de distintas formas y tamaño, con una coloración rojiza, rosado con blanco en el centro de la raíz.

Tallo: el tallo tiende a ser erecto, poco ramificado, obtiene un tamaño de 50 a 100 centímetros, la base del tallo es hispida, presenta un color verdoso y algo pubescente.

Hojas: Son basales, pecioladas, glabras y se orientan en roseta, son lobulares, cuenta con 1 a 3 pares de segmentos laterales de borde irregularmente dentado.

Flores: Dispuestas en ramilletes, muestran pedicelos delgados, sus sépalos son erguidos y pétalos blancos, aunque en algunas ocasiones de color rosa, con nervios violáceos o púrpura.

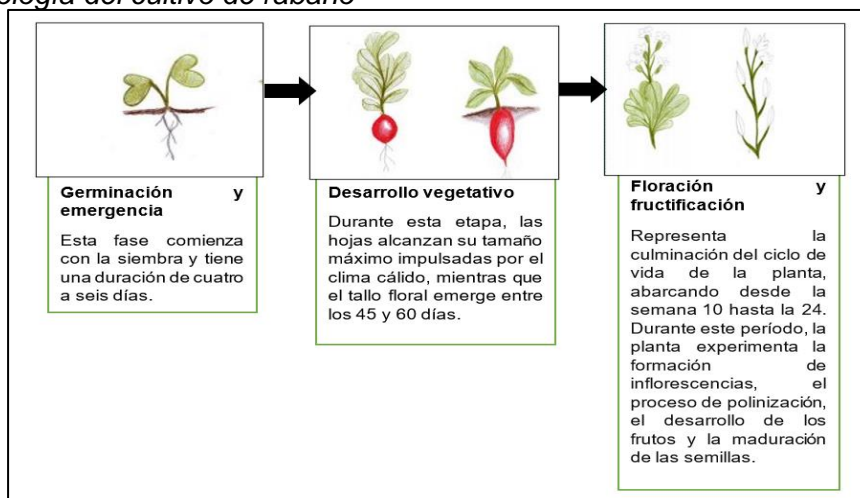
Fruto: Tiene de tres a diez centímetros de longitud, esponjoso con un pico extenso, semillas redondas de color rosadas con un tinte amarillento, cada fruto tiene de una a diez semillas rodeadas en un tejido esponjoso.

2.2.3. Fenología del cultivo de rábano

Según Enríquez, (2014) menciona que las principales etapas de la evolución de planta de rábano son: emergencia, desarrollo vegetativo, inducción floral, formación del fruto, envainado y madurez.

Figura 1

Fenología del cultivo de rábano



Fuente:(Enríquez,2014)

2.2.4. Requerimientos edafoclimáticos

Según León *et al.* (2019) el rábano requiere de ciertas condiciones para lograr realizarse correctamente, las más relevantes son la temperatura, el clima, el tipo de suelo, la humedad relativa en donde va a ser cultivado.

Precipitación: Se desarrolla entre 1990-2240 m.s.n.m. La falta de agua y temperaturas altas producen la dureza en el bulbo y la floración temprana, y por lo contrario, con humedad excesiva en el suelo las raíces se agrietan (Infoagro, 2012).

Temperatura: Para este cultivo la temperatura óptima oscila entre los 18 a 21°C. Al estar la planta expuesta durante mucho tiempo a temperaturas menores a 7 °C, podría conllevar a que el tallo floral crezca de manera prematura (Ramirez y Pérez, 2006).

Humedad: el rábano presenta una humedad relativa comprendida entre 60–65%, siendo la óptimas para obtener un buen desarrollo de la planta (Vincent, 2013).

Suelo: Esta planta requiere de un suelo esparcido, de preferencia arenoso, no obstante, debe tener altas porciones de materia orgánica, la retención de agua debe ser alta (Franco *et al.*, 2021).

pH: Moderadamente es tolerante a la acidez en el suelo, acepta pH entre 5.5-6.8 y es poco tolerante a la salinidad (Infoagro, 2012).

2.2.5. Requerimientos nutricionales

Según Mosquera (2018), el rábano es un cultivo muy exigente en cuanto al balance nutricional del suelo. Esto se debe a su ciclo corto de cultivo. Su requerimiento está entre: 60-120 Kg/ha de N, 40-100 Kg/ha de P₂O₅ y 70-140 Kg/ha de K₂O. Para alcanzar 100 kg de producción, las sustancias diarias nutritivas son: 16,6 g de N, 6 g de P₂O₅ y 17 g de K₂O.

2.2.6. Prácticas agrícolas del cultivo rábano

Según Fontalvo (2021) indica las prácticas de campo más adecuadas para el rábano, son las detalladas en el siguiente cuadro.

Tabla 2*Prácticas agrícolas en el cultivo de rábano*

Prácticas agrícolas	Cultivo de rábano
Siembra	Siembra directa
Germinación	Colocando una semilla por agujero, entre 1 y 2 cm de profundidad, tardan entre 3 y 5 días en germinar. Deja una distancia de siembra entre 5 y 7 cm.
Aporque	Cubre cuando se esté observando demasiado el rábano, o cuando la raíz se esté saliendo del suelo.
Abonamiento	Se recomienda aplicar 2.5 kg/m ² de composta después del trasplante,
Riego	Cuatro veces por semana utilizando una lámina de 30 mm aproximadamente.
Cosecha	Es un cultivo de ciclo corto, después de 25 a 45 días de la siembra ya se puede empezar a cosechar rábanos.

Fuente: (Fontalvo, 2021).

2.2.7. Importancia de los microorganismos benéficos en el campo agropecuario

De acuerdo con Jafar y Behzad, (2016) la aplicación dual de microorganismos benéficos a los cultivos agrícolas es una alternativa técnicamente factible de promover entre los productores, no solo por ser amigable con el ambiente, sino por tratarse de una práctica simple y económica que reduce el uso de agroquímicos y los altos costos de producción.

Además, la disminución de las amenazas ambientales tan nocivas que ocasiona el uso excesivo de insumos químicos, como plaguicidas y fertilizantes sintéticos, entre los que se resaltan la degradación y compactación del suelo. La contaminación de las aguas subterráneas, aire y suelo (Pérez *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2018) y su acidificación (Goulding, 2016), sin descartar los daños y perjuicios que ocasionan a la salud humana (Silveira *et al.*, 2018).

La respuesta positiva de las plantas de maíz a la inoculación con microorganismos no solo es valiosa para promover su floración (Uribe y Dzib, 2006), e incrementar la producción de grano (Portugal *et al.*, 2016) sino que al

constatarse su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Brusamarello *et al.*, 2017), adherirse a las raíces y modular la interacción de la planta de maíz (D'Angioli *et al.*, 2017) reduce los costos de fertilización en campo (Aguado *et al.*, 2012), acrecienta la rentabilidad del cultivo y, con ello, garantiza su consumo como alimento para los seres humanos, la cría de aves y de hatos ganaderos (García *et al.*, 2012).

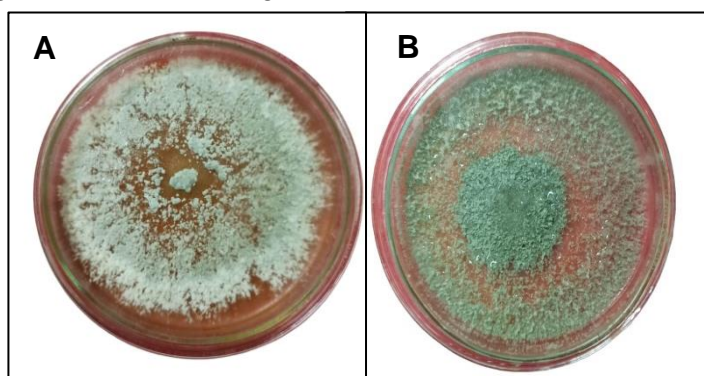
El uso de microorganismos biológicos favorece el desarrollo de asociaciones de micorrizas incrementando la disponibilidad del fósforo, y brindando un suministro continuo de micronutrientes al suelo. Por tanto, reduce el desarrollo de ciertas enfermedades en las plantas. También contribuye al mantenimiento de concentraciones de nitrógeno y fósforo disponibles, minimizando la lixiviación e incrementando la retención de agua (Corrales *et al.*, 2017).

2.2.8. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal

La colonización, impregnación y establecimiento de las BPCV (bacterias promotoras de crecimiento del crecimiento vegetal) es una estrategia viable, bajo costo y tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de las plantas, dado que promueven la germinación, crecimiento de raíces, tallos, incremento en biomasa, protección contra patógenos, por lo que su aplicación favorece un gran número de cultivos de interés agrícola y hortícola, en los que destacan: maíz, arroz, trigo, sorgo, caña de azúcar, arroz, lechuga, trigo, soya, rábano, y colza (Noumavo *et al.*, 2016; Parray *et al.*, 2016).

Figura 2

Hongos Trichoderma longibrachiatum



Nota: Crecimiento en el medio T. longibrachiatum (A) EM-12; (B) EM-72 (ESPAM MIL PESOS)

Fuente: La Autora.

Los hongos del género *Trichoderma*, especies como *T. harzianum*, *T. longibraquiatum*, han sido reconocidos para el uso de la agricultura porque actúan no sólo como agentes biocontroladores mediante acciones como el micoparasitismo, la antibiosis, la competencia por nutrientes y la estimulación de la resistencia sistémica de las plantas ante diferentes patógenos, sino también en la tolerancia al estrés abiótico, la promoción del crecimiento y el desarrollo vegetal en la producción del cultivo (Waghunde *et al.*, 2016). Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) son un grupo de microorganismos promisorios y ampliamente estudiados como una de las formas posibles para reducir los costos de producción en la agricultura moderna (Souza *et al.*, 2015).

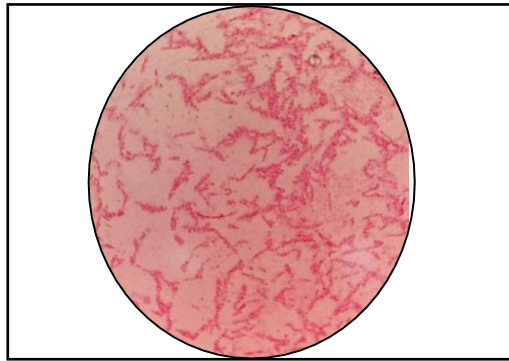
De acuerdo a Loredó *et al.* (2004) las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, tienen la capacidad para estimular directamente el crecimiento de las plantas, a través de diversos mecanismos, como el aporte de nitrógeno por el proceso de fijación biológica, producción de sustancias reguladoras del crecimiento, solubilización de minerales y nutrientes, incremento en el volumen de la raíz, inducción de resistencia sistémica a patógenos, inhibición del crecimiento de organismos antagónicos e interacción sinérgica con otros microorganismos del suelo.

Género: *Bacillus*

Las bacterias del género *Bacillus* son bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran positivos, producen endosporas con morfología oval cilíndrica que le permite resistir en condiciones favorables en el ambiente, son móviles por la presencia de flagelos laterales, con catalasa positiva, presentando hemólisis variable y un crecimiento activo en un pH entre 5.5 a 8.5. Las especies del género *Bacillus* y el potencial de sus enzimas amplían las perspectivas de uso para una agricultura sostenible, lo que permite la conservación del medio ambiente, reduce la saturación de los suelos, costos en la producción, mejoramiento de la calidad y la producción en cultivos de interés agrícola (Corrales *et al.*, 2017).

Figura 3

Estructura microscópica E-44 Bacillus subtilis



Fuente: La Autora.

A continuación, se muestran los mecanismos de acción que ejercen las bacterias de *Bacillus*:

Mecanismo de acción directa

Fijación de nitrógeno: El nitrógeno es uno de los principales nutrientes de las plantas, siendo un factor limitante en el crecimiento de éstas y, como consecuencia, en los ecosistemas de explotación de la agricultura. Según los estudios realizados Oberson *et al.* (2013), se puede clasificar las cepas bacterianas en dos categorías de diazótrofos principales: En primer lugar, se encuentran bacterias simbióticas asociadas a las leguminosas, que infectan la raíz, produciendo nódulos. Santi *et al.* (2013) expresan que el segundo grupo bacteriano es conocido como fijadores de nitrógeno de vida libre.

Solubilización de fosfato: el mayor nutriente limitante en las plantas, los suelos pueden contener grandes reservas de fósforo total, pero la cantidad disponible para las plantas suele ser una pequeña proporción de éste. Las plantas solo pueden absorber este mineral en dos formas iónicas solubles, la monobásica y la dibásica, (2015). Sin embargo, las bacterias promotoras de crecimiento vegetal son capaces de solubilizar el fosfato poniéndolo a disposición de la planta y dándole ventaja frente a todas las plantas que carecen de micro biota capaz de solubilizar este elemento (Otieno *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2015).

Etileno: El etileno es un importante mediador en la respuesta a distintos tipos de estrés a las plantas tanto bióticos (ataque por patógenos) como abióticos (daño, hipoxia, frío, sequía, salinidad) (Wang *et al.*, 2013; Tao *et al.*, 2015).

Producción de fitohormonas: Se trata de hormonas vegetales que regulan parámetros como el crecimiento, la división celular o extensión de la raíz (Glick, 2014). Las principales fitohormonas son auxinas, giberelinas y citoquininas.

Auxinas: Las auxinas controlan el desarrollo de raíces laterales (Lavenus *et al.*, 2013), así como el número y la longitud de pelos absorbentes (Salazar Henao *et al.*, 2016) que a su vez le permiten absorber mejor los nutrientes, ayudando a su crecimiento general (Aeron *et al.*, 2020). Las auxinas también están implicadas en la regulación de la dormancia y la germinación de las semillas (Shu *et al.*, 2016).

Giberelinas: Estas hormonas son transportadas desde las raíces a las partes aéreas de la planta, donde los efectos que ejercen son notables y más aún cuando las bacterias también producen auxinas que estimulan el sistema radicular mejorando el suministro de nutrientes para facilitar el crecimiento en la parte aérea (Wong *et al.*, 2015)

Citoquininas: Estimulan la división celular y el crecimiento. Promueven la expansión celular en las hojas. Rompen la latencia de las yemas axilares (Bravo, 2020)

Mecanismo de acción indirecto

Producción de sideróforos: Los sideróforos son pequeñas moléculas producidas por microorganismos bajo condiciones limitantes de hierro (Fe) que incrementan su entrada a la célula microbiana (Saha *et al.*, 2013). Seguidamente Parray *et al.* (2016) indican que las bacterias adquieren Fe mediante la secreción de quelatos de Fe, de bajo peso molecular, denominados sideróforos, los cuales están en constante asociación con complejos de hierro.

Producción de antibióticos: *Bacillus* como promotoras de crecimiento producen enzimas degradativas, excretan metabolitos secundarios como

sustancias antibióticas a bacterias y hongos perjudiciales para las plantas (Tejera *et al.*, 2011)

Producción de quitinasa y glucanasa: Uno de los mayores mecanismos de bio-control que poseen las bacterias se basa en la producción de estas enzimas líticas, encargadas de degradar la pared celular de organismos patógenos fúngicos. Enzimas secretadas como la β -1,3- glucanasa, quitinasa, proteasa y celulasas, ejercen un efecto inhibitorio directo sobre el crecimiento de las hifas de hongos patógenos. Bacterias pertenecientes a los géneros *Bacillus* son capaces de producir este tipo de sustancias (Benjumeda, 2017)

Género: *Trichoderma spp*

De acuerdo con Zin y Badaluddin, (2020) afirmaron que *Trichoderma* mejora el crecimiento de las plantas, derrota el crecimiento de bacterias y hongos patógenos de las plantas. También informaron que *Trichoderma spp* secreta los metabolitos secundarios que suprimen el crecimiento de los microorganismos patógenos de las plantas. Además Cai *et al.* (2013) indican que la aplicación de *Trichoderma spp* regula la arquitectura de la raíz, aumenta el crecimiento de las raíces primarias y laterales, lo que resulta en la absorción y acumulación de nutrientes en las plantas.

Según Hernández *et al.* (2019) la importancia del *Trichoderma radica* en la capacidad de adaptación, producción de metabolitos, enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal, interés biotecnológico y ambiental. Este género es utilizado como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, destacando la antibiosis, el micoparasitismo, la competencia por espacio, nutrientes y la producción de metabolitos secundarios.

Beneficios de la aplicación de *Trichoderma spp*

Chiriboga *et al.* (2015) indica los principales beneficios de *Trichoderma spp*

Promover el crecimiento de pelos absorbentes y raíces alimenticias, mejorando la nutrición y la absorción de agua.

Ofrece un control eficaz de enfermedades de las plantas.

Se propaga en el suelo, aumentando su población y ejerciendo control duradero en el tiempo, sobre hongos fitopatógenos.

Con el uso de microorganismos en los cultivos, las plagas no generan resistencia como sucede cuando utiliza agroquímicos.

Favorece la proliferación de organismos benéficos en el suelo.

Preserva el ambiente al disminuir el uso de funguicidas.

Al reemplazar agroquímicos sintéticos por microorganismos benéficos, el productor ahorra en sus costos de producción.

2.2.9. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal

Bacillus subtilis: Es una bacteria Gram positiva, mesófila, productora de esporas de la pared delgada, de forma oval y cilíndrica; Esta bacteria tiene la capacidad de producir endosporas, en el medio de cultivo presentan una coloración blanca o crema, con un tamaño aproximado de 2 a 4 mm de diámetro (Ñacato y Valencia, 2016); Además Yáñez, (2012) menciona que la bacteria *B. subtilis* provee un control efectivo de enfermedades causadas por hongos y bacterias. El potencial de este microorganismo se basa en su capacidad para producir una amplia gama de moléculas bioactivas, que muestran propiedades antifúngicas, junto con una baja toxicidad y alta biodegradabilidad.

Trichoderma reesei: Las especies de *T. reesei* son hongos que aparecen en cualquier tipo de suelo, produciendo colonias blancas, amarillas o más típicamente verdes cuando se cultivan. Las especies de *T. reesei* se utilizan para producir celulasas. Sin embargo, son particularmente efectivas como antagonistas del crecimiento de otros hongos, muchos de ellos patógenos de plantas, con el resultado de agentes en biocontrol (Ayala y Romero, 2013).

Trichoderma longibraquiatum: El hongo *T. longibraquiatum* tiene la habilidad de producir enzimas hidrolíticas implicadas en la degradación de la pared celular de hongos fitopatógenos de las plantas. *T. longibraquiatum* es omnipresente

capaz de sobrevivir en cualquier hábitat y en altas densidades de población (Waghunde *et al.*, 2016).

2.3. Marco legal

La investigación se encuentra inmersa en las siguientes normativas vigentes:

Según la Constitución de la República del Ecuador (2008, art. 66), los derechos del buen vivir y la sección segunda: ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Título VI: régimen de desarrollo, capítulo tercero: Soberanía alimentaria

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente.

Para ello, será responsabilidad del Estado:

Numeral 8: Asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiadas para garantizar la soberanía alimentaria.

Numeral 9: Regular bajo normas de bioseguridad el uso y desarrollo de biotecnología, así como su experimentación, uso y comercialización.

Numeral 13: Prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos.

De acuerdo a la Ley Orgánica De Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de Agricultura (2017), indica en el título IV de la agricultura sustentable, capítulo I de las buenas prácticas agrícolas.

Art. 48.- Agricultura Sustentable: Para efectos de aplicación de esta Ley, se entiende por agricultura sustentable a los sistemas de producción agropecuaria que permiten obtener alimentos de forma estable, saludable, económicamente viable y socialmente aceptable, en armonía con el medio ambiente y preservando el potencial de los recursos naturales productivos, sin comprometer la calidad presente y futura del recurso suelo, disminuyendo los riesgos de degradación del ambiente y de contaminación física, química y biológica de los productos agropecuarios.

Art. 49.-Prácticas y tecnologías. Constituyen prácticas y tecnologías de agricultura sustentable, destinadas al uso de alternativas de innovación tecnológica.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

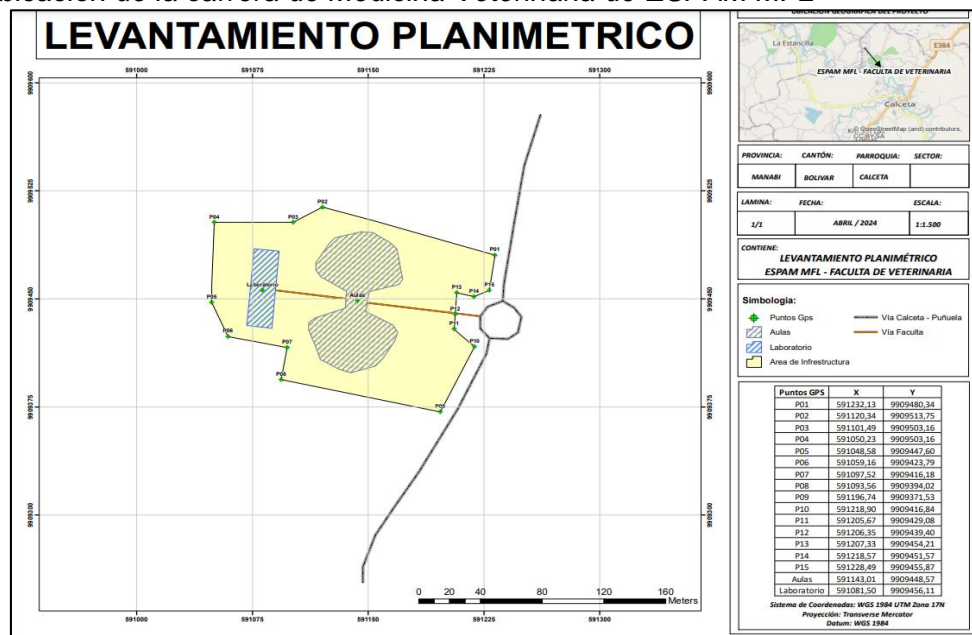
La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Biología Molecular en el área Agropecuaria, de la carrera de Medicina Veterinaria, en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. En el sitio “El Limón” del cantón Bolívar, situado geográficamente entre las coordenadas 00°49'23" Latitud Sur, 80°11'01" Longitud Oeste, con una altitud de 15 msnm.

A continuación, se muestran las condiciones climáticas, datos obtenidos de la Estación Meteorológica de la ESPAM MFL

Precipitación anual	986.19 mm
Temperatura máxima	30.67 °C
Temperatura mínima	21.87 °C
Humedad relativa	82.23 %
Heliofanía	1043.96 h/sol/año

Figura 4

Ubicación de la carrera de Medicina Veterinaria de ESPAM MFL



3.1.1. Grupo de estudio

En este estudio, las plantas de rábano se trataron con las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* como promotores de crecimiento en plantas de rábano (*Raphanus sativus*). Estos microorganismos beneficiosos se han empleado ampliamente en la agricultura por mejorar la salud de las plantas, aumentar la resistencia a enfermedades y favorecer el crecimiento. Se emplearon varias cepas de *Bacillus*: *Bacillus subtilis*: E-54 (ESPAM), 31-BMC (*Bacillus mucosa* cerdo), 20 BP (*Bacillus pollo*), 21 BMC (*Bacillus mucosa* cerdo) y a *Bacillus licheniformis* E-44 (ESPAM). Además, se utilizaron cepas de *Trichoderma*: *Trichoderma reesei* con el código EM-49. Para un total de 10 tratamientos. T1: EM-12, T2: EM-72T3: EM-150, T4: EM-149, T5: EM-49, T6: E-54, T7: 31-BMC, T8: 20-BP. T9: 21-BMC y T10: E-44.

Para evaluar la respuesta a la inoculación de estos microorganismos *Bacillus* y *Trichoderma* en el cultivo de rábano, se aplicaron 4 tratamientos con 5 réplicas cada uno. Cada parcela estuvo compuesta por 180 plantas. Con el objetivo de minimizar el efecto borde, se seleccionaron al azar 20 plantas, por tratamiento para medir las variables en estudio.

3.2. Enfoque y tipo de investigación

3.2.1. Enfoque

Este estudio se caracterizó por su enfoque cuantitativo, en el que se recopilaron datos basados en mediciones numéricas. Se emplearon variables específicas, tanto morfológicas como productivas, del cultivo para llevar a cabo esta recolección de datos. Este enfoque permitió un análisis detallado y riguroso de los aspectos clave del crecimiento y desarrollo del cultivo. Además, se realizó una caracterización exhaustiva de las bacterias y hongos pertenecientes a los géneros *Bacillus* y *Trichoderma*.

De acuerdo con Hernández *et al.* (2010) el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. De manera similar, Padilla *et al.* (2021) indican que la investigación bajo

este enfoque, cuantifican variables, las mismas son observadas, descritas, medidas o sometidas a la experimentación controlada.

3.2.2. Tipo de Investigación

Investigación experimental: Esta investigación se llevó a cabo debido a la existencia de una serie de variables morfológicas y productivas que se controlaron rigurosamente, con el fin de describir el efecto que producen los tratamientos con los microorganismos *Bacillus* y *Trichoderma* en el crecimiento vegetal del cultivo de rábano.

Investigación Explicativa: en este estudio se enfoca identificando los mecanismos específicos de promoción del crecimiento y cómo diferentes cepas influyen en el desarrollo de las plantas. Esto implica no solo medir los efectos, sino también analizar cómo estos microorganismos interactúan con las plantas y qué factores determinan la efectividad de su acción.

Según Agudelo *et al.* (2008) la investigación experimental requiere de una manipulación rigurosa de las variables o factores experimentales, y del control directo o por procedimientos estadísticos al azar. Además Murillo (2018) indica que la investigación bajo el enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas.

3.3. Definición y operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de las variables

Variable	Conceptualización	Indicadores	Dimensiones	Técnicas	Instrumento
Cepas de <i>Bacillus</i>	Microorganismos que promueven el crecimiento vegetal.	Formación de halos de solubilización de fosfato y sideróforos	Biológica	Formación de halos de solubilización de fosfato y sideróforos en cepas de <i>Bacillus</i>	Regla, calibrador Vernier

Cepas de <i>Trichoderma</i>	Hongos que estimulan la resistencia de las plantas y controlan patógenos.	que la de solubilización de fosfato y sideróforos	Formación de halos de solubilización de fosfato y sideróforos	Biológica	Formación de halos de solubilización de fosfato y sideróforos en cepas de <i>Trichoderma</i>	Regla, calibrador Vernier
Crecimiento Vegetal en Rábano	Respuesta del cultivo de rábano a la inoculación con cepas promotoras.	del de la con	Longitud de hojas, raíces/tallo rendimiento.	Agronómica, morfológica.	Medición directa	Regla, calibrador Vernier, balanza

3.4. Procedimientos

La investigación se desarrolló en dos etapas fundamentales: una fase experimental en laboratorio y una fase de aplicación en campo.

3.4.1. Fase 1

Capacidad de promoción de crecimiento vegetal a las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en estudio *in vitro*

Diseño experimental

En este estudio, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), y cada tratamiento con cinco repeticiones.

Equipos

- Cámara de flujo laminar
- Estufa
- Balanza
- Agitador magnético
- Microonda
- Autoclave
- Incubadora
- Potenciómetro

Materiales

- Vaso de precipitación
- Pinzas
- Papel filtro
- Matraz Erlenmeyer
- Tubo de ensayo
- Caja Petri
- Mechero de alcohol

Análisis de varianza

Tabla 4

Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	9
Error	40
Total	49

Descripción de los tratamientos

Las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *T. longibrachiatum* y *T. reesei* pertenecen a una colección de microorganismos en el laboratorio de Biología Molecular que se encuentra adscrito a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL). Las cepas bacterianas (*Bacillus*) están conservadas a -20°C , utilizando glicerol como crioprotector. Las cepas fúngicas (*Trichoderma*) se conservan a 4°C por el método de repiques sucesivos.

Tabla 5

Descripción de los tratamientos

Descripción	
Código	Material biológico
EM-12	<i>T. longibrachiatum</i>

EM-72	<i>T. longibrachiatum</i>
EM-150	<i>T. longibrachiatum</i>
EM-149	<i>T. longibrachiatum</i>
EM-49	<i>T. reesei</i>
E-54	<i>B. subtilis</i>
31-BMC	<i>B. subtilis</i>
20-BP	<i>B. subtilis</i>
21-BMC	<i>B. subtilis</i>
E-44	<i>B. licheniformis</i>

Nota: EM “ESPAM MIL PESOS”, E “ESPAM”, BMC “*Bacillus mucosa cerdo*”, BP “*Bacillus pollo*”.

Procedimientos experimentales

Multiplicación de las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *T. longibrachiatum*, y *T. reesei*

B. subtilis y *B. licheniformis*: Para la multiplicación de las cepas de *B. subtilis* y *B. licheniformis* se preparó caldo nutritivo y se lo esterilizó en autoclave. Posteriormente se inoculó adicionando 100 µL de agente activo de cepas *B. subtilis* y *B. licheniformis*, seguidamente se incubó a 37°C durante 18 horas, esto constituyó el preinóculo.

T. longibrachiatum y *T. reesei*: En la multiplicación de los hongos se preparó el medio de cultivo agar DG-18, se lo esterilizó en autoclave y se lo vertió en placas Petri; seguidamente se realizó la siembra en el medio de cultivo punción en tres puntos equidistantes del agar DG-18. Posteriormente se incubó a 30°C durante 72 horas; finalmente el crecimiento se removieron las esporas, aplicando tween 80, con la espátula de Drigalsky.

Caracterización de *Bacillus* y *Trichoderma*

Solubilización de fosfato: De acuerdo con el protocolo propuesto por Niklitschek, (2008) el experimento consistió en un cultivo puro de *Bacillus* sp, se obtuvo una muestra y se sembró en un medio agar Pikovskaya (TM MEDIA), posteriormente se procedió a incubar en estufa a 37°C durante 72 horas. Durante este proceso, se observaron las bacterias que desarrollaron halos de solubilización de fosfato alrededor de la colonia, los mismos que fueron seleccionados y con los datos a obtener del diámetro de la colonia y del halo de solubilización de fosfato se calculó el índice de solubilización (I.S.).

$$IS: \frac{\text{Diámetro de colonia (mm)} + \text{Diámetro de halo(mm)}}{\text{Diametro de colonia (mm)}}$$

Producción de sideróforos: Según los procesos realizados por Hernández *et al.* (2015) la producción de sideróforos se dio a partir de un cultivo puro de *Bacillus* sp se extrajo la colonia y se sembró en placas Petri en un medio Agar Cromo Azurol-5 (CA5); seguidamente las placas Petri se incubaron a 37°C durante 72 horas. Finalmente, los halos se midieron a partir de 48 horas de crecimiento.

Las 10 cepas en estudios se seleccionaron por sus características deseables, y se aplicaron al cultivo de rábano.

Variables respuestas

Formación de halos de solubilización de fosfato en *Bacillus* (mm): Los datos fueron recopilados mediante mediciones durante un período de incubación de 48 horas.

Formación de halos de solubilización de fosfato en *Trichoderma* (mm): Los datos fueron obtenidos mediante mediciones realizadas durante un periodo de incubación de 72 horas

Formación de halos de sideróforos en *Bacillus* (mm): Los halos de formación se midieron a partir de las 48 horas de crecimiento alrededor de las colonias.

Formación de halos de sideróforos en *Trichoderma* (mm): Los halos de formación se midieron a partir de las 72 horas de crecimiento alrededor de las colonias.

3.4.2. Fase 2

Respuesta del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L) a la inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* promotoras de crecimiento vegetal

Una vez realizado la caracterización de los microorganismos, se inocularon las cepas *Bacillus* y *Trichoderma*, en cada parcela en el área del estudio.

Diseño experimental

En la investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con 4 tratamientos y 5 repeticiones.

Equipos

- Incubadora
- Autoclave
- Estufa
- Potenciómetro
- Balanza
- Calibrador Vernier

Materiales

- Semillas de rábano
- Mallas plásticas
- Mangueras
- Botellas plásticas
- Regla
- Cañas
- Abre hoyo

Análisis de varianza

Tabla 6

Esquema del ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	3
Error	16
Total	19

Combinación de los tratamientos

Tabla 7

Descripción de los tratamientos

N°	Código	Descripción
		Material biológico
1	1A	T1: Cepas <i>Bacillus</i> E-44; E-54; 21-BMC; 31BMC; 20BP
2	2A	T2: Cepas <i>Trichoderma</i> EM-12; EM-72; EM-150; EM-149; EM-49
3	3A	T3: Cepas <i>Bacillus</i> + Cepas <i>Trichoderma</i> E-44; E-54; 21-BMC; 31BMC; 20BP + EM-12; EM-72; EM-150; EM-149; EM-49
4	4A	T4: Testigo absoluto

Nota: EM “ESPAM MIL PESOS”, E “ESPAM”, BMC “*Bacillus mucosa cerdo*”, BP “*Bacillus pollo*”

Unidad experimental

La unidad experimental estuvo conformada por parcelas.

Delineamiento experimental

Distancia entre plantas: cm.	4
Distancia entre hileras: cm	40
Número de plantas por hilera:	60

Hileras por parcelas:	3
Parcela neta: m.	1,6
Longitud de la parcela: m.	2,4
Ancho de la parcela: m	1,2
Área de la parcela: m ²	2,88
Distancia entre parcelas cm	0.50

Procedimientos experimentales

Inoculación de los microorganismos al cultivo de rábano

En la fase inicial, se llevó a cabo la inoculación de microorganismos mediante aspersión, durante la siembra de las semillas de rábano en las hileras de cada parcela. Esta aplicación se realizó de acuerdo con la distribución de los tratamientos: T1 (cepas de *Bacillus*), T2 (cepas de *Trichoderma*) y T3 (cepas de *Bacillus + Trichoderma*), y T4 (testigo); Posteriormente, se aplicaron los tratamientos dos veces por semana, manteniendo una proporción v/v 1:1 (*Bacillus, Trichoderma, Trichoderma Bacillus*/agua), esta aplicación se extendió a lo largo de 40 días, cubriendo todo el ciclo de desarrollo de las plantas de rábano.

Condiciones de los tratamientos

La combinación de los tratamientos de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* siguen un enfoque similar al utilizado por Zhou *et al.* (2019), quienes señalaron que el proceso a menudo es inestable cuando se inocula un solo agente microbiano.

Tabla 8*Dosis de aplicación en las parcelas*

Tratamiento	Dosis aplicada/tratamiento
T1: Cepas <i>Bacillus</i> (E-44; E-54; 21-BMC; 31BMC; 20BP)	2500 mL (500 mL por Cepa)
T2: Cepas <i>Trichoderma</i> (EM-12; EM-72; EM-150; EM-149; EM-49)	2500 mL (500 mL por Cepa)
T3: Cepas <i>Bacillus</i> + Cepas <i>Trichoderma</i> (E-44; E-54; 21-BMC; 31BMC; 20BP + EM-12; EM-72; EM-150; EM-149; EM-49)	2500 mL (500 mL de consorcio microbiano)
T4: Testigo absoluto	

Semillas de rábano

Se utilizaron semillas de Rábano Crimson Giant (distribuido por MAGAP. Registro.Com N° 06) con especificaciones de 86% de germinación y 99% de pureza.

Variables respuestas

La evaluación de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* implicó la recolección de datos correspondientes a siete variables morfológicas y reproductivas del cultivo de rábano. Las variables analizadas se detallan a continuación:

Altura de la planta (cm): En la etapa de cosecha, se llevó a cabo la evaluación al seleccionar aleatoriamente 20 plantas por tratamiento. Utilizando un flexómetro, se realizaron mediciones desde la base apical hasta la parte superior de las hojas.

Longitud de hoja (cm): Se seleccionaron 20 plantas para cada tratamiento y se realizaron mediciones con la asistencia de un flexómetro.

Ancho de la hoja (cm): Se tomaron mediciones en la parte central de 20 hojas de cada tratamiento.

Número de hojas activas por planta: Se registró el conteo total de hojas de las 20 plantas seleccionadas al azar dentro de cada tratamiento en el momento de la cosecha.

Longitud de raíz (cm): Se llevaron a cabo mediciones desde el cuello hasta la parte terminal de la raíz, iniciando desde el momento de la cosecha de la planta.

Diámetro del bulbo (cm): En el momento de la cosecha, se realizó una evaluación tomando las tres medidas horizontales y en asterisco del diámetro medio del bulbo, utilizando un Pie de rey milimetrado (vernier).

Rendimiento: Se calculó el peso total de los rábanos recolectados de las parcelas y se expresó en Kg/ha⁻¹

3.5. Métodos estadísticos

Para el análisis de los datos relacionados con las variables morfológicas y productivas del cultivo de rábano, se aplicaron pruebas de hipótesis paramétricas. Los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas fueron verificados mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente. Una vez verificados estos supuestos, se aplicaron el análisis de varianza (ANOVA) de un factor, el modelo de regresión lineal y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$), utilizando el programa R Studio.

Supuestos paramétricos

Según Erazo, (2019) el uso de la partición de la variabilidad total de los datos al aplicar el análisis de varianza requiere que se satisfagan los supuestos del modelo. Ya que para el análisis se supone que las poblaciones son independientes y que están distribuidas en forma normal con medias $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ y varianza común σ^2 , estas suposiciones son aceptable de mejor manera mediante la aleatoriedad. Los supuestos sobre Y se traducen en supuestos sobre los residuos (e_{ij}), el residual o residuo está dado por la diferencia entre la observación Y_{ij} y la respuesta predicha \hat{Y}_{ij} .

Normalidad: Para verificar el supuesto de normalidad se puede graficar un histograma de los datos, otra forma es realizar una gráfica de probabilidad normal de los residuales, pero la mejor manera de tener una correcta interpretación de que los datos sigan una distribución normal o no, es la

contrastar significancias empleando una prueba de bondad de ajuste normal, como la de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro Wilk (González y Felpeto, 2006).

Prueba Shapiro Wilk

Según Novales (2010) el test se emplea para contrastar normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones. El método consiste en comenzar ordenando la muestra de menor a mayor valor, obteniendo el nuevo vector muestral. Cuando la muestra es como máximo de tamaño 50, se puede contrastar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, procediéndose a calcular la media y la varianza muestral. Se rechaza la hipótesis nula de normalidad si el estadístico Shapiro-Wilk -W- es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño de la muestra y el nivel de significancia dado.

H₀: La muestra proviene de una distribución normal ($p > 0.05$)

H₁: La muestra no proviene de una distribución normal ($p < 0.05$)

El estadístico de prueba se muestra en la ecuación:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i)^2}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]}$$

Donde:

x_i : En la i -ésima estadística del orden

$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)$: Media de la muestra,

$$\mathbf{a}_i = (\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n) = \frac{\mathbf{m}^T \mathbf{V}^{-1}}{(\mathbf{m}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^{-1} \mathbf{m})^{\frac{1}{2}}}$$

$\mathbf{m} = (\mathbf{m}_1, \dots, \mathbf{m}_n)^T$: Son los valores esperados de las estadísticas del orden de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de distribuciones normales

\mathbf{V} = Es la matriz de covarianza de la estadística del orden

La importancia de utilizar el test de Shapiro-Wilk radica en su capacidad para evaluar la normalidad de los datos de manera precisa y confiable. El test es especialmente recomendado para muestras pequeñas debido a su alta potencia

para detectar desviaciones de la normalidad en los datos. Asegurar que los datos se ajusten a una distribución normal es crucial antes de aplicar pruebas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey, ya que estas pruebas asumen la normalidad de los datos para proporcionar resultados válidos. Al emplear el test de Shapiro-Wilk, se garantiza que los supuestos necesarios para estas pruebas se cumplan, lo que contribuye a obtener resultados más fiables y robustos.

Homogeneidad de varianzas

De acuerdo con Gutierrez y Vara, (2014) para verificar el supuesto de igualdad de varianzas es aplicar una prueba estadística, una de ellas es la prueba de Levene, el cual es un procedimiento robusto a desviaciones de la normalidad.

Prueba de Levene

Correa *et al.* (2006) indican que la prueba de Levene utiliza la desviación absoluta de las observaciones Y_{ij} de cada tratamiento de la mediana de los tratamientos \tilde{Y}_i . Esta prueba evalúa si la media de estas desviaciones es igual o no para todos los tratamientos. Si las desviaciones medias son iguales, las varianzas de las observaciones de todos los tratamientos son iguales.

Supuestos Iniciales

- Tienes k grupos independientes
- Cada grupo i tiene n_i observaciones
- Las observaciones en el grupo i se denotan como X_{ij} , donde $j = 1, 2, \dots, n_i$.

Cálculo de la Mediana o Media

Se calcula la mediana (o media) de cada grupo:

$$\bar{X}_i = \text{mediana}(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ini})$$

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} + \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$$

Transformación de las Observaciones

Se transforman las observaciones restando la mediana (o media)

$$Z_{ij} = |X_{ij} - \tilde{X}_i|$$

$$Z_{ij} = |c - \bar{X}_i|$$

Cálculo de la Varianza de los Valores Transformados

Se calculan las varianzas de los valores transformados en cada grupo:

$$S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2$$

\bar{Z}_i es la media de los Z_{ij} en el grupo i

Cálculo de estadístico de Levene

- Se combinan las varianzas de los valores transformados para obtener el estadístico de Levene:

$$W = \frac{(N - k)}{k - 1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2}$$

Donde N es el número total de observaciones ($N = \sum_{i=1}^k n_i$) y \bar{Z} es la media global de los Z_{ij}

Distribución del estadístico

- El estadístico W sigue aproximadamente una distribución F con $k - 1$ y $N - k$ grados de libertad bajo la hipótesis nula.
- Si el valor p asociado con el estadístico W es menor que el nivel de significancia α (por ejemplo, 0.05), se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas.
- Si el valor p es mayor que α , no se rechaza la hipótesis nula.

Este modelo matemático proporciona una base sólida para evaluar la homogeneidad de varianzas en diferentes grupos y asegurar la validez de análisis posteriores, como el análisis de varianza.

La evaluación de la homogeneidad de varianza es esencial en los análisis estadísticos para asegurar la validez de pruebas como el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey. Este supuesto establece que las varianzas de los diferentes grupos comparados deben ser iguales. La homogeneidad de varianza se verifica mediante la prueba como el test de Levene. En el contexto de la evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*, verificar la homogeneidad de varianza asegura que las comparaciones entre tratamientos sean válidas y robustas, proporcionando una base sólida para la interpretación de los efectos observados.

Análisis de varianza (de una vía)

Según Novales (2010) el modelo ANOVA de una vía se plantea cuando hay única variable predictora de tipo categórico y una respuesta de tipo numérico. Dicho modelo se puede describir de forma general, para una muestra de tamaño n , como:

Una variable respuesta Y , de tipo numérico con observaciones y_1, \dots, y_n .

Una variable predictora F , de tipo categórico con I grupos o niveles distintos de tamaños muestrales n_1, n_2, \dots, n_I , de forma que $n = n_1 + n_2 + \dots + n_I$, y el vector de observaciones de la respuesta se puede escribir como:

$$y_{11}, \dots, y_{1n_1}, y_{21}, \dots, y_{2n_2}, \dots, y_{I1}, \dots, y_{In_1}$$

Donde el primer subíndice indica el nivel del factor y el segundo la posición dentro del conjunto de datos de dicho nivel del factor:

- Conjunto u_i de medias de todas las observaciones de la respuesta asociada con el nivel i del factor, es decir:

$$u_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} y_{ij}}{n_i}; i = 1, 2, \dots, I$$

El objetivo en este tipo de modelos es la comparación de las medias μ_1 para detectar posibles diferencias entre los niveles del factor. A continuación, se plantea el contraste de comparación de medias:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_I \\ H_0: \text{Existen dos grupos al menos con medidas distintas} \end{cases}$$

Este contraste es equivalente al que se puede escribir en términos de los incrementos de las medias:

$$\begin{cases} H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_I = 0 \\ H_0: \text{Al menos hay un incremento distinto de cero} \end{cases}$$

Que tiene una estructura similar al test F de la regresión, donde queremos contrastar si existe algún coeficiente distinto de cero. Esto implica que el modelo ANOVA se puede escribir en términos de un modelo lineal sin más que considerar un conjunto de variables ficticias X_1, \dots, X_i que toman los valores siguientes:

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{si la respuesta pertenece al grupo } i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

y un efecto común para todos los niveles del factor que viene dado por μ que denotamos por α_0 . La única diferencia entre ambas estructuras de comparación es que la referida a las medias μ_i tiene I parámetros, mientras que la de los incrementos tiene $I + 1$ parámetros. Para hacer equivalentes ambas estructuras se añade la conocida restricción de identificabilidad que establece de partida que uno de los incrementos debe ser igual a cero, es decir, que una media de un grupo coincide con la media global. Este es el nivel de referencia que utiliza como base de comparación con el resto de niveles o grupos del factor.

En esta situación se considera $Y_i = \{y_{i1}, \dots, y_{in_i}\}$, $1_{n_i} = \{1, \dots, 1\}$ un vector de n_i unos, $0_{n_i} = \{0, \dots, 0\}$ un vector de n_i ceros, para cada uno de los niveles i del factor, $\mu = \alpha_0$, y la restricción de identificabilidad $\alpha_I = 0$ (elegir cualquier otro $\alpha_j = 0$ y se obtendrá el mismo modelo), A continuación, se representa el modelo ANOVA como:

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1_{n_1} & 1_{n_1} & 0_{n_1} & \dots & 0_{n_1} \\ 1_{n_2} & 0_{n_2} & 1_{n_2} & \dots & 0_{n_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1_{n_l} & 0_{n_l} & 0_{n_l} & \dots & 1_{n_l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_{l_1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{pmatrix} = X\beta + \epsilon$$

o equivalentemente en términos de las medias como:

$$\mu_i = \alpha_0 + \alpha_{i+} \epsilon_i \text{ para } i = 1, 2, \dots, k, \text{ con } \alpha_k = 0$$

Las hipótesis de este modelo es que los errores se distribuyen de forma independiente mediante una distribución Normal de media cero y varianza constante σ^2 para cada uno de los grupos que determina la variable predictora. En esta situación el contraste sobre los incrementos es equivalente al test F de regresión de los modelos.

El Anova requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homocedasticidad).
- H_0 (nula): las medias de los grupos son iguales
- H_a (alterna): No todas las medias de los grupos son iguales. Al menos una de las medias es distinta

Supuestos Iniciales:

- Tienes k grupos independientes.
- Cada grupo i tienen n_i observaciones X_{ij} , donde $j = 1, 2, \dots, n_i$.

Hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medias de los grupos son iguales ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$).

- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las medias de los grupos es diferente.

Cálculo de la Media Total

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_1} X_{ij}$$

Donde $N = \sum_{i=1}^k n_1$.

Suma de cuadrados Total (SST):

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_1} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

Suma de cuadrados entre Grupos (SSB):

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_1 (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

Donde $\bar{X}_i = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} X_{ij}$

Suma de cuadrados dentro de Grupos (SSW):

$$SSW = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_1} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

Grados de libertad:

- Grados de libertad entre grupos: $df_B = k - 1$
- Grados de libertad dentro de grupos: $df_W = N - k$
- Grados de libertad total: $df_T = N - 1$

Media cuadrática (MS):

- Media cuadrática entre grupos: $MSB = \frac{SSB}{df_B}$
- Grados de libertad dentro de grupos: $MSW = \frac{SSW}{df_W}$

Estadístico F:

$$F = \frac{MSB}{MSW}$$

Distribución del Estadístico:

- Evaluar la significancia usando la distribución F
- $F \sim F_{df_B, df_W}$
- Comparar el valor calculado de F con el valor crítico de la tabla F para el nivel de significancia α (por ejemplo, 0.05). Si el valor p asociado con el estadístico F es menor que α , se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 9

ANOVA para el Diseño Completamente al Azar

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor-p
Tratamientos	SC_{TRAT}	K-1	CM_{TRAT}	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	N-K	CM_E		
Total	SC_T	N-1			

La utilización del análisis de varianza (ANOVA) es de vital importancia en esta investigación, ya que permite determinar la capacidad de promoción de crecimiento vegetal de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* tanto en estudios in vitro como en aplicaciones en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.). El ANOVA se aplicó para identificar cuáles de estas cepas mostraban mejores características promotoras. El análisis de varianza es esencial porque permite comparar múltiples tratamientos simultáneamente y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Esto proporciona una base sólida para concluir cuál de los tratamientos tiene un efecto más significativo en la promoción

del crecimiento vegetal, asegurando que las decisiones basadas en estos resultados sean estadísticamente válidas y confiables.

Modelo de regresión lineal

Es la representación de la relación entre dos (o más) variables a través de un modelo formal, supone contar con una expresión lógico-matemática, que permitir realizar predicciones de los valores que tomará una de las dos variables (la que se asuma como variable de respuesta, dependiente, criterio o Y) a partir de los valores de la otra (la que se asuma como variable explicativa, independiente, predictora o X) (Molina y Rodrigo, 2010).

Modelo lineal:

El modelo de regresión lineal simple se expresa como:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$$

Donde:

y_i es el valor observado de la variable dependiente

x_i es el valor de la variable independiente

β_0 es la ordenada al origen (intercepto).

β_1 es la pendiente (coeficiente de regresión)

ϵ_i es el termino de error (residual)

Estimación de los Parámetros

Los parámetros β_0 y β_1 se estiman utilizando el método de mínimos cuadrados, minimizando la suma de los cuadrados de los residuos.

Las fórmulas para los estimadores son:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Donde:

\bar{x} e la media de los valores x_i

\bar{y} e la media de los valores y_i

Predicción

La ecuación de la recta de regresión es:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x$$

Donde \hat{y} es el valor predicho de la variable dependiente para un valor dado de la variable independiente x

Evaluación del modelo:

Suma de Cuadrados de los Residuos (SSR):

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Suma de Cuadrados Total (SST):

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Coefficiente de Determinación (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

R^2 indica la proporción de la viabilidad total en y que se explica por el modelo de regresión.

Significancia del modelo:

- Estadístico t para β_1 :

$$t = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)}$$

Donde $SE(\hat{\beta}_i)$ es el error estándar del estimador $\hat{\beta}_i$

Comparar el valor t con los valores críticos de la distribución t de Student para determinar la significancia del coeficiente β_1

La relevancia de utilizar el modelo de regresión lineal en esta investigación radica en su capacidad para establecer relaciones cuantitativas entre las variables estudiadas y los resultados obtenidos en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.). Este modelo permite identificar y cuantificar el efecto de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en el crecimiento vegetal, proporcionando una comprensión más detallada de cómo estas variables independientes influyen en la variable dependiente. Al aplicar la regresión lineal, se puede evaluar la fuerza y dirección de estas relaciones, permitiendo hacer predicciones precisas y evaluar la eficacia de las cepas promotoras en diferentes condiciones.

Prueba de Tukey

Montgomery (2013) indica que la prueba de Tukey, también conocida como el método de Tukey para comparaciones múltiples o el método de Tukey HSD (Honestly Significant Difference), se utiliza para encontrar diferencias significativas entre pares de medias de grupo después de realizar un análisis de varianza.

Supuestos Iniciales

Tienes k grupos independientes

Cada grupo i tiene n_i observaciones

El análisis de varianza ha mostrado que hay al menos una diferencia significativa entre las medidas de los grupos.

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No hay diferencias significativas entre los pares de medias de los grupos ($\mu_1 = \mu_j$).

Hipótesis alternativa (H_1): Hay una diferencia significativa entre al menos un par de medias de los grupos ($\mu_1 \neq \mu_j$).

Cálculo de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD):

La HSD se calcula utilizando la fórmula:

$$HSD = q \sqrt{\frac{MSW}{n}}$$

Donde:

q es el valor crítico de la distribución q de Studentizada (distribución de rangos críticos de Tukey) para k y df_W grados de libertad.

MSW es la media cuadrática dentro de los grupos (calculada en el ANOVA).

n es el número de observaciones por grupo (asumiendo grupos de igual tamaño; si los tamaños son desiguales, se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo).

Comparación de Pares de Medias:

Para cada par de medias de grupo (\bar{X}_i y \bar{X}_j), calcular la diferencia.

$$|\bar{X}_i - \bar{X}_j|$$

Comparar cada diferencia con la HSD:

Si $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| > HSD$, se rechaza H_0 y se concluye que hay una diferencia significativa entre los grupos i y j .

Si $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| \leq HSD$, no se rechaza H_0 .

La aplicación de la prueba de Tukey en esta investigación es crucial para llevar a cabo comparaciones múltiples entre los tratamientos de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* aplicadas al cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*). Tras realizar el análisis de varianza (ANOVA), esta prueba permite identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Utilizar la prueba de Tukey proporciona una evaluación precisa de qué cepas tienen un impacto significativo en el crecimiento vegetal, facilitando la selección de los tratamientos más efectivos y confiables.

3.5. Consideraciones bioéticas

Los derechos de los seres humanos de vivir de una manera sin riesgos para la salud se relacionan con el ambiente y el estilo de vida de cada persona. Por tal motivo, desde el punto de vista ético y moral de cada ciudadano es de vital importancia cuidar por la salud y evitar contaminantes con los productos que se consumen diariamente para la subsistencia, es por ello por lo que se debe cuidar y proteger el medio ambiente. En tal sentido estas bacterias de género *Bacillus* y hongos *Trichoderma* están identificadas hasta especie y pueden ser evaluadas en cualquier campo agropecuario, por lo tanto, no causaran daño a los seres vivos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad de promoción de crecimiento vegetal en las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en estudio *in vitro*.

Para evaluar la efectividad en la promoción de crecimiento vegetal de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*, en los datos se aplicó estadística descriptiva: medias, error estándar, la desviación estándar y el coeficiente de variación, proporcionando una visión detallada de la variabilidad y precisión de los datos. Se utilizaron pruebas de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y se verificó la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias de crecimiento entre los diferentes tratamientos, seguido del test de Tukey para identificar diferencias específicas significativas entre los tratamientos. Finalmente, se empleó un modelo de regresión lineal para analizar la relación entre los diferentes tratamientos.

Prueba de normalidad

En la tabla 10, se observa que los datos siguen una distribución normal, dado que el p-valor es mayor a 0.05 en todas las variables, por lo tanto, se utilizó estadística paramétrica

Tabla 10

*Prueba de normalidad de solubilización de fosfato y halos de sideróforos en cepas *Bacillus* y *Trichoderma**

Tratamientos	Estadístico Shapiro Wilk	p-valor
Índice de solubilización de fosfato (mm) en cepas <i>Bacillus</i>	0.9643	0.508
Formación de halos de sideróforos (mm) en cepas <i>Bacillus</i>	0.94375	0.1806

Formación de halos de solubilización de fosfato (mm) en cepas <i>Trichoderma</i>	0.97405	0.748
Formación de halos de sideróforos <i>Trichoderma</i>	0.92142	0.06

Prueba de homogeneidad de varianzas

Como se aprecia en la tabla 11, el análisis de homogeneidad de varianzas mostró que los datos de las variables fueron homogéneos, donde el valor p fue mayor a 0.05 y se acepta la hipótesis Nula (H_0) lo que confirmó que hay igualdad de varianzas.

Tabla 11

Prueba de homogeneidad de varianzas en el índice de solubilización, halos de sideróforos en cepas Bacillus y Trichoderma

Tratamientos	Estadístico Levene	p-valor
Índice de solubilización de fosfato (mm) en cepas <i>Bacillus</i>	0.2504	0.906
Formación de halos de sideróforos (mm) en cepas <i>Bacillus</i>	0.3429	0.845
Formación de halos de solubilización de fosfato (mm) en cepas <i>Trichoderma</i>	0.2302	0.918
Formación de halos de sideróforos (mm) en cepas <i>Trichoderma</i>	0.5385	0.709

Índice de solubilización de fosfato (%) en cepas *Bacillus*

En esta variable se evaluaron cinco tratamientos diferentes (E-54, 21-BMC, 31-BMC, 20-BP y E-44) en cuanto a su capacidad para solubilizar fosfato (Tabla 12). Las medias variaron ligeramente entre los tratamientos y se observó que la desviación estándar y el error estándar mostraron valores bajo, lo que indica una dispersión mínima de los datos; además presentaron un coeficiente de variación (C.V.) del 4.28%, lo cual determina una variabilidad reducida, significativamente menor al 50%.

Tabla 12*Análisis descriptivo del índice de solubilización de fosfato (%) en cepas Bacillus*

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coefficiente de variación (%)
E-54	1.31			
21-BMC	1.30			
31-BMC	1.30			
20-BP	1.25	0.02	0.05	4.28
E-44	1.22			

En la tabla 13, se muestra el análisis estadístico del índice de solubilización de fosfato en cepas *Bacillus* (mm). Los resultados del análisis muestran que no se encontraron diferencias significativas entre las cepas evaluadas, ya que el valor de p fue mayor a 0.05.

Tabla 13*Análisis de varianza del índice de solubilización de fosfato en cepas Bacillus*

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	p-valor	Significancia
Tratamientos	4	0.029	0.007	2.49	0.076	NS
Error	20	0.060	0.003			
Total	24	0.089				

La tabla 14, presenta los resultados del modelo de regresión lineal aplicado a la solubilización de fosfato en cepas de *Bacillus*. El intercepto es altamente significativo. Sin embargo, ninguna de las cepas (21-BMC, 31BMC, E-44 y E-54) muestra efectos significativos, ya que los p-valores son mayores a 0.1. A pesar de que las cepas 21-BMC y E-54 tienen efectos positivos, estos no alcanzan significancia estadística. La cepa E-44 presenta un efecto negativo no significativo. El valor de R² del modelo es 0.33, lo que sugiere que

aproximadamente el 33% de la variabilidad en la solubilización de fosfato es explicada por las cepas incluidas en el modelo, indicando un ajuste moderado.

Tabla 14

Modelo de regresión lineal de solubilización de fosfato en cepas Bacillus

	Estimación	Error Estándar	t -valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	1.24791	0.02451	50.918	< 2x10-6	***	
21-BMC	0.05348	0.03466	1.543	0.139		0.33
31BMC	0.049771	0.03466	1.434	0.167		
E-44	-0.02942	0.03466	-0.849	0.406		
E-54	0.05629	0.03466	1.624	0.120		

Para caracterizar las cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato, se observó la zona clara alrededor de las colonias en medio sólido Pikovskaya; como indicativo de la utilización de fosfato durante el crecimiento de los microorganismos (Wang *et al.*, 2018). El índice de solubilización (SI) de cada aislado bacteriano osciló entre 1.22 y 1.31 (Figura 5); Kinany *et al.* (2021); Djuuna *et al.* (2022) aislaron, seleccionaron e identificaron cepas con índices de solubilización similares con las bacterias de este estudio. De acuerdo con Batista *et al.* (2021), los índices de solubilización de fosfato se consideran bajos (ISP<2).

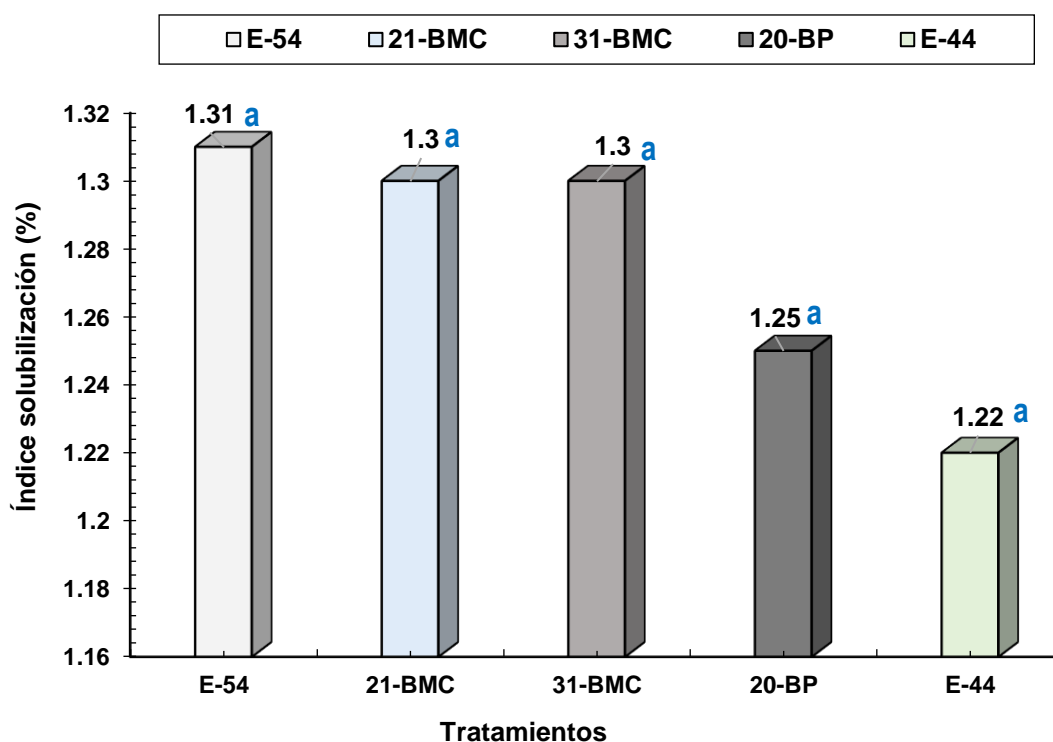
Los resultados obtenidos en las cepas analizadas en este estudio se asemejan a los reportados por Motamedi *et al.* (2016) para bacterias Gram negativas encontradas en suelos cultivados con repollo, donde el índice de solubilización varió entre 1.3 y 4.7%. Por otro lado, Alam *et al.* (2002) examinaron bacterias aisladas de la rizosfera del maíz en condiciones de laboratorio, y observaron que el índice de solubilización fluctuó entre 1.2 y 6.3% después de 24 horas de incubación, notando un aumento en el halo de solubilización a medida que el diámetro de la colonia creció durante siete días de evaluación.

De manera similar, Rashid *et al.* (2004) llevaron a cabo un estudio sobre la

selección de microorganismos solubilizadores de fosfatos presentes en la rizosfera del arroz, encontrando valores de índice de solubilización que fluctuaron entre el 2.1% y el 6.2% después de 24 horas de incubación, con un cambio en el pH del medio desde 5.96 hasta 2.75. Así mismo, Corrales *et al.* (2014) identificaron la actividad solubilizadoras de fosfato en cepas del género *Bacillus*, presentando una alternativa viable para el mejoramiento del suelo en la producción agrícola. En las cepas de *Bacillus*, el porcentaje del índice de solubilización varió entre el 2% y el 10%.

Figura 5

Test de Tukey del índice de solubilización (%) en cepas de Bacillus



Formación de halos de sideróforos (mm) en cepas *Bacillus*

En el estudio sobre la formación de halos de sideróforos en cepas de *Bacillus*, se observó que el tratamiento EM-44 presentó la media más alta, lo cual indica una mayor eficacia en comparación con los otros tratamientos evaluados. Además, la baja desviación y el error estándar reflejan una dispersión mínima. Los resultados presentaron poca variabilidad, como lo demuestra el coeficiente de variación de 7.18%.

Tabla 15*Análisis descriptivo de halos de sideróforos (mm) en cepas Bacillus*

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coefficiente de variación (%)
E-44	2.00			
E-54	1.94			
31-BMC	1.86	0.06	0.14	7.18
20-BP	1.80			
21-BMC	1.80			

En la tabla 16, se presenta el análisis estadístico, el cual no muestra diferencias significativas ($p > 0.05$) en la formación de halos de sideróforos en cepas de *Bacillus*.

Tabla 16*Análisis de varianza en formación de halos de sideróforos (mm) cepas Bacillus*

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	p-valor	Significancia
Tratamientos	4	0.15	0.039	2.143	0.113	NS
Error	20	0.36	0.018			
Total	24	0.51				

El modelo de regresión lineal para la formación de halos de sideróforos en *Bacillus* muestra que el intercepto es altamente significativo, lo que indica una contribución en la formación de halos. Indicando. En cambio, los tratamientos 21-BMC, E-44 y E-54 no tienen un efecto significativo en el modelo, indicando que no influyen en la formación de halos. En contraste, el tratamiento 31-BMC es significativo, ya que el p-valor es menor a 0.05, lo que indica el aumento en la formación de halos. Por otra parte, el valor R² de 0.33 indica que el modelo explica el 33% de la variabilidad de los datos. Lo que indica un ajuste moderado.

Tabla 17

Modelo de regresión lineal de halos de sideróforos cepas de Bacillus

	Estimación	Error Estándar	t - valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	1.800	6.033 x 10 ⁻²	29.83	<2 x 10 ⁻¹⁶	***	0.30
21-BMC	-4.163 x 10 ⁻¹⁷	8.532 x 10 ⁻²	0.000	1.0000		
31BMC	6 x 10 ⁻²	8.532 x 10 ⁻²	0.703	0.4900	*	
E-44	2 x 10 ⁻¹	8.532 x 10 ⁻²	2.344	0.0295		
E-54	1.4 x 10 ⁻¹	8.532 x 10 ⁻²	1.641	0.1165		

Para la variable halo de sideróforo, las medias de todas las cepas evaluadas tuvieron la misma categoría estadística, sin embargo, la cepa E-44 tuvo el diámetro mayor de 2 mm (Figura 6). Estos resultados son similares a los informados por Singh *et al.* (2020), quienes clasificaron los halos de sideróforos como bajos en el rango de 1 a 2 mm y medio de 3 a 10 mm. Prakash *et al.* (2013) y Ghosh *et al.* (2021) informaron una clasificación similar, con respuestas bajas, moderada y rápida reacción.

En el estudio de Divyanshu *et al.* (2022), observaron que, de un total de diez aislamientos bacterianos, *Pseudomonas punonensis* y *P. aeruginosa* exhibieron una producción moderada de sideróforos. Esto se evidenció por la presencia de un halo claro alrededor de las colonias en las placas de agar azul universal CAS (Chromazurol S). Esta formación de halo se produjo a pesar de la aparición de una zona de coloración amarillo anaranjado, la cual sugiere una producción de sideróforos relativamente baja.

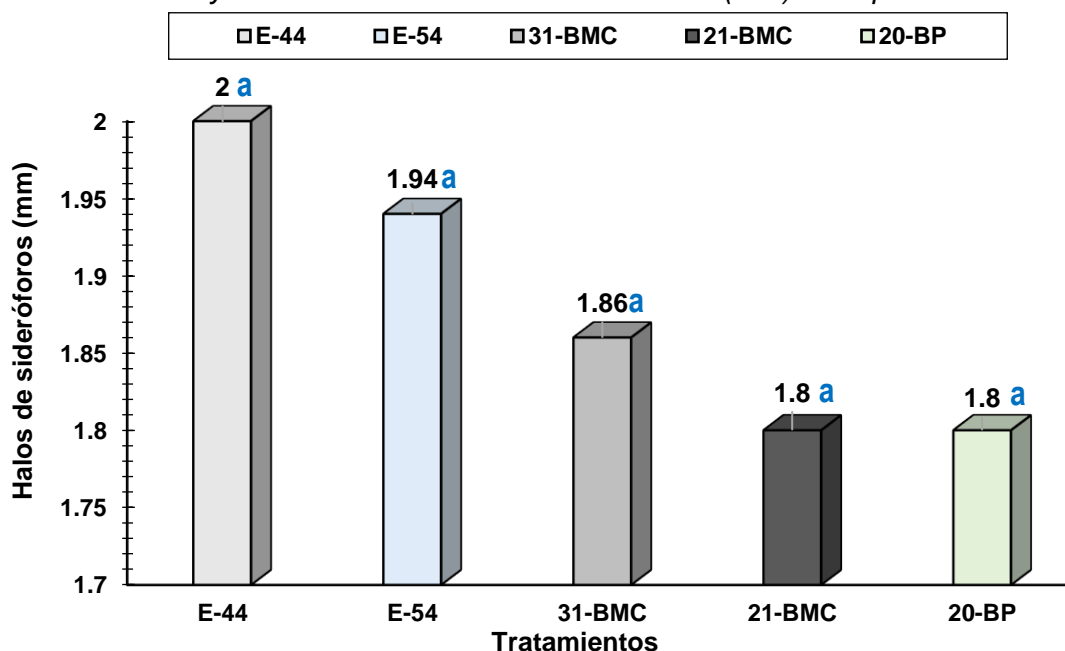
Anguiano *et al.* (2019) evaluaron cepas de *Bacillus subtilis* como promotoras de crecimiento vegetal. Las cepas produjeron sideróforos, halos formados en el

medio CAS. Estos sideróforos, como señalan Bolívar *et al.* (2016), facilitan la absorción de hierro por parte de las plantas y estimulan su crecimiento. Además, Suárez *et al.* (2012) indican que la producción de sideróforos se reconoce como un factor crucial en la inhibición de microorganismos dañinos al competir por el hierro disponible en el suelo, y en ocasiones parece activar la resistencia sistémica adquirida en las plantas.

Los resultados obtenidos coinciden por los obtenidos por Sánchez *et al.* (2012), quienes llevaron a cabo la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal en plantas de tomate en condiciones de invernadero. En su estudio, utilizaron cepas de *Bacillus* spp. Estas bacterias demostraron su capacidad para producir fósforo y sideróforos. Los valores de formación de sideróforos oscilaron entre 2.33 y 3 mm.

Figura 6

Test de Tukey de formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de Bacillus



Formación de halos de solubilización de fosfato (mm) en cepas *Trichoderma*

En la tabla 18, muestra los valores promedio de solubilización para cada tratamiento. La cepa EM-149 obtuvo la media más alta, con 7.17 mm, lo que indica una alta eficiencia en la solubilización de fosfato. En contraste, la cepa

EM-49 mostró la menor media, con 4.62 mm, sugiriendo una capacidad reducida para solubilizar fosfato. A pesar de las variaciones entre los tratamientos, la baja desviación estándar y el error estándar reducido indican una dispersión mínima de los datos, lo cual resalta la confiabilidad de los resultados. El coeficiente de variación del 9.93% respalda la consistencia de los datos y su fiabilidad.

Tabla 18

Análisis descriptivo de solubilización de fosfato (mm) en cepas Trichoderma

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
EM-149	7.17			
EM-72	6.50			
EM-12	6.32	0.26	0.59	9.93
EM-150	5.14			
EM-49	4.62			

La tabla 19, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la formación de halos de solubilización (mm) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que indica que los halos de solubilización difieren entre las cepas evaluadas.

Tabla 19

Análisis de varianza en solubilización de fosfato (mm) en cepas de Trichoderma

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	p-valor	Significancia
Tratamientos	4	21.76	5.44	15.58	0.00000615	***
Error	20	6.98	0.34			
Total	24	28.74				

La tabla 20, muestra los resultados del modelo de regresión lineal aplicado a los halos de solubilización de fosfato en cepas de *Trichoderma*. El intercepto del modelo indica que, el tamaño promedio de los halos es de 6.32 mm. La cepa EM-149 presenta un efecto positivo y significativo, aumentando el tamaño de los

halos en 0.85 mm. Por otro lado, las cepas EM-150 y EM-49 tienen efectos negativos y significativos, reduciendo el tamaño de los halos en 1.18 mm y 1.70 mm respectivamente. La cepa EM-72 muestra un efecto positivo, pero no significativo ($p > 0.1$). El valor de R^2 del modelo es 0.757, lo que indica que aproximadamente el 75.7% de la variabilidad en los halos de solubilización de fosfato es explicada por las cepas estudiadas, lo que refleja un buen ajuste del modelo.

Tabla 20.

Modelo de regresión lineal de halos de solubilización de fosfato en cepas (mm)

Trichoderma

	Estimación	Error Estándar	t - valor	p-valor	Significación	R²
(Intercept)	6.3200	0.2643	23.911	3.48×10^{-16}	***	
EM-149	0.8500	0.3738	2.274	0.034135	*	
EM-150	-1.1800	0.3738	-3.157	0.004961	**	0.757
EM-49	-1.7000	0.3738	-4.548	0.000196	***	
EM-72	0.1800	0.3738	0.482	0.635351		

El valor más alto de halo de solubilización de fosfato se observó en la cepa EM-149 con 7.17 mm, seguida de EM-72 con 6.5 mm y el valor más bajo con 4.62 mm, la cepa EM-49 (Figura 7). Estos resultados son similares a los reportados por Bononi *et al.* (2020a), quien obtuvo halos de solubilización de fosfato con valores promedio entre 2 y 11 mm, al utilizar cepas de *Trichoderma* spp como inoculantes de rábano. Además, Stewart y Hill, (2014) y García *et al.* (2015) demostraron que el tratamiento con diferentes cepas de *Trichoderma* tiene propiedades beneficiosas para promover el crecimiento de las plantas y controlar los patógenos de las plantas.

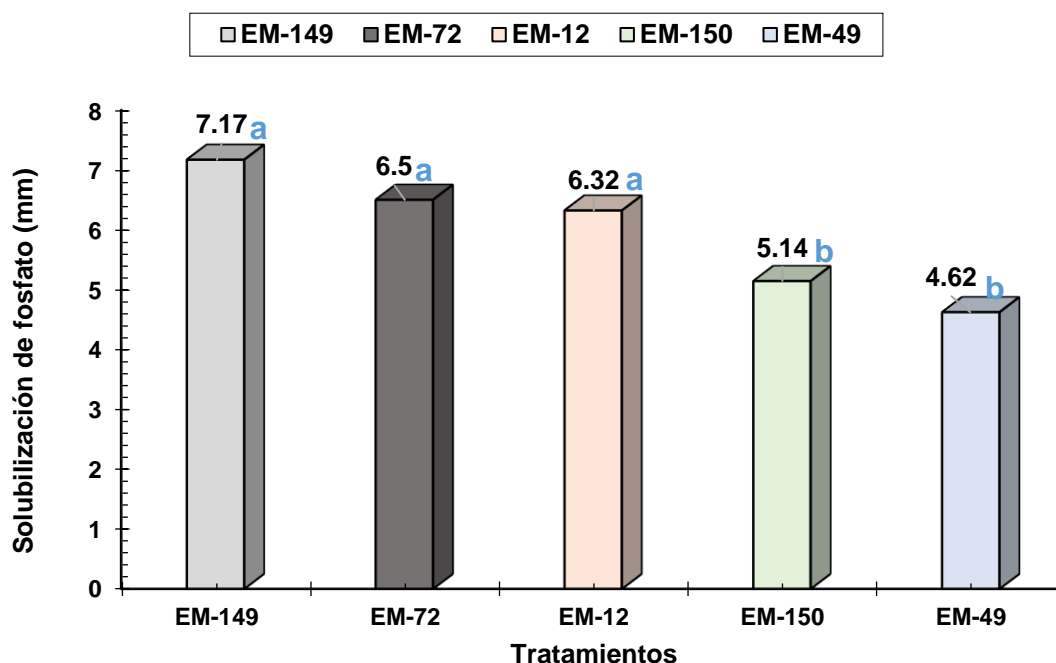
En el estudio realizado por Vargas y Castro (2019), aislaron y evaluaron microorganismos solubilizadores de fosfato provenientes de Andisoles de Costa

Rica. Durante la evaluación de la capacidad de solubilización de fosfato en los hongos, se observaron valores de 8.38 y 9.63 mm, indicando una actividad significativa en la solubilización de fosfato por parte de estos microorganismos. Además, Saad (2017) investigó las actividades promotoras del crecimiento vegetal de endófitos bacterianos y fúngicos aislados de la planta medicinal *Teucrium polium* L. Se identificaron hongos del género *Penicillium crustosum* con capacidad de formación de halos de solubilización de fosfato, los valores que mostraron fueron de 3.3 a 6.3 mm

Tariq *et al.* (2022) evaluaron el efecto de microorganismos solubilizadores de fosfato (PSM) aislados de plantas medicinales en el crecimiento de la menta. Al utilizar placas de agar para estudiar los índices de formación de fosfato, se observó que estos microorganismos formaban una zona pura mediante la solubilización de fosfato tricálcico flotante. Las mediciones revelaron que las colonias bacterianas alcanzaban diámetros de 13 a 23 mm, mientras que las fúngicas oscilaban entre 15 y 37 mm.

Figura 7

Test de Tukey de la solubilización de fosfato (mm) en cepas Trichoderma



La formación de halos en los tratamientos EM-150 y EM-149 presentan las medias más altas, indicando una mayor eficacia en comparación con los otros tratamientos evaluados. Por otro lado, EM-12 y 49 muestran valores más bajos,

lo que sugiere una menor capacidad para formar halos. Las medias entre los tratamientos varían ligeramente, la baja desviación estándar señala que los datos tienen una dispersión mínima. Por otra parte, el conjunto de datos muestra un coeficiente de variación de 19.4 % probablemente debido a la variabilidad enzimática producida por las cepas en el estudio.

Tabla 21

Análisis descriptivo de la formación de halos de sideróforos (mm) en cepas Trichoderma

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coeficiente de variación (%)
EM-150	3.8			
EM-149	3.2			
EM-72	2.8	0.26	1.95	19.44
EM-12	2.6			
EM-49	2.6			

El análisis de varianza mostró que había diferencias significativas ($p < 0,05$) en la formación de halos de sideróforos entre las cepas de *Trichoderma* (Tabla 22).

Tabla 22

Análisis de varianza en la formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de Trichoderma

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	4	5.2	1.30	3.82	0.018	*
Error	20	6.8	0.34			
Total	24	12				

La tabla 23 presenta el modelo de regresión lineal de la formación de halos de sideróforos en diferentes cepas de *Trichoderma*. El intercepto es altamente significativo, indicando un valor de 2.60 mm. Entre las cepas, solo EM-150 muestra un efecto significativo, con un incremento promedio de 1.20 mm en la formación de halos. Las cepas EM-149, EM-49 y EM-72 no son estadísticamente significativas. El coeficiente de determinación R^2 para el modelo es 0.43, lo que

indica que el 43% de la variabilidad en la formación de halos de sideróforos es explicada por el modelo. Estos resultados resaltan la importancia de la cepa EM-150 en la producción de sideróforos, mientras que las otras cepas no muestran un efecto significativo.

Tabla 23

Modelo de regresión lineal de formación de halos de sideróforos (mm) en cepas de Trichoderma

	Estimación	Error Estándar	t - valor	p-valor	Significación	R²
(Intercept)	2.60	2.60 x 10 ⁻¹	9.971	3.3 x 10 ⁻⁹	***	
EM-149	6.0 x10 ⁻¹	3.688 x10 ⁻¹	1.627	0.11939		0.43
EM-150	1.20x 10 ⁰	3.688 x10 ⁻¹	3.254	0.00397	**	
EM-49	-7.60 x 10 ⁻¹⁷	3.688 x10 ⁻¹	0.000	1.00000		
EM-72	2.0 x 10 ⁻¹	3.688 x10 ⁻¹	0.542	0.59359		

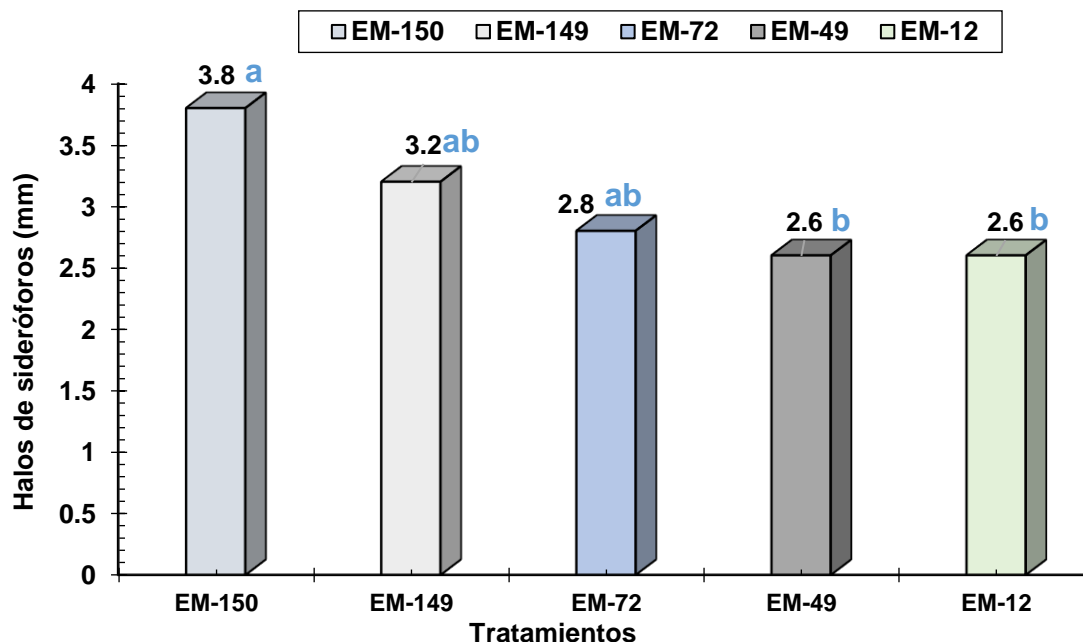
El valor más alto de halo de sideróforo se observó en la cepa EM-150 con 3.8 mm, seguida de EM-149 con 3.2 mm y el valor más bajo con 2.6 mm, la cepa EM-12. Estos resultados son similares a los reportados por Sabando y Zambrano (2022) quienes obtuvieron halos de sideróforos comprendidos entre 1.91 a 2.07 mm utilizando cepas de *Trichoderma* para su inoculación como inoculante en pimiento.

Estos resultados coinciden con los presentados por Sabando y Zambrano (2022) quienes emplearon cepas de *Trichoderma* spp como agentes bioestimulante en el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento. En su investigación sobre la detección de los sideróforos en las cepas *Trichoderma* spp., obtuvieron valores comprendidos entre 1.30 a 1.80. Así mismo los resultados reportados Hoyos *et al.* (2009) para especies de *Trichoderma asperellum* y *T. harzianum*, produjeron

sideróforos en medio CAS. Por otra parte, Chowdappa (2020), menciona que se logró identificar un 60% de hongos con la capacidad de generar sideróforos

Figura 8

Test de Tukey de los sideróforos (mm) en cepas *Trichoderma*



Respuesta del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L) a la inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* promotoras de crecimiento vegetal.

En el estudio sobre la respuesta del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) a la inoculación con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* promotoras de crecimiento vegetal, se aplicaron diversas técnicas estadísticas para verificar los resultados. Se utilizó estadística descriptiva, calculando el error estándar, la desviación estándar y el coeficiente de variación, proporcionando un análisis de la variabilidad y precisión de los datos. Se verificaron los supuestos de normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con el test de Levene. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, seguido del test de Tukey para identificar cuáles tratamientos presentan diferencias significativas. Finalmente, se aplicó un modelo de regresión lineal para evaluar el efecto de los distintos tratamientos a la inoculación de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* en el cultivo de rábano.

Supuesto de Normalidad

Los datos de las variables evaluadas cumplen con la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk, ya que el p-valor es mayor al 0.05 (Tabla 24). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 24

Prueba de normalidad de la respuesta del cultivo de rábano

Tratamientos	Estadístico de prueba Shapiro Wilk	p-valor
Altura de planta (cm)	0.962	0.591
Longitud de hoja (cm)	0.975	0.856
Ancho de hoja (cm)	0.941	0.251
Número de hojas/planta	0.938	0.228
Longitud de raíz (cm)	0.978	0.907
Diámetro de bulbo (mm)	0.983	0.969
Rendimiento (Kg/ha ⁻¹)	0.951	0.394

Supuesto de homogeneidad de varianza

Los datos de las variables evaluadas cumplen con la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, ya que el p-valor es mayor al 0.05 (Tabla 25). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 25

Prueba de homogeneidad de varianza de la respuesta del cultivo de rábano

Tratamientos	Estadístico de prueba Levene	p-valor
Altura de planta (cm)	1.051	0.397
Longitud de hoja (cm)	0.634	0.603

Ancho de hoja (cm)	2.536	0.093
Número de hojas/planta	0.754	0.535
Longitud de raíz (cm)	1.977	0.158
Diámetro de bulbo (mm)	2.331	0.112
Rendimiento (Kg/ha1)	1.524	0.246

Altura de planta (cm)

En el estudio se evaluó la altura de las plantas bajo diferentes tratamientos. Las medias de altura para el tratamiento T1: *Bacillus* y el tratamiento T3: *Bacillus* + *Trichoderma* fueron similares (25.90 cm y 25.82 cm, respectivamente), mientras que el tratamiento de control (testigo absoluto) mostró la altura más baja (19.77 cm). El valor del error estándar y la desviación estándar fue relativamente bajo, lo que indica la confiabilidad de los datos. Además, el coeficiente de variación fue de 4.85, corroborando la consistencia de los registros obtenidos.

Tabla 26

Análisis descriptivo de la altura de planta (cm)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	25.90			
T2: <i>Trichoderma</i>	24.95			
T3: <i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i>	25.82	0.52	1.16	4.85
T4: Testigo absoluto	19.77			

En cuanto a la altura de la planta (cm), hubo diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados. Esto indicó que la aplicación de microorganismos eficientes (*Bacillus* y *Trichoderma*) resultó en un mayor desarrollo en altura de las plantas de rábano en comparación con el tratamiento testigo.

Tabla 27

Análisis de varianza de altura de planta (cm)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	124.73	41.58	30.86	6.99 x10 ⁷	***
Error	16	21.59	1.35			
Total	19	146,32				

El modelo de regresión lineal aplicado a la altura de planta en función a los diferentes tratamientos muestra resultados significativos. Las cepas de *Trichoderma* y el tratamiento testigo absoluto influyen de manera importante en la altura de planta, mientras que el tratamiento *Bacillus + Trichoderma* no muestra diferencias significativas. El coeficiente de determinación R² indica que aproximadamente el 85% de la variabilidad se explica mediante este modelo.

Tabla 28

Modelo de regresión lineal en altura de planta (cm)

	Estimación	Error Estándar	t - valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	25.9298	0.5195	49.916	<2 x10 ¹⁶	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	-1.6723	0.7346	-2.276	0.0369	*	
T3: <i>Bacillus+Trichoderm</i> <i>a</i>	-0.1060	0.7346	-0.144	0.8870		0.85
T4: Testigo Absoluto	-6.1535	0.7346	-8.376	3.x10 ⁻⁷	***	

Guzmán *et al.* (2019) indican que el hongo *Trichoderma* sp. posee efectos beneficiosos, entre los que se incluye la capacidad para sintetizar fitohormonas, específicamente auxinas y citoquininas. Adicionalmente, este hongo posee la facultad de incrementar la solubilidad de ciertos elementos, lo que conlleva a un

aumento en la disponibilidad de nutrientes y micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, incluyendo fosfatos, hierro, manganeso y magnesio.

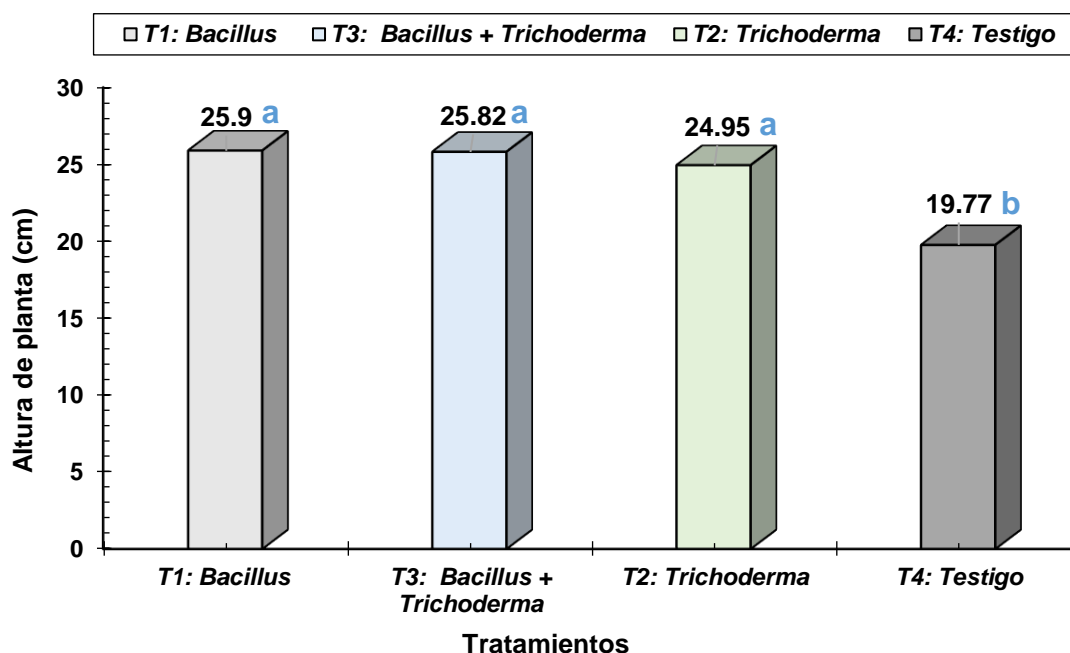
La cepa *Bacillus* inoculada mostró el mayor aumento en la altura promedio de la planta, con un aumento promedio de 25.92 cm, mientras que el testigo obtuvo el valor más bajo de 19.77 cm (Figura 9). Estos resultados son mejores que los reportados por Reinoso (2021) quien logró una altura de 20.98 cm utilizando *Bacillus subtilis* como inoculante de rábano. La altura promedio de las plantas también fue mejor que la reportada por Hurtado *et al.* (2019) y Lara *et al.* (2013), sus alturas fueron 13.20 y 12.06 cm respectivamente. Resultados similares obtuvieron Díaz y Céspedes (2021), quienes obtuvieron una altura de 25.33 cm de plantas de rábano utilizando una cepa *Trichoderma*.

Resultados similares presentados por Wumei *et al.* (2023) donde se centraron en el uso de Biochar combinado con *Bacillus subtilis* (SL-44) como una estrategia ecológica para mejorar la fertilidad del suelo, reducir la marchitez por *Fusarium* y promover el crecimiento del rábano. Con la aplicación de SL-44 mostró un valor de altura de planta de 26 cm en comparación del tratamiento control con 24 cm. Además, Hernández *et al.* (2014) condujeron un estudio del efecto de *Bacillus* en el crecimiento y la productividad del chile habanero. Los tratamientos que recibieron cepas de *Bacillus* experimentaron un aumento del 28 % en la altura en comparación con los tratamientos químicos.

Nuha *et al.* (2019) llevaron a cabo un estudio en el que aplicaron estiércol (residuos de aves de corral) y bioformulaciones de *Trichoderma harzianum* y *T. viride*, tanto de manera individual como en combinación, con el objetivo de controlar la enfermedad de los nematodos en cultivos de rábanos y acelgas. En este estudio, se observó que el tratamiento ThTvM (que combina *T. harzianum*, *T. viride* y estiércol) resultó la mayor altura de la planta de rábano, tanto en suelo no contaminado con nematodos (NCS) como en suelo contaminado (CS), alcanzando alturas de 17.85 y 16.50 cm respectivamente. Estos resultados superaron significativamente a los del tratamiento de control, que alcanzó una altura de 5 cm.

Figura 9

Test de Tukey de altura de planta (cm)



Longitud de Hoja (cm)

Las medias de longitud de hoja en los tratamientos varían (Tabla 29). El tratamiento T3 tiene la mayor media (11.71 cm), mientras que el tratamiento T4 tiene la menor (9.91 cm). Sin embargo, los valores del error estándar y la desviación estándar son relativamente bajo la dispersión. El conjunto de datos es confiable con el coeficiente de variación de 5.70 %.

Tabla 29

Análisis descriptivo de longitud de hoja (cm)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	11.32			
T2: <i>Trichoderma</i>	11.17			
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	11.71	0.28	0.63	5.70
T4: Testigo Absoluto	9.91			

La tabla 30, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable longitud de la hoja (cm) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor desarrollo en la longitud de la hoja con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma*.

Tabla 30*Análisis de varianza de longitud de hoja (cm)*

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	9.09	3.03	7.64	0.00217	**
Error	16	6.34	0.39			
Total	19	15,43				

El modelo de regresión lineal para la longitud de la hoja muestra que el intercepto es altamente significativo. Sin embargo, los tratamientos con cepas de *Trichoderma* y *Bacillus + Trichoderma* no tienen un efecto significativo. En contraste, el testigo absoluto reduce significativamente la longitud de las hojas en -1.4070 cm (p-valor = 0.0027). El coeficiente de determinación (R²) de 0.59 sugiere que el modelo explica el 59% de la variabilidad en la longitud de las hojas, lo cual es moderadamente bueno.

Tabla 31*Modelo de regresión lineal de longitud de hoja (cm)*

	Estimación	Error Estándar	t-valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	11.3254	0.2817	40.21	<2x10 ⁻¹⁶	***	0.59
T1: <i>Trichoderma</i>	-0.1456	0.3983	-0.366	0.7194		
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.3923	0.3983	0.985	0.3393		
T4: Testigo Absoluto	-1.4070	0.3983	-3.532	0.0027	**	

Los tratamientos que recibieron la inoculación microbiana presentaron la misma categoría estadística; sin embargo, la combinación *Bacillus + Trichoderma* presentó la mayor longitud de hoja, 11.71 cm, mientras que el tratamiento testigo tuvo la longitud de hoja más corta, 9.91 cm (Figura. 10). O'Connor (2019) obtuvo resultados similares utilizando bacterias promotoras del crecimiento vegetal del

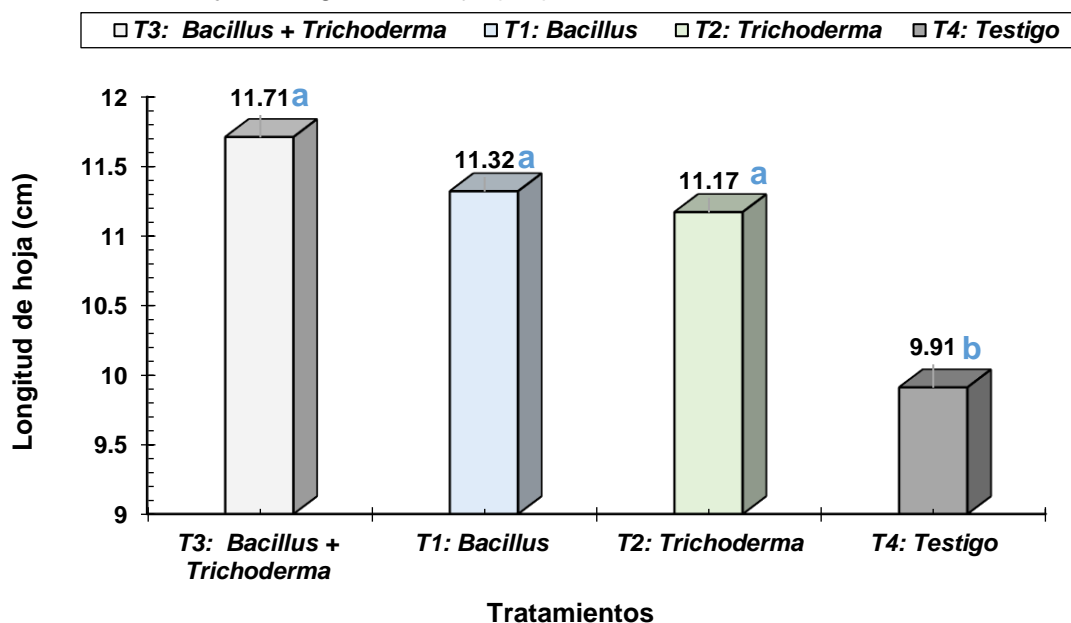
género *Bacillus* en cultivos de rábano; obteniendo un valor de 18 cm para la longitud de la hoja (cm).

Los resultados de este estudio son similares con los mostrados por Orbe (2017), quien evaluó la eficacia de microorganismos de Montaña en la finca Agroecológica Zamorano, obteniendo datos de longitud de hoja que oscilaron entre 11.07 y 12.4 cm. Asimismo, se asemejan a los resultados de Fernández (2013), quien analizó los rendimientos de tres variedades de rábano (Champion, Crimson Giant y Major) a diferentes densidades de siembra, además de aplicar biofertilizantes, compost y humus de lombriz.

Similares resultados fueron reportados por Álvarez y Urroz (2019) quienes evaluaron las propiedades fertilizadoras de un consorcio microbiano en cultivos hortícolas de ciclo corto (rábano), utilizaron cepas de *Bacillus megaterium*. Los resultados obtenidos de la longitud promedio alcanzó 18.3 cm. Así mismo los resultados mostrados por Lara *et al.*, (20213) quienes evaluaron el impacto de bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en plantas de rábano.

Figura 10

Test de Tukey de longitud de hoja (cm)



Ancho de hoja (cm)

Las medias de longitud de hoja en los diferentes tratamientos varían (Tabla 32). El tratamiento T3 tiene la mayor media, con una longitud promedio de 8.11 cm, mientras que el tratamiento T4 muestra la menor media, con 6.38 cm. Sin embargo, los valores del error estándar y la desviación estándar son relativamente bajos, lo que muestra una dispersión reducida. El conjunto de datos y los registros resultantes son confiables con el coeficiente de variación de 5.25

Tabla 32

Análisis descriptivo ancho de hoja (cm)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	7.27			
T2: <i>Trichoderma</i>	7.12			
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	8.11	0.17	0.37	5.25
T4: Testigo Absoluto	6.38			

La tabla 33, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable ancho de hoja (cm) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor desarrollo en el ancho de la hoja con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma*.

Tabla 33

Análisis de varianza de ancho de hoja (cm)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	7.54	2.5163	17.42	2.7x10 ⁵	***
Error	16	2.31	0.1444			
Total	19	9.85				

El modelo de regresión lineal para el ancho de hoja muestra que el tratamiento con *Bacillus + Trichoderma* tiene un impacto positivo significativo, aumentando el ancho de hoja en promedio 0.8379 cm, con un valor p de 0.0030, lo que indica alta significancia. Por otro lado, el Testigo Absoluto disminuye significativamente el ancho de hoja en -0.8914 cm. El coeficiente de determinación R² es de 0.78, indicando que el 78% de la variabilidad en el ancho de hoja es explicada por el modelo. Esto indica que el modelo es adecuado para explicar las diferencias en el ancho de hoja debido a los tratamientos aplicados.

Tabla 34

Modelo de regresión lineal de ancho de hoja (cm)

	Estimación	Error Estándar	t-valor	p-valor	Significación	R²
(Intercept)	7.2709	0.1699	42.79	<2x10 ⁻¹⁶	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	-0.1554	0.2403	-0.647	0.527		
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.8379	0.2403	3.487	0.0030	**	0.78
T4: Testigo Absoluto	-0.8914	0.2403	3.709	0.0019	**	

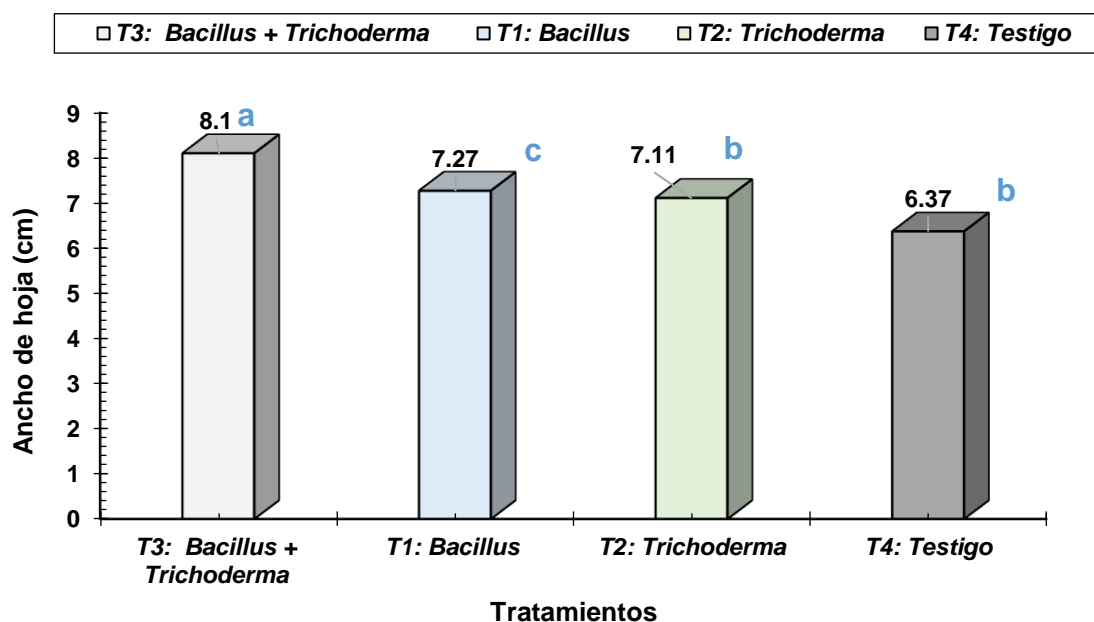
La combinación de microorganismos *Bacillus + Trichoderma* mostró el mayor ancho hojas, con promedio de 8.10 cm, mientras que el testigo obtuvo el valor más bajo con 6.37 cm (Figura 11). Resultados similares fueron expuestos por Rodríguez y Guevara (2020) aplicando inóculo de microorganismos rizosféricos al crecimiento foliar en el crecimiento del rábano, mostró valores promedio de ancho de hojas de 6 a 8 cm. Por otra Arrera *et al.* (2009) indica que el desarrollo y llenado de los frutos depende principalmente de la actividad fotosintética de las hojas funcionales.

De acuerdo al estudio realizado por Aguilar *et al.* (2019) realizaron una investigación comparativa sobre cultivo de rábano (*Raphanus sativus L*) bajo

condiciones en invernadero con la aplicación de bacterias del género *Azotobacter* sp. En cuanto a las plantas inoculadas obtuvieron un valor de ancho de hoja de 12 cm.

Figura 11

Test de Tukey de ancho de hoja(cm)



Número de hojas/planta

Las medias obtenidas en los tratamientos aplicados para evaluar el número de hojas muestran que T2 (*Trichoderma*) y T3 (*Bacillus* + *Trichoderma*) alcanzaron los valores más altos con 7.57 hojas. En cambio, el tratamiento T4 (Testigo Absoluto) presentó la media más baja de 6.44. Además, la consistencia de los resultados se confirma con el error estándar, la desviación estándar y el coeficiente de variación, los cuales reflejan una baja dispersión de los datos respecto a las medias.

Tabla 35*Análisis descriptivo número de hojas*

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	7.16			
T2: <i>Trichoderma</i>	7.01			
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	7.57	0.14	0.32	4.44
T4: Testigo Absoluto	6.44			

La tabla 36, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable número de hojas ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor número de hojas con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* spp.

Tabla 36*Análisis de varianza de número de hojas/planta*

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	3.262	1.087	11.1	0.000347	***
Error	16	1.568	0.098			
Total	19	4.829				

El modelo de regresión lineal para el número de hojas revela que el intercepto es altamente significativo, indicando que el número promedio de hojas es de 7.169. Por otro lado, el tratamiento combinado de *Bacillus* y *Trichoderma* muestra un coeficiente de 0.4013, implicando un aumento significativo en el número de hojas. En contraste, el tratamiento con el Testigo Absoluto tiene un coeficiente de -0.7241, indicando una reducción significativa en el número de hojas. El coeficiente de determinación (R²) de 0.67 indica que el modelo explica el 67% de la variabilidad en el número de hojas, lo que denota un buen ajuste.

Tabla 37

Modelo de regresión lineal de numero de hojas

	Estimación	Error Estándar	t-valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	7.1690	0.1400	51.21	< 2x 10 ⁻¹⁶	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	-0.1559	0.1980	-0.788	0.44246	.	0.67
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.4013	0.1980	2.027	0.05969	.	
T4: Testigo Absoluto	-0.7241	0.1980	-3.657	0.00213	**	

El número de hojas es una variable importante para el crecimiento de las plantas, ya que la luz es uno de los determinantes del crecimiento, diámetro, altura de las plantas (Romo, 2005). El desarrollo y llenado de los frutos también depende principalmente de la luz. Actividad fotosintética de hojas funcionales (Barrera *et al.*, 2011). La combinación de microorganismos *Bacillus* + *Trichoderma* mostró el mayor incremento en el número promedio de hojas, con un aumento promedio de 7.10 hojas, mientras que el control obtuvo el valor más bajo con 6.44 hojas (Figura 12).

Resultados similares presentaron Rodríguez *et al.* (2020) quienes aplicaron una cepa de *Bacillus subtilis* obtuvieron un promedio de 7.25 hojas por planta, mientras que utilizando una cepa de *Trichoderma harzianum* obtuvieron 7.75 hojas. Otros autores como Sotelo *et al.* (2012) y Lara *et al.* (2013) registraron un promedio de 6 y 6.13 hojas, respectivamente, cuando aplicaron inoculantes bacterianos.

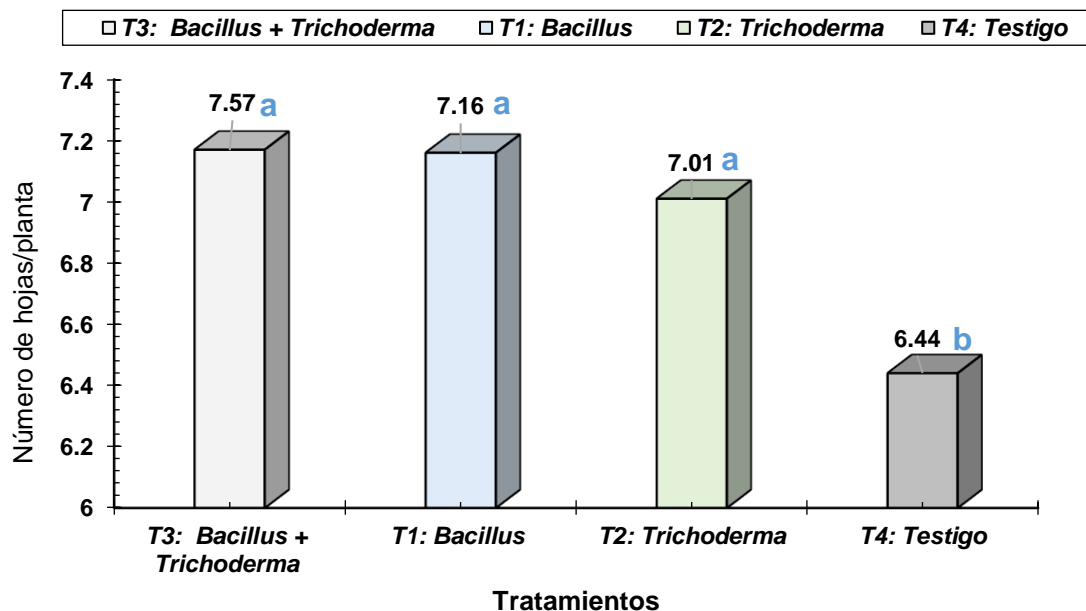
Los resultados presentados guardan similitud con los obtenidos por Rodríguez (2020) en su investigación sobre el control de la Peca Negra (*Streptomyces*

spp.) en las raíces del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) en el Valle de Mexicali. En dicha evaluación, se emplearon cepas de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*. En cuanto a la variable número de hojas, se mostraron valores de 7.75 hojas para *B. subtilis* y 7.25 hojas para *T. harzianum*. Así mismo en una investigación realizada por Carbajal (2017), quien, al utilizar *Trichoderma* sp. en plántulas de café, observó el mayor promedio de número de hojas después de la germinación.

Los hallazgos presentados por Sotelo *et al.* (2012) guardan similitudes con los de este estudio, donde se llevó a cabo la inoculación de microorganismos en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*). En la investigación, se aplicaron tratamientos con el inoculante de *Bacillus licheniformis*, lo que resultó un promedio total de 5 hojas desarrolladas. Además, Romo (2005) indica que el número de hojas es un parámetro importante en el crecimiento de las plantas debido a que la luz es uno de los factores determinantes en el crecimiento, en diámetro y altura de las plantas.

Figura 12

Test de Tukey de numero de hojas/planta (cm)



Longitud de raíz (cm)

Las medias obtenidas muestran que T1 (*Bacillus*) alcanzó la mayor media con 7.3 cm seguido de T2 (*Trichoderma*) y T3 (*Bacillus* + *Trichoderma*) (Tabla 38).

En contraste, el Testigo Absoluto presentó la media más baja con 5.40 cm. Por otro lado, los valores relativamente bajos del error estándar y la desviación estándar indican que la variabilidad es mínima, lo que indica que los datos son consistentes. Además, el coeficiente de variación refleja una baja dispersión relativa de los datos respecto a las medias y, por lo tanto, una alta precisión en los resultados obtenidos.

Tabla 38

Análisis de descriptivo de longitud de raíz (cm)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	7.3			
T2: <i>Trichoderma</i>	6.8			
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	6.6	0.12	0.28	4.18
T4: Testigo Absoluto	5.4			

La tabla 39, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable longitud de raíz (cm) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor desarrollo en la longitud de la raíz con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* spp.

Tabla 39

Análisis de varianza de longitud de raíz (cm)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	9.012	3.0039	39.87	1.19 x 10 ⁻⁰⁷	***
Error	16	1.205	0.0753			
Total	19	10.217				

La tabla 40, presenta los resultados del modelo de regresión lineal aplicado a la longitud de la raíz con diferentes tratamientos con cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*. El intercepto es altamente significativo, indicando un valor promedio de estimación de 6.60 cm. Sin embargo, la combinación T3 (*Bacillus* + *Trichoderma*) no muestra un efecto estadísticamente significativo. Por otro lado,

el tratamiento T4 (Testigo Absoluto) reduce significativamente la longitud de la raíz en -1.1207 cm. Además, con un R² de 0.88, el modelo explica el 88% de la variabilidad en la longitud de la raíz, lo que indica una fuerte capacidad predictiva.

Tabla 40

Modelo de regresión lineal de longitud de raíz (cm)

	Estimación	Error Estándar	t-valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	6.6069	0.1228	53.823	< 2 x 10 ⁻¹⁶	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	0.7091	0.1736	4.085	0.00086	***	
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.2279	0.1736	1.313	0.20784		0.88
T4: Testigo Absoluto	-1.1207	0.1736	-6.456	7.9x 10 ⁻⁰⁶	***	

Sánchez *et al.* (2014) inocularon bacterias de *Bacillus sp.* en raíces de plántulas, y demostraron que el uso de biofertilizantes es un factor importante debido a que favorece al crecimiento de la parte aérea y la longitud radial. Así mismo Donoso *et al.* (2008), han demostrado que el uso de *T. harzianum* durante la siembra o el trasplante mejora el crecimiento de la planta y en la expansión del sistema de raíces. Esto se debe a la generación de factores abióticos que pueden impulsar el crecimiento y optimizar la habilidad de las raíces para absorber nutrientes.

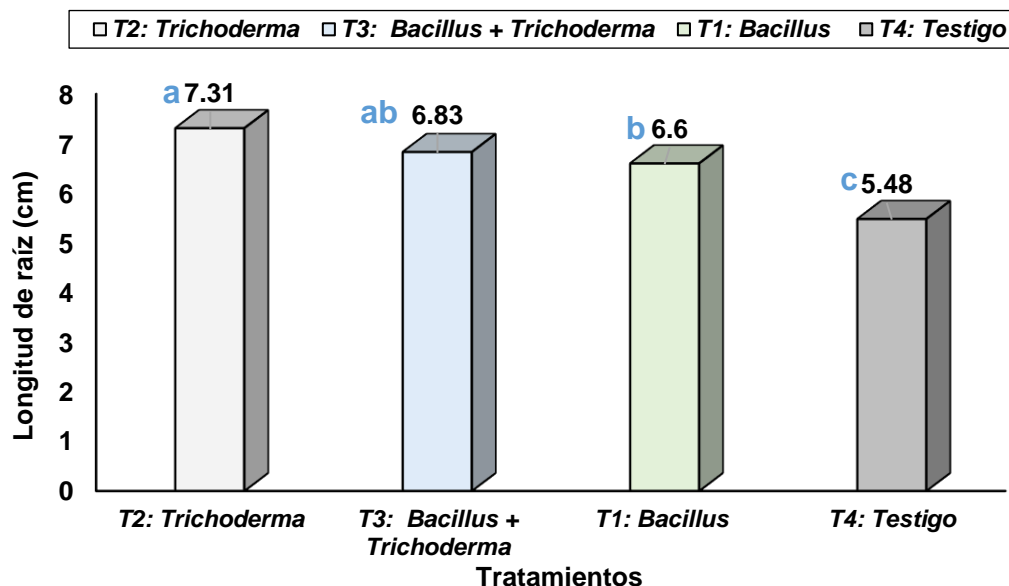
Según Soza (2018) las raíces de las plantas, además de proporcionar anclaje y soporte, facilitan la absorción de líquidos y nutrientes, incluyendo tratamientos, disponibles en el suelo. Así mismo es importante señalar que las raíces más largas pueden alcanzar y aprovechar estos recursos de manera más eficiente. Por otra parte, Alfiky y Weisskopf (2021) indica que las raíces colonizadas por *Trichoderma spp.* suelen mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo, además de aumentar la resistencia al estrés abiótico, la absorción y el uso de nutrientes por lo cual mejora la productividad de los cultivos.

Las plantas tratadas con cepas de *Trichoderma* (*T. longibrachiatum* y *T. reesei*) mostraron longitudes de raíces significativamente más largas con un promedio de 7.31 cm en comparación con el tratamiento control, con 5.48 cm (Figura. 13). Valores similares fueron mostrados por Lara *et al.* (2013), la cual fue de 7.64 cm, a diferencia del tratamiento control 6.97 cm. Tales resultados pueden deberse a la producción de fitohormonas como IAA (ácido indolacético), auxinas y giberelinas por parte del inóculo natural (*Bacillus*, *Trichoderma*), que promueven el crecimiento, desarrollo y elongación de las raíces (Olowe *et al.*, 2022; Prasad *et al.*, 2017).

En un estudio realizado por O`Connor Mendoza (2019), utilizaron un consorcio microbiano de cepas de *Bacillus* y obtuvieron un valor promedio de longitud de raíz de 7.89 cm. Marimuthu *et al.* (2021) afirmaron que se observó estimulación del crecimiento y aumento de la productividad de cultivos asociados con la inoculación de *Trichoderma* en varias especies de plantas, incluidos clavel, rábano, tomate, lechuga, maíz, maní y frijoles.

Figura 13

Test de Tukey longitud de raíz(cm)



Diámetro de bulbo (cm)

En este estudio, se evaluaron diferentes tratamientos con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* en relación con el diámetro de los bulbos. Los resultados

revelaron que el tratamiento combinado de *Bacillus* y *Trichoderma* mostró el diámetro promedio más alto, con 2.97 cm. En contraste, el Testigo Absoluto tuvo el diámetro promedio más bajo, con 1.92 cm. Además, los valores bajos del error estándar y la desviación estándar reflejan que la variabilidad es mínima. Los datos obtenidos son confiables, como lo demuestra el coeficiente de variación de 7.56%.

Tabla 41

Análisis descriptivo diámetro de bulbo (cm)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	2.68			
T2: <i>Trichoderma</i>	2.92			
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	2.97	0.09	0.20	7.56
T4: Testigo Absoluto	1.92			

En la tabla 42, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable diámetro del bulbo (cm) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor desarrollo en el diámetro de bulbo con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* spp.

Tabla 42

Análisis de varianza de diámetro de bulbo (cm)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	3.579	1.193	29.82	8.71e ⁰⁷	***
Error	16	0.640	0.040			
Total	19					

La tabla 43, presenta el modelo de regresión lineal del efecto de diferentes tratamientos en el diámetro del bulbo. El intercepto, con una estimación de 2.68 cm. Además, el tratamiento T2 (*Trichoderma*) aumenta el diámetro del bulbo en 0.240 cm, aunque este efecto no es estadísticamente significativo. Sin embargo, la combinación T3 (*Bacillus* + *Trichoderma*) incrementa significativamente el

diámetro del bulbo en 0.29155 cm. Por otro lado, el tratamiento T4 (Testigo Absoluto) reduce significativamente el diámetro del bulbo en 0.76600 cm. Asimismo, con un R² de 0.85, el modelo explica el 85% de la variabilidad en el diámetro del bulbo, lo que indica una fuerte capacidad predictiva.

Tabla 43

Análisis descriptivo diámetro de bulbo (cm)

	Estimació n	Error Estándar	t- valor	p-valor	Significa ción	R ²
(Intercept)	2.68704	0.08945	30.04	1.68x10 ⁻¹⁵	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	0.24037	0.12650	1.900	0.0756	.	
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.29155	0.12650	2.305	0.0349	*	0.85
T4: Testigo Absoluto	-0.76600	0.12650	- 6.056	1.67x ⁻⁰⁵	***	

Para la variable diámetro del bulbo los mejores valores medios tuvieron la misma categoría estadística, sin embargo, la combinación *Bacillus + Trichoderma* presentó el mayor diámetro, 2.97 cm (Figura 14). Estos resultados son mejores que los reportados por Reinoso (2021), quien obtuvo diámetros de bulbo de 2.28 y 2.54 cm, respectivamente, al utilizar *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa* como inoculantes de rábano. Los diámetros obtenidos son similares a los reportados por Cabrera (2023), quien obtuvo bulbos de 2.44, 3.33 y 2.24 cm durante la primera, segunda y tercera siembra, respectivamente, al utilizar una dosis de microorganismos eficientes como inoculantes del rábano.

Los resultados de la investigación concuerdan con los de Ortuño *et al.* (2013), quien evaluó cepas específicas de *Trichoderma spp.* capaces de generar metabolitos secundarios con potencial para promover el crecimiento en cultivos de rábano. En su estudio, se observó que el diámetro de los bulbos aumentó en un rango significativo, oscilando entre 3.3 y 3.8 cm. Este resultado subraya la

eficacia de las cepas identificadas como promotores del crecimiento en los cultivos de rábano.

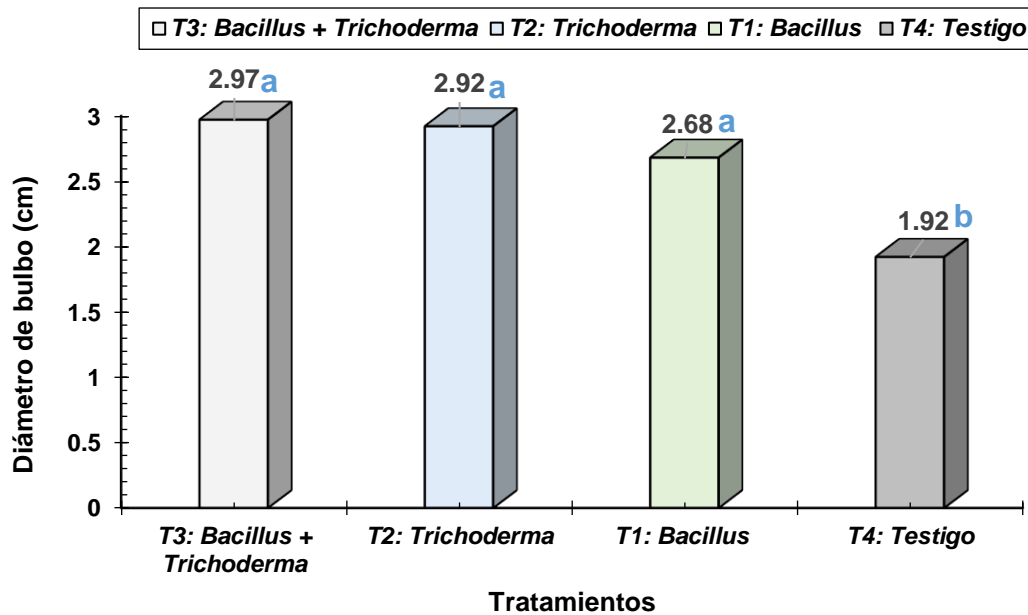
Lo expuesto concuerda con la investigación de Guamán (2024), quien evaluó la aplicación de tres microorganismos eficientes en dos variedades de rábano. La aplicación de *Trichoderma* en la variable del diámetro del bulbo alcanzó un diámetro de 2.88 cm. Esto coincide con otro estudio realizado por Ayala y Valdiviezo (2021), en el cual, utilizando micorrizas, establecieron que la presencia de estos microorganismos en la rizosfera favorece el crecimiento de las plantas al incrementar la disponibilidad de nutrientes cruciales como el fósforo y el nitrógeno.

Los resultados obtenidos por Antepara (2022) revelan diámetros promedio de 4.20 cm. Este incremento en el diámetro de los bulbos, según Luna y Zapana (2020), se atribuye al hecho de que microorganismos como las micorrizas y los *Bacillus* que sintetizan de manera más eficiente la relación Ca/Mg, lo que conduce a un aumento en la longitud de los bulbos.

Lobato y Vega (2023) lograron obtener bulbos de 4.52 cm de diámetro al introducir microorganismos eficientes en el suelo. En contraste, los resultados presentados por Márquez (2022) indican que se obtuvieron diámetros de 2.83 cm al aplicar combinaciones de *Rhizobium*. Por otra parte, Cabrera (2023) indica que la utilización de microorganismos eficientes en el cultivo del rábano, se evidencia que, la presencia de estos microorganismos en el suelo establece una relación simbiótica que favorece al rábano desde las primeras etapas de su desarrollo fenológico.

Figura 14

Test de Tukey diámetro de bulbo (cm)



Rendimiento (Kg/ha⁻¹)

El análisis descriptivo muestra que el tratamiento T3 (*Bacillus* + *Trichoderma*) es el más efectivo, con el mayor rendimiento promedio. Además, el tratamiento T2 (*Trichoderma*) también mejora el rendimiento en comparación con el *Bacillus*. Sin embargo, el tratamiento T4 (Testigo Absoluto) tiene el menor rendimiento promedio. El error estándar y la desviación estándar, ambos con valores bajos, indican una baja variabilidad en los datos, lo que significa que los valores no se alejan significativamente de la media. En consecuencia, el conjunto de datos y los registros resultantes son confiables, ya que el coeficiente de variación para condiciones no controladas es de 20.74%.

Tabla 44

Análisis descriptivo número de rendimiento (Kg/ha⁻¹)

Tratamientos	Medias	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
T1: <i>Bacillus</i>	0.42			
T2: <i>Trichoderma</i>	0.63			
T3: <i>Bacillus</i> + <i>Trichoderma</i>	0.86	0.05	0.10	20.74
T4: Testigo Absoluto	0.30			

La Tabla 45, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variable rendimiento (Kg) ya que el valor-p es menor a 0.05, lo que demuestra que las plantas de rábano muestran un mayor rendimiento con la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* spp.

Tabla 45.

Análisis de varianza de rendimiento (Kg/ha⁻¹)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F₀	Valor-p	Significancia
Tratamientos	3	0.9233	0.308	23.6	4.07 x 10 ⁻⁶	***
Error	16	0.2068	0.013			
Total	19	1.1301				

El modelo de regresión lineal para el rendimiento (Kg/ha⁻¹) muestra que el tratamiento con *Bacillus* + *Trichoderma* tiene un efecto significativo, aumentando el rendimiento en promedio 0.44600, con un valor p de 0,0000136, lo que indica alta significancia. En contraste, el Testigo Absoluto disminuye significativamente el rendimiento, no tiene un efecto significativo en el rendimiento. El coeficiente de determinación del modelo es 0.81, lo que indica que el 81% de la variabilidad en el rendimiento es explicada por los tratamientos evaluados.

Tabla 46.*Modelo de regresión lineal del rendimiento Kg/ha⁻¹*

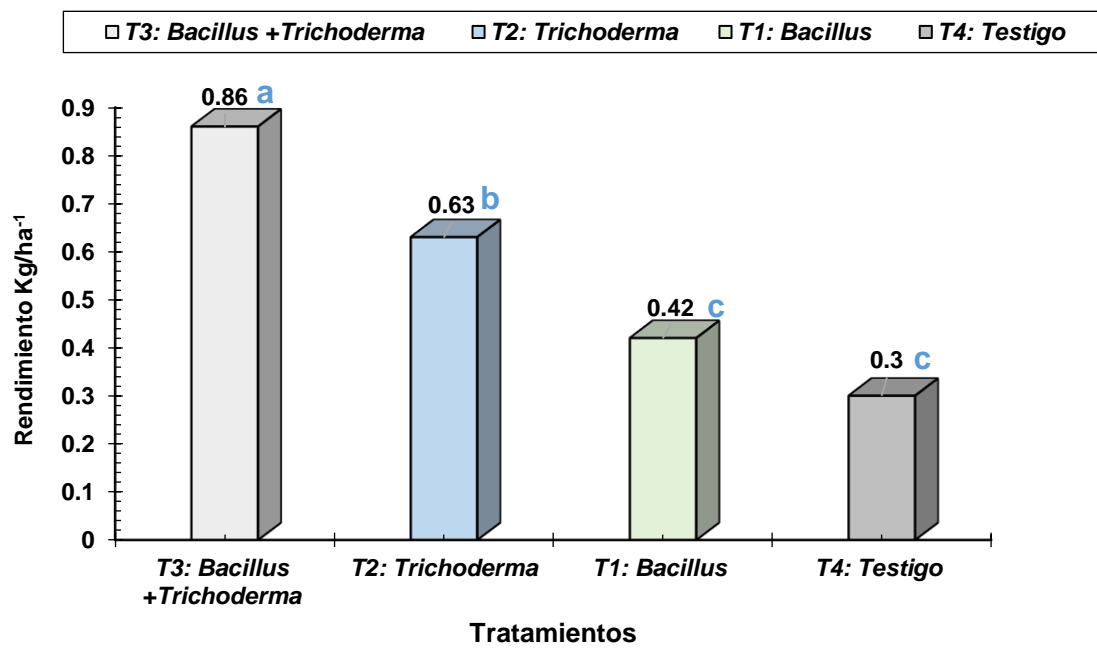
	Estimación	Error Estándar	t-valor	p-valor	Significación	R ²
(Intercept)	0.41600	0.0511	8.133	4.47 x10 ⁻⁷	***	
T2: <i>Trichoderma</i>	0.21400	0.0723	2.959	0.00924	**	
T3: <i>Bacillus+Trichoderma</i>	0.44600	0.0723	6.166	1.36 x10 ⁻⁵	***	0.81
T4: Testigo Absoluto	-0.11800	0.07233	-1.631	0.12234		

Para la variable rendimiento del fruto los mejores valores medios tuvieron diferente categoría estadística, sin embargo, la combinación *Bacillus + Trichoderma* presentó el mayor rendimiento, 0.86 Kg/ ha⁻¹ (Figura. 15). Estos resultados se asemejan a los reportados por González *et al.* (2019), quienes obtuvieron rendimientos del fruto de 1.16 kg, al utilizar microorganismos eficientes (EM). Los rendimientos del fruto también son similares a los reportados por Cabrera (2023), quien obtuvo rendimientos de 0.89, 0.60 y 0.66 Kg durante la primera, segunda y tercera siembra, respectivamente, al utilizar una dosis de microorganismos eficientes como inoculantes del rábano.

Santana y Vera (2023) llevaron a cabo una evaluación del efecto de *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp. en el rendimiento productivo del cultivo de frijol caupí, observando un incremento del 29.15% en la producción. Así mismo se asemeja significativamente al aumento del 29.50% reportado por Chávez y Vásquez (2021) al aplicar *Bacillus subtilis*. Además, Rodríguez *et al.* (2020) sostienen que, en el caso del rábano, el empleo de los microorganismos eficientes restaura la población microbiana del suelo.

Figura 15.

Test de Tukey rendimiento (Kg/ha^{-1})



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los resultados indican que las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* exhiben variaciones significativas en su capacidad para solubilizar fosfatos y formar halos de sideróforos. Estas diferencias pueden atribuirse a la diversidad genética y metabólica entre las cepas. La habilidad de solubilizar sideróforos sugiere un potencial para la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de las plantas.
- La inoculación de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* ejercen un impacto favorable en la promoción del crecimiento de las plantas de rábano. La evidencia indica que la inoculación con estas cepas constituye una táctica eficaz para potenciar la producción de rábano.

Recomendaciones

- Caracterizar cuantitativamente mediante métodos espectrofotómetros la solubilización de fosfato, y la producción de sideróforos de las cepas de *Bacillus* y *Trichoderma*
- Investigar los mecanismos específicos a través de los cuales estas cepas promotoras del crecimiento afectan el desarrollo de las plantas de rábano.
- Determinar las dosis óptimas de las cepas de microorganismos para obtener los mejores resultados en términos de crecimiento y rendimiento del cultivo.
- Realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos continuos de la inoculación con *Bacillus* y *Trichoderma* en múltiples ciclos de cultivo de rábano.

REFERENCIAS

- Aeron, A., Khare, E., Jha, C. K., Meena, V. S., Aziz, S. M. A., Islam, M. T., Kim, K., Meena, S. K., Pattanayak, A., Rajashekara, H., Dubey, R. C., Maurya, B. R., Maheshwari, D. K., Saraf, M., Choudhary, M., Verma, R., Meena, H. N., Subbanna, A. R. N. S., Parihar, M., ... Meena, R. K. (2020). Revisiting the plant growth-promoting rhizobacteria: Lessons from the past and objectives for the future. *Archives of Microbiology*, 202(4), 665-676. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01779-w>
- Anguiano, C., Flores, A., Olalde, V., Arredondo, R., Laredo, E. I. (2019). Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista Bio Ciencias* 6, e418. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e418>
- Aguado, G., Moreno, B., Jiménez, B., García, E., y Preciado, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidóforos en la asimilación de hierro por las plantas: Una síntesis. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 9-21.
- Agudelo, G., Aignerren, M., y Ruiz, J. (2008). *Diseños de investigación experimental y no experimental*. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/2622/1/AgudeloGabriel_2008_DisenosInvestigacionExperimental.pdf
- Correa, C., Iral, R. y Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 29, (1), pp. 57-76.
- Aguilar, X., Guerrero, V. y Morales, A. (2019). Estudio comparativo del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo condiciones de invernadero con aplicación de hidroponía, vermicomposta y *Azotobacter* sp. *Tendencias en Docencia e Investigación en Química*. 642. <http://zaloamati.azc.uam.mx//handle/11191/7890>
- Álvarez, R. y Urroz, N. (2019). Evaluación de las propiedades fertilizadoras de un consorcio microbiano en cultivos hortícolas de ciclo corto, en condiciones de invernadero. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNI3456>

- Alam, S., Khalil, S., Ayub, N., y Rashid, M. (2002). In vitro solubilization of inorganic phosphate by Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(4), 454-458. <https://www.researchgate.net/publication/233815274>
- Amado, R., Humeje-Pan, N. P., Blanco, J. O., Torres, N. Y., y García, M. A. (2022). Effect of plant growth promoting bacteria on the phenology of the Amarilla marangani quinoa cultivar. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i1.13440>
- Antepara, J. (2022). Evaluación de micorriza en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) En el Cantón Samborondón, Provincia del Guayas. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bb02bdf7-05dd-463d-a0679c480b8fe838/content>
- Ayala, H., y Romero, H. (2013). *Hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz utilizando Trichoderma reesei*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11191>
- Ayala, N., y Valdiviezo, S. (2021). Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes como complemento a la fertilización orgánica en el cultivo de café (*Coffea arabica*). [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi], <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8569>
- Arrera, J. Cayón, G. y Robles, J. (2009). Influencia de la exposición de las hojas y el epicarpio de frutos sobre el desarrollo y la calidad del racimo de plátano 'Har tón' (*Musa* AAB Simmonds). *Agronomía Colombiana*. Vol. 27; No. 1: 73-79.
- Barrera, J. L., Combatt, E. M., y Ramírez, Y. L. (2011). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (*Musa* AAB). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i2.1267>
- Batista, B., Bonatelli, M., y Quecine, M. (2021). *The microbiome: Methods and protocols*. *Methods Mol.* 2232, 61-75. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1040-4>
- Benjumeda, D. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones* [Tesis de grado, Sevilla].

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%C3%91OZ%2C%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bergel, S. D. (2020). Desarrollo sustentable y medio ambiente: La perspectiva latinoamericana. *Alegatos*, 1(24), Article 24.
- Bononi, L., Chiaramonte, J. B., Pansa, C. C., Moitinho, M. A., y Melo, I. S. (2020a). *Trichoderma* spp., solubilizante de fósforo. Procedentes de suelos amazónicos mejoran el crecimiento de las plantas de soja. *Scientific Reports*, 10, 2858. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>
- Bolívar, J., Contreras, M. L., y Teherán, L. G. (2016). Burkholderia tropica una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 19(2), 102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.recqb.2016.06.003>
- Bravo, M. C. (2020). Evaluación de bioestimulantes como sustitutos parciales de fertilización nitrogenada en producción ecológica de maíz (*Zea mayz* L.). <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2557>
- Brusamarello, L. C., Gilard, F., Brulé, L., Quilleré, I., Gourion, B., Ratet, P., Souza, E. M. de, Lea, P. J., y Hirel, B. (2017). Metabolic profiling of two maize (*Zea mays* L.) inbred lines inoculated with the nitrogen fixing plant-interacting bacteria *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense*. *PLOS ONE*, 12(3), e0174576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174576>
- Cabrera, M. (2023). “Dosis de microorganismos eficientes (EM) en producción de rábano (*Raphanus sativus* L.), en época lluviosa en la parroquia Guasaganda”. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://localhost/handle/27000/11466>
- Cai, F., Yu, G.-H., Wang, P., Wei, Z., Fu, L., Shen, Q., y Chen, W. (2013). Harzianolide, a novel plant growth regulator and systemic resistance elicitor from *Trichoderma harzianum*. *Plant physiology and biochemistry: PPB / Societe francaise de physiologie vegetale*, 73C, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.08.011>
- Carbajal, S. (2017). Identificación de hongos endófitos y su uso en la bioprotección de plántulas de café para reducir el daño de *Colletotrichum*

coffeanum en San Martín. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto].

Cando, C. C. (2016). *Evaluación de cuatro variedades de rábano *Raphanus sativus* L. cultivados en cuatro fases lunares*. [Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11544>

Chávez, I. F., Zelaya, L. X., Cruz, C. I., Rojas, E., Ruíz, S., Santos, S., Chávez, I. F., Zelaya, L. X., Cruz, C. I., Rojas, E., Ruíz, S., y Santos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>

Chávez, M. y Vásquez, J. (2021). Efecto de la aplicación de tres dosis de *Bacillus subtilis* en tres variedades de frijol arbustivo. *Siembra*, 8(2).
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/246/2462183002/2462183002.pdf>

Chiriboga, H., Gómez B, G., Garcés E, K., Agrícolas, P. I. C. y S. de C., Familiar, P. I. P. y S. de la A., Tecnología (ETIT), E. T. I. y Programa de Sanidad Agropecuaria, I. y C. de los A. (PSAICA). (2015). *Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo *Trichoderma* spp. Para el control biológico de enfermedades*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2647>

Chowdappa, S., Jagannath, S., Konappa, N., Udayashankar, A. C., y Jogaiah, S. (2020). Detection and characterization of antibacterial siderophores secreted by endophytic fungi of *Cymbidium aloifolium*. *Biomolecules*, 10(10), 1412. <https://doi:10.3390/biom10101412>.

Cisneros, C. A., Sánchez, M., y Menjivar, J. C. (2016). Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 149.
<https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>

Constitución de la República del Ecuador. (2021, enero 25). *Derechos a los ciudadanos. Última modificación*. <https://www.defensa.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Corrales, L., Sanchez, L., Arévalo, Z. y Moreno, V. (2014). *Bacillus*: a genus of bacteria that exhibits important phosphate solubilizing abilities. *NOVA*. 2014; 12 (21): 165–178. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n22/v12n22a06.pdf>

Corrales, L. C., Caycedo, L., Gómez, M. A., Ramos, S. J., Rodríguez, J. N., (2017). *Bacillus* spp: Una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 46-65.

Dagnino, J. (2014). *Analisis de varianza*. 43, 306-310.

D'Angioli, A., Gorne, R., Lambers, C., Sawaya, H., y Oliveir, R. (2017). *Inoculation with Azospirillum brasilense (Ab-V4, Ab-V5) increases Zea mays root carboxylate-exudation rates, dependent on soil phosphorus supply*. 410, 499-507. *Plant and Soil*.

Divyanshu, K., Yadav, M., Shukla, V., Kumar, S., Tripathi, Y, Upadhyay, R. (2022). Molecular identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum vulgare L.*). *J Pure Appl Microbiol*. 2022;16(2):974-989. doi: 10.22207/JPAM.16.2.21.

Díaz, M. L., y Céspedes, J. (2021). *Hongos con actividad ACC desaminasa asociados a la rizósfera de Prosopis limensis Benth. Y su potencial como promotores de crecimiento vegetal*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9493>

Djuuna, I., Prabawardani, S., y Massora, M. (2022). Population Distribution of Phosphate-solubilizing Microorganisms in Agricultural Soil. *Microbes and Environments*, 37, n/a. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME21041>

Donoso, E., Lobos, G., Rojas, N. (2008). Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque*, 29 (81):52-57.

Enríquez, A. C. (2014). *Estudio de prefactibilidad de la producción de semillas de seis especies de hortalizas en condiciones de microtúneles*. [Tesis de

grado Universidad Central del Ecuador]

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2468>

Erazo, H. (2019). *Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/>

Estrada, G., Baldani, V., Oliveira, D., Urquiaga, S., y Baldani, J. (2013). Selection of phosphate-solubilizing diazotrophic *Herbaspirillum* and Burkholderia strains and their effect on rice crop yield and nutrient uptake. *Plant and Soil*, 369. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1550-7>

Fernández, C. D. (2013). Comportamiento agronómico de tres variedades de rábano (*Rhapanus sativus*), con diferentes densidades de siembra aplicando abono orgánico líquido. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/f6c8d969-8469-4963-b749-6f4406026386>

FAO, FIDA, OPS, PMA, y UNICEF. (2023). *Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional - América Latina y el Caribe 2022: Hacia una mejor asequibilidad de las dietas saludables*. FAO, IFAD, PAHO, WFP, UNICEF. <https://doi.org/10.4060/cc3859es>

FAO, IFAD, PAHO, UNICEF and WFP. (2023). Regional Overview of Food Security and Nutrition – Latin America and the Caribbean 2022: towards improving affordability of healthy diets. Santiago. <https://doi.org/10.4060/cc3859en>

FAO. (2023). FAOSTAT: Suite of Food Security Indicators. In: FAO. Rome. [Cited July 2024]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>.

Fontalvo, J. (2021). Cultivo de rábano. *Raphanus sativus*. <https://www.uv.mx/hab/files/2021/10/Cultivo-de-Rabano.pdf>

Franco, S. Á., Tobar, D. S., Gosteva, T. P., y Ramírez, S. M. R. (2021). Influencia del campo magnético en el suelo y en los cultivos de Rábano (*Raphanus sativus*). *UGCiencia*, 27(1), Article 1. <https://doi.org/10.18634/ugcj.27v.1i.1128>

- Flores, M. (19 de enero de 2014). *Raphanus sativus* (Rábano), Forrajicultura. Obtenido de UTA, Carrera de Medicina Veterinaria <https://es.slideshare.net/majofsdcr/raphanus-sativus-rbano>
- García, A. M., Aviles, M., y Delgado, A. (2015). Plant uptake of phosphorus from sparingly available P- sources as affected by *Trichoderma asperellum* T34. *Agricultural and Food Science*, 24(3), Article 3. <https://doi.org/10.23986/afsci.49532>
- García, J. G., Mendoza, A., y Mayek, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y ciencia*, 28(1), 79-84.
- Ghosh, S., Banerjee, S., y Sengupta, C. (2021). Bioensayo, caracterización y estimación de sideróforos a partir de algunos hongos antagonísticos importantes. *Revista de bioplaguicidas* .
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*, 169(1), 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>
- González, R. L., Ramos, J. P., Hernández, Y. P., Espinosa, I. P., Jiménez, S. L. R., y Alonso, D. P. (2019). Improvement of the agricultural productivity of lettuce and radish by using efficient microorganisms. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), Article 3. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.76967>
- González, C. G., y Felpeto, A. B. (2006). *Tratamiento de datos*. Ediciones Díaz de Santos.
- González, R. L., Ramos, J. P., Hernández, Y. P., Espinosa, I. P., Jiménez, S. L. R., y Alonso, D. P. (2019). Improvement of the agricultural productivity of lettuce and radish by using efficient microorganisms. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8937-8943.
- Goulding, K. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
- Gutierrez, H., y Vara, S. (2014). *Análisis y diseños de experimentos*. https://www.academia.edu/32094439/An%C3%A1lisis_y_dise%C3%B1os_de_experimentos_3ra_edici%C3%B3n_Gutierrez_Pulido_pdf

- Guamán, M. (2024). Aplicación de tres microorganismos eficientes en dos variedades de rábano durante la época lluviosa. Universidad de Cotopaxi. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi] <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11693>
- Guzmán, P., Porras, D., Olmedo, V. y Herrera, A. (2019). *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109, 6–16. <http://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* 5ta edición. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Hernández, F., Lira R., Gallegos G., Hernandez M., y Solis S. (2014). Biocontrol de la marchitez del chile con tres especies de *Bacillus* y su efecto en el crecimiento y rendimiento. *Phyton* (B. Aires) vol.83 no.1.
- Hernández, I., Nápoles, M. C., y Morales, B. (2015). Caracterización de aislados de rizobios provenientes de nódulos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) con potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 65-72.
- Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., y Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean journal of agricultural and animal sciences*, 35(1), 98-112. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
- Hoyos, L., Orduz, S., y Bissett, J. (2009). Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological Control*, 51(3), 409–416. 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964409001960>
- Hurtado, A. C., Diaz, Y. P., Calzada, K. P., Rodriguez, E. Q., y Viciado, D. O. (2019). Efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 36(1), Article 1.

- Infoagro. (2009). *Agricultura. El cultivo del rábano*.
<https://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
- Infoagro. (2013). *El cultivo de rábano*.
<https://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
- Jafar, M., y Behzad, A. (2016). Effect of Chemical Fertilizers on Soil Compaction and Degradation. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 47(1), 44-50.
- Jha, Dr. C., y Saraf, M. (2015). *Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): A review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5171.2164>
- Kinany, S. E., Achbani, E. H., Symanczik, S., Ou-Zine, M., Oufli, M., Haggoud, A., y Bouamri, R. (2021). Characterization of plant growth-promoting mechanisms of rhizobacteria from the rhizosphere of date palms in tafilalet oases. *Journal of Global Agriculture and Ecology*, 1-18.
- Lara, C., Sanes, S. C., y Oviedo, L. E. (2013). Impacto de bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en el crecimiento y desarrollo de plantas de rábano (*Raphanus sativus L.*). *Biotecnología Aplicada*, 30(4), 271-275.
- Lavenus, J., Goh, T., Roberts, I., Guyomarc'h, S., Lucas, M., De Smet, I., Fukaki, H., Beeckman, T., Bennett, M., y Laplaze, L. (2013). Lateral root development in Arabidopsis: Fifty shades of auxin. *Trends in Plant Science*, 18(8), 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.006>
- León, J., Panamá, W., Langarica, E., y García, S. (2019). *Selenium and vanadium on seed germination and seedling growth in pepper (Capsicum annuum L.) and radish (Raphanus sativus L.)*. 6. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e425>
- Ley Orgánica De Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento De Agricultura. (2017, junio 10). *Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable. | Ecuador—Guía Oficial de Trámites y Servicios*. <https://www.gob.ec/regulaciones/ley-organica-agrobiodiversidad-semillas-fomento-agricultura-sustentable>
- Loredo, C., López, L., y Espinosa, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225-239.
- Lobato, G., y Vega, J. (2023). Producción del cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*) con diferentes dosis de biostimulantes en el cantón La Maná.

[Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10081/1/UTC-PIM000610.pdf>

Luna, J., y Zapana, J. (2020). Efecto de la micorriza (*Glomus Intrarradices*), en el rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en el Altiplano de Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*.
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.535>

Mahmoodian, S., Kowsari, M., Motallebi, M., Zamani, M., y Jahromi, Z. M. (2022). Effect of Improved *Trichoderma harzianum* on Growth and Resistance Promotion in Bean Plant. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, 22210671. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210671>

Marimuthu, A., Ramasamy, A., Manonmani, K., Theradimani, M., y Sampathrajan, V. (2021). Phytostimulation and growth promotion activities of *Trichoderma* spp. On groundnut (*Arachis hypogaea* L.) crop. *Journal of Applied and Natural Science*, 13. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i4.2936>

Martinez, A. del P. C., Sanchez, R. L. A., Velasco, S. M., y Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), Article 1.

Márquez, A. (2022). Respuesta agronómica del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) a la aplicación de productos orgánicos y biológicos en el cantón Pasaje, provincia de El Oro. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]
<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7c51289f-74e445fa-bbab-fece4798cc05/content>

Martin, J. S., Gómez Luna, B. E., y Veloz García, R. A. (2018). Efecto promotor del crecimiento del desarrollo vegetal de bacterias de suelo del área natural protegida Cerro del Culiacán, Guanajuato. *Jóvenes en la ciencia*, 4(1), 895–899. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2590>

Meena, R, S Kumar, R Datta, R Lal, V Vijayakumar, M Brtnicky, MP Sharma, GS Yadav, MK Jhariya, CK Jangir, SI Pathan, T Dokulilova (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land* 9:34

- Molina, M. y Rodrigo, F. (2010). Estadística descriptiva en Psicología Curso 2009-2010. http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/pruebas-1/Course_listing
- Moscoso, M. V. (2017). *Tecnología de IV Gamma para optimizar la calidad microbiológica del rábano (Raphanus sativus L) cultivado en la parroquia de Panzaleo* [Tesis de grado, Institucional Uniandes]. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/6013>
- Mosquera, J. J. (2018). *Valoración de la aplicación de inóculos de microorganismos benéficos (MOBs) en el cultivo de rábano (Raphanus sativus) en la granja experimental- Paute*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16423>
- Motamedi, H., Aalivand, S., Najafzadeh-Varzi, H., y Mohammadi, M. (2016). Screening cabbage rhizosphere as a habitat for isolation of phosphate-solubilizing bacteria. *Environmental and Experimental Biology*, 14, 173-181. <http://doi.org/10.22364/eeb.14.24>
- Murillo, J. (2018). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- Nasevilla, J. (2010). *Estudio de las características físico—Químicas y nutricionales de dos ecotipos de rábano (Raphanus sativus L.)* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad]. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4867>
- Niklitschek, M. (2008). *Evaluación del rendimiento del trigo (Triticum aestivum), inoculado con bacterias solubilizadoras de fósforo y una cepa fijadora de nitrógeno, aisladas de la rizósfera de especies arbustivas* [Austral Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fan692e/doc/fan692e.pdf>
- Noumavo, P., Agbodjato, N., Baba, F., Adjanohoun, A., y Baba, L. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *Biotechnol*, 15(27), 1452-1463. <https://doi.org/10.5897/ajb2016.15397>.

- Novales, A. (2010). Análisis de regresión. Universidad Complutense de Madrid. [https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis de Regresion.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf)
- Nuha, A., Al-Zehebawi, S., Al-Waily, A., Al-Saad. (2019). La aplicación de estiércol (residuos de aves de corral) y bio-formulaciones de *Trichoderma harzianum* y *T. viride* y su interacción para controlar la enfermedad del nudo de la raíz en rábano y acelga. Basrah Journal of Agricultural Sciences. <https://bjas.bajas.edu.iq/index.php/bjas/article/view/63>
- Ñacato, C. A., y Valencia, M. F. (2016). Aislamiento, identificación y pruebas in vitro de cepas autóctonas de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol de *Alternaria* spp en Brassica oleracea var. italica. [Tesis de grado, Universidad Salesiana Ecuador]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12144>
- O'Connor, J. L. (2019). Descifrando el contenido microbiano de bioinsumos comerciales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante [Masters, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/12693/>
- Oberson, A., Frossard, E., Bühlmann, C., Mayer, J., Mäder, P. y Lüscher, A. (2013). Stickstofffixierung und -transfer in Grasklee-Grünland unter ökologischen und konventionellen Anbausystemen. Plant and Soil. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1666-4>
- Oliveira, F. R. A. de, Oliveira, F. de A. de, Medeiros, J. F. de, Sousa, V. de F. L. y Freire, A. G. (2010). Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. Revista Ciência Agronômica, 41, 519-526. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000400003>
- Olowe, O. M., Nicola, L., Asemoloye, M. D., Akanmu, A. O., Sobowale, A. A., & Babalola, O. O. (2022). Characterization and antagonistic potentials of selected rhizosphere *Trichoderma* species against some *Fusarium* species. Frontiers in Microbiology, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.985874>
- Otieno, N., Lally, R., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K., y Dowling, D. (2015). Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. Frontiers in Microbiology, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.00745>

- Ortuño, N., Miranda, C. y Claros, M. (2013). Selecting strains of *Trichoderma* spp. generating secondary metabolites of interest for use as a growth promoter in plants grown J. Selva Andina Biosph. vol.1, n.1. pp.16-32. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592013000100003
- Orbe, J. (2017). Evaluación de la eficiencia de Microorganismos de Montaña (MM) en la Finca Agroecológica Zamorano. [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano] [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06cae7cc-8b7e-4cc3-ae1b-d35b15e964a4/content](https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06cae7cc-8b7e-4cc3-ae1b-d35b15e964a4/content)
- Padilla, C.-A., Marroquín, C., Padilla, C.-A., y Marroquín, C. (2021). Enfoques de Investigación en Odontología: Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. Revista Estomatológica Herediana, 31(4), 338-340. <https://doi.org/10.20453/reh.v31i4.4104>
- Parray, A., Jan, S., Kamili, A., Qadri, A., Egamberdieva, D., y Ahmad, P. (2016). Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria. J. Plant Growth Reg. Plant Growth, 35(3), 877-902. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9583-4>.
- Pérez, A., Tille, S., Johnson, I., Pascual, D., Ton, J., y Cameron, D. (2017). The interactive effects of arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting rhizobacteria synergistically enhance host plant defences against pathogen. Scientific Reports, 7, 16409. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16697-4>
- Plan Nacional de Desarrollo Vigente en el Ecuador. (2021, 2025). Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Portugal, J. R., Arf, O., Peres, A. R., Gitti, D. de C., Rodrigues, R. A. F., Garcia, N. F. S., y GarÃ©, L. M. (2016). *Azospirillum brasilense* promotes

- increment in corn production. *African Journal of Agricultural Research*, 11(19), 1688-1698. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10723>
- Prakash, M., Sharma, N., y Tiwari, R. (2013). Effect of different cultural variables on siderophores produced by *Trichoderma* spp. 1(8), 1-6.
- Prasad, V., Bheemanahalli, R. y Jagadish, S. (2017). Field crops and the fear of heat stress—Opportunities, challenges and future directions. *Field Crops Research*, 200, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.024>
- Ramirez, R. y Pérez, M. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). 59(2), 3543-3556. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914075010>
- Rashid, M., Khall, S., Ayub, N., Alam, S. y Latif, F. (2004). Organic Acids Production and Phosphate Solubilization by phosphate solubilizing microorganisms under in vitro conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 7(2) 187-196.
- Reinoso, R. (2021). Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas del rábano (*Raphanus sativus*) en cultivos hidropónicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa*. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/15316>
- Reyes, F., Quiroz, D., Sáenz, J., Sánchez, A., y Reyes, J. (2022). Efectos del pretratamiento con *Trichoderma* y *Bacillus* en la germinación de semillas de *Agave victoriae-reginae* T. Moore. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13, 56-72. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.844>
- Rodriguez, R. (2020). Control de peca negra (*Streptomyces* spp.) en raíz del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.). [Tesis de Maestría, Universidad Estatal De Sonora]
- Rodríguez, L., Guevara, F., Arias, M., Reyes, L., Campos, R., y Salas, M. (2020). Leaf growth and biomass accumulation in radish (*Raphanus sativus* L.) inoculated with rhizosphere microorganisms. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 52, 78-83. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185386652020000200008

- Romo, M. (2005). Efecto de la luz en el crecimiento de plantulas de *Dipteryx micrantha* Harms «Shihuahuaco» transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 1-8.
- Sabando, G., Zambrano, A. (2022). Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp COMO bioestimulante en el crecimiento y rendimiento del cultivo de pimiento. [Ingeniería Agrícola]. ESPAM MFL. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1972/1/TIC_A28D.pdf
- Saha, R., Saha, N., Donofrio, R. S., y Bestervelt, L. L. (2013). Microbial siderophores: A mini review. *Journal of Basic Microbiology*, 53(4), 303-317. <https://doi.org/10.1002/jobm.201100552>
- Salazar, J., Vélez, I., y Schmidt, W. (2016). The regulation and plasticity of root hair patterning and morphogenesis. *Development*, 143, 1848-1858. <https://doi.org/10.1242/dev.132845>
- Sánchez, D. B., Gómez, R. M., Garrido, M. F., y Bonilla, R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(7), 1401-1415.
- Sánchez, F., González, L., Moreno, C., Pineda, J., Reyes, C. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex.*, 37 (3): 261-269
- Santi, C., Boquez, D., y Franche, C. (2013). Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Ann. Bot.*, 111, 743-767.
- Santana, B., y Vera, V. (2023.). Efecto De *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. en el rendimiento productivo del cultivo de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, "Manuel Félix López"].
- Saad, H. (2017). Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. *Journal of Advanced Research*. 8, (6). <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001>.
- Sabando, G. y Zambrano, A. (2022). Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp como bioestimulante en el crecimiento y rendimiento del cultivo de pimiento. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de

Manabí "Manuel Félix López"].
https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1972/1/TIC_A28D.pdf

- Secretaría General de la Comunidad Andina. (2011). Portal de Desarrollo Humano Local Sostenible. <https://dhls.hegoa.ehu.es/documents/5260>
- Shu, K., Liu, X., Xie, Q., y He, Z. (2016). Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
- Silveira, M. I., Aldana, M. L., Piri, J., Valenzuela, A. I., Jasa, G., y Rodríguez, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de sonora, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), Article 1. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.01>
- Simbaña Cuti, E. A. (2015). Estudio del rendimiento de cuatro hortalizas producidas a partir de semillas de producción artesanal VS. Semillas importadas, en las localidades de Tumbaco-Pichincha y José Guango bajo-Cotopaxi, 2013. [bachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7777>
- Singh, T. B., Sahai, V., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., y Dantu, P. K. (2020). Screening and evaluation of PGPR strains having multiple PGP traits from hilly terrain. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 8(4), 38-44. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80406>
- Sotelo, L. I., Jiménez, J. A., Zan, A. T. D., & Cueto, M. C. (2012). Efecto de inoculación de microorganismos en crecimiento de rábano (*Raphanus sativus*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), Article 1.
- Souza, R. de, Ambrosini, A., y Passaglia, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), 401-419. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>
- Soza, H. (2018). Validación de dos dosis de micorrizas en el desarrollo de las plantas en vivero de café (*Coffea arabica* L). Matagalpa: Retrieved from <https://repositorio.unan.edu.ni/10158/1/6939.pdf>

- Stewart, A., y Hill, R. (2014). Applications of Trichoderma in Plant Growth Promotion. En *Biotechnology and Biology of Trichoderma* (pp. 415-428). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00031-X>
- Suárez, Z., Mellado, J., Coutinho, B (2012). Common Features of Environmental Potentially Beneficial Plant-Associated Burkholderia. *Ecologia Microbiana* . 63: 249-266. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-011-9929-1>
- Tariq, M., Shaheen, S., Fatima, A., Shafiq, M., Safdar, W., Sheas, M., Hameed, A., y Nasir, M. (2022). Phosphatlösliche Mikroorganismen, die aus Heilpflanzen isoliert wurden, verbessern das Wachstum von Minze. *PeerJ* 10:e13782. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7717/peerj.13782>
- Tao, J., Chen, H., Zhang, W., Chen, S., & Zhang, J. (2015). Die Rolle von Ethylen in Pflanzen unter Salzstress. *Front. Plant Sci*, 27(6), S. 1059. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01059>
- Tejera, B., Rojas, M. M., y Heydrich, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 42(3), Article 3.
- Toribio, J., Martínez, B., Vejar, V. A., Bello, J., Palemón, F., Romero, Y. y Orbe, D. (2020). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de *Lactuca sativa* L. en campo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2), 449-452.
- Torrez, M. S. (2011). Evaluación del cultivo de rabano (*Raphanus sativus* L) variedad Crimson giant utilizando sustratos mejorados y determinación de los coeficientes «Kc» y «Ky», bajo riego. Finca Las Mercedes, Managua, 2009 [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria, UNA]. <https://repositorio.una.edu.ni/2150/>
- Uribe, G., y Dzib, R. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum* brasilense y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura técnica en México*, 32(1), 67-76.
- Vargas, P. y Castro, L. (2019). Isolation and evaluation of phosphorus solubilizing microorganisms from Andisol soils in Costa Rica. *Agron. Costarricense* vol.43 n.1.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037794242019000100047#f2

- Velecela, S., Meza, V., García, S., Alegre, J., y Salas, C. (2019). Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 229-239. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08>
- Vincent, C. D. (2013). Comportamiento agronómico de tres variedades de rábano (*Rhapanus sativus*), con diferentes densidades de siembra aplicando abono orgánico líquido. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/554>
- Waghunde, R. R., Shelake, R. M., y Sabalpara, A. N. (2016). Trichoderma: A significant fungus for agriculture and environment. *African Journal of Agricultural Research*, 11(22), 1952-1965. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10584>
- Wang, F., Cui, X., Sun, Y., & Dong, C.-H. (2013). Ethylen-Signalgebung und -Regulierung im Pflanzenwachstum und in Stressreaktionen. *Plant Cell Reports*, 32(7), S. 1099-1109. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1421-6>
- Wang, X., Wang, C., Sui, J., Liu, Z., Li, Q., Ji, C., Song, X., Hu, Y., Wang, C., Sa, R., Zhang, J., Du, J., & Liu, X. (2018). Isolierung und Charakterisierung von Phosphofungi und Screening ihrer pflanzenwachstumsfördernden Aktivitäten. *AMB Express*, 8(1), S. 63. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0593-4>
- Wong, W., Tan, N., Ge, L., Chen, X., & Yong, J. (2015). Die Bedeutung von Phytohormonen und Mikroben in Bio-Düngemitteln. In D. K. Maheshwari. Springer International, S. 105-158
- Wumei, W., Changhao, L., Zhang, Z., y Xiaochen, L. (2023). Biochar kombiniert mit *Bacillus subtilis* SL-44 als umweltfreundliche Strategie zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Reduzierung von Fusarium-Welke und Förderung des Radieschenwachstums. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 251. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114509>

- Yáñez, V. del R. (2012). Potencial de la cepa CPA-8 de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol de enfermedades de postcosecha de fruta [Tesis de grado, Universitat de Lleida]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/80456>
- Zambrano, D. (2011). Aislamiento y selección de cepas de microorganismos autóctonos degradadores de materia orgánica fibrosa. ESPAM-MFL 2011. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Manabí "Manuel Félix López"]. <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/30>
- Zhang, L., Yan, Q., Zhang, J., y Ruiz, J. (2018). El impacto de los insumos químicos agrícolas en el medio ambiente: evidencia global a partir del análisis y visualización de informetría. 13(1), 338-352
- Zin, N., y Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. For agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>
- Zhou, S., Zhang, X., Liao, X., Wu, Y., Mi, J. y Wang, Y. (2019). Effect of Different Proportions of Three Microbial Agents on Ammonia Mitigation during the Composting of Layer Manure. *Molecules*, 24, 2513; <https://doi.org/10.3390/molecules24132513>.
- Zulueta, R., Gómez, F. C., Alemán, I., Núñez, M. del C., y Lara, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado o Acta del Perfil de Investigación

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o
Investigación.

Autoras: Diana Mercedes Andrade Loor

Fecha de recepción del abstract: 25 de septiembre de 2024

Fecha de entrega del informe: 30 de septiembre de 2024

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

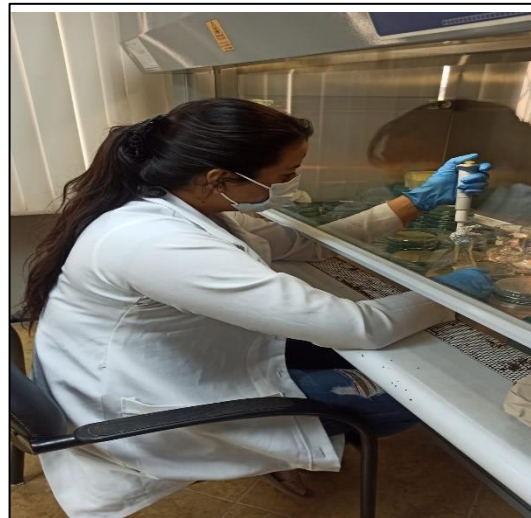
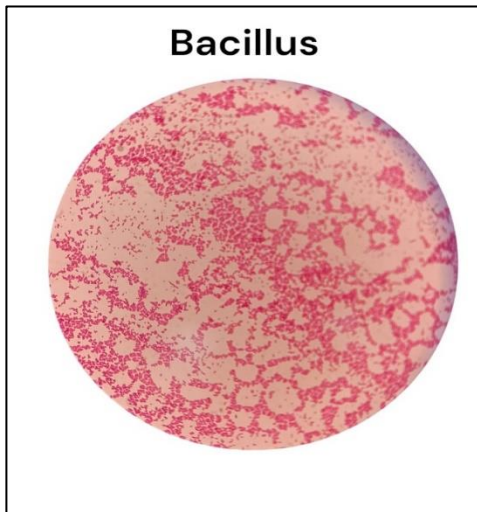
Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9,5; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Docente responsable del
CIDEN

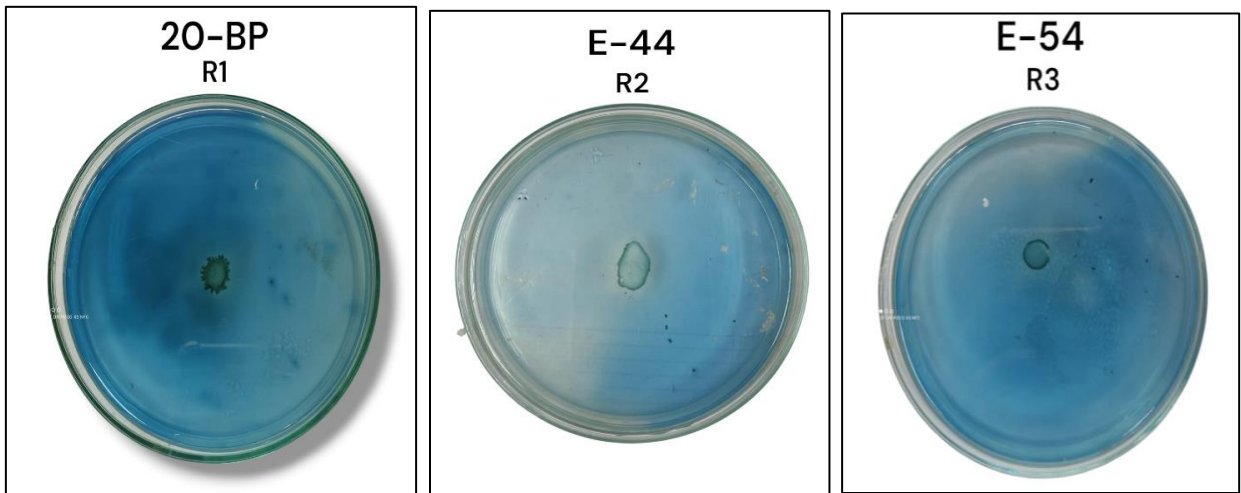
Anexo 3. Activación y multiplicación de cepas de *Bacillus*



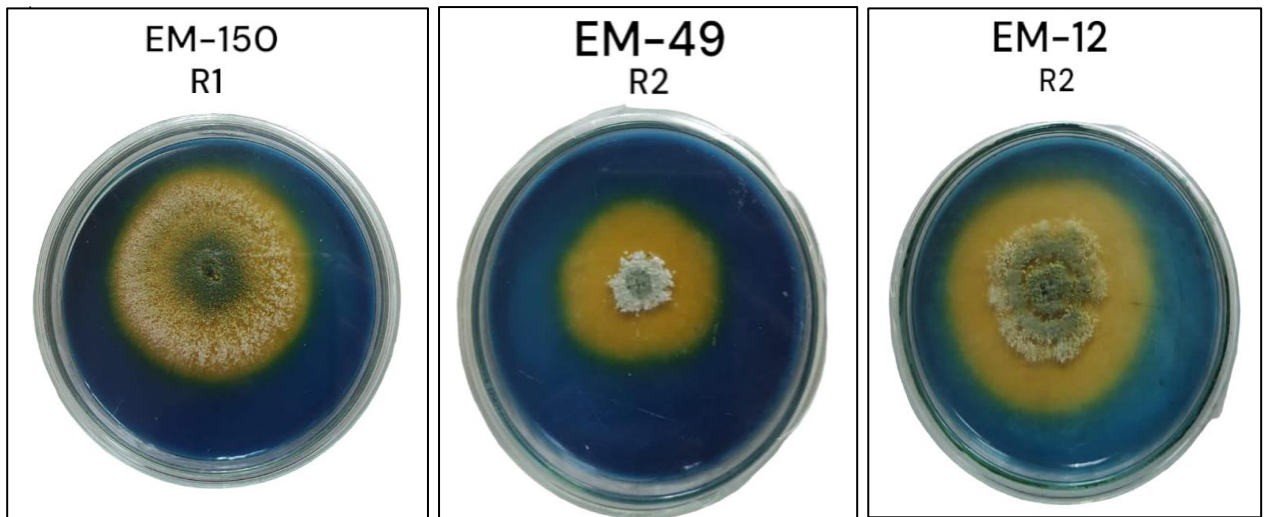
Anexo 4. Activación y multiplicación cepas de *Trichoderma*



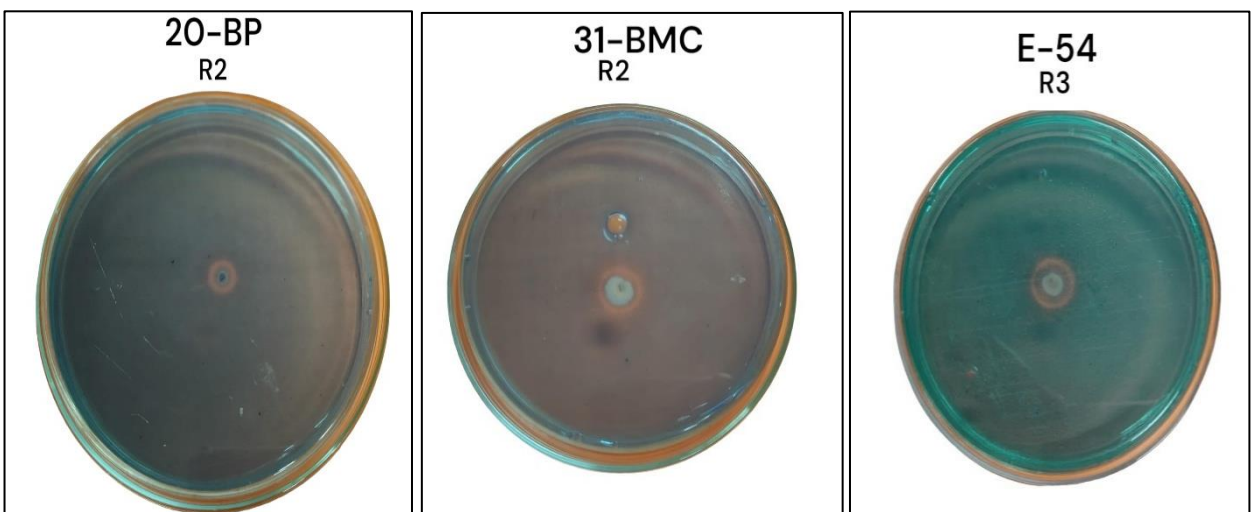
Anexo 5. Formación de halos de solubilización de fosfato en *Bacillus*



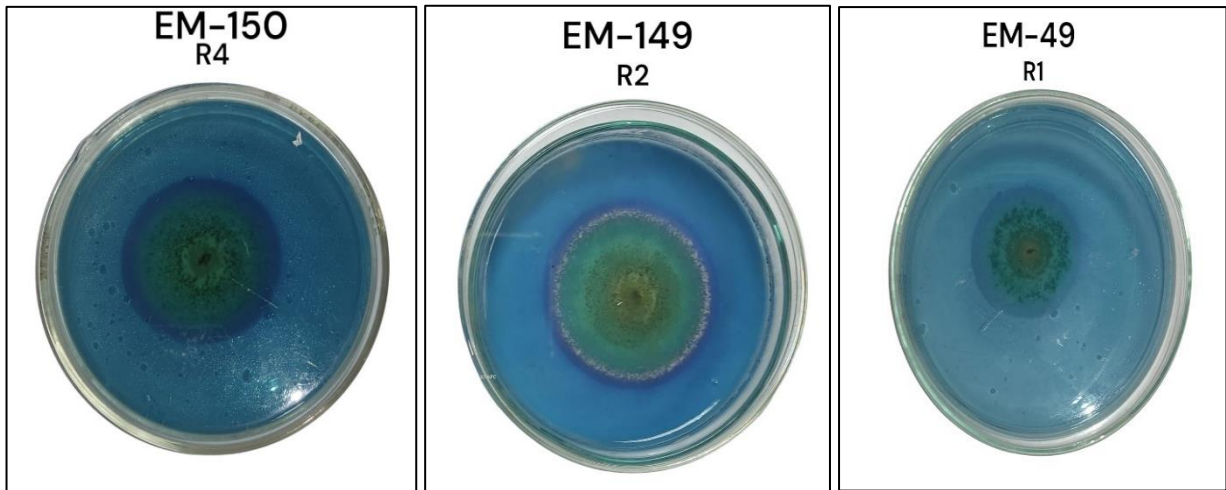
Anexo 6. Formación de halos de solubilización de fosfato en *Trichoderma*



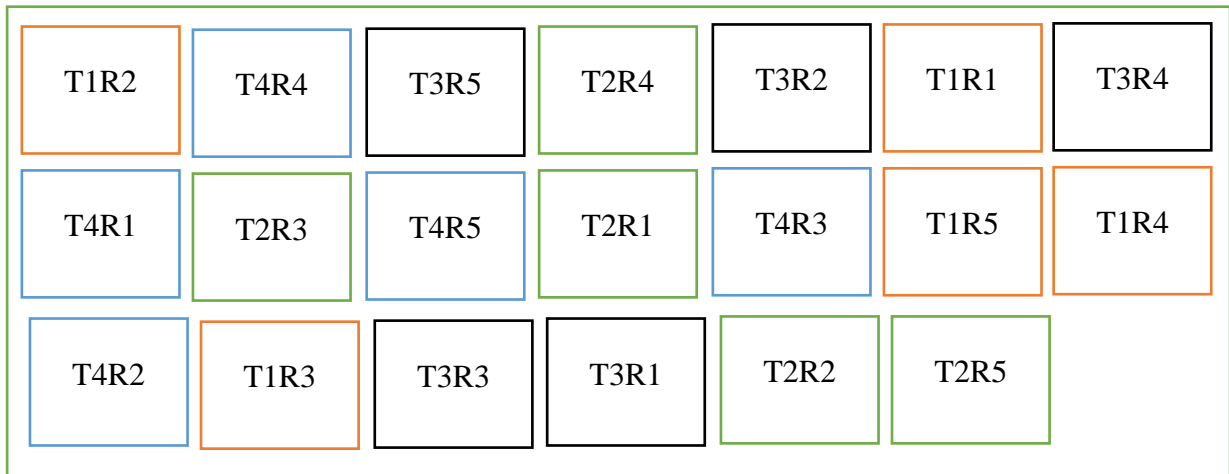
Anexo 7. Formación de halos de sideróforos en *Bacillus* (mm)



Anexo 8. Formación de halos de sideróforos en *Trichoderma* (mm)



Anexo 9. Croquis de los tratamientos en las parcelas



Anexo 10. Distribución de los tratamientos en las parcelas



Anexo 11. Siembra la semilla de rábano y aplicación de los microorganismos *Bacillus* y *Trichoderma*



Anexo 12. Plantas de rábano en las parcelas



Anexo 13. Variables morfológicas y reproductivas del rábano.

