

Inoculación de Microorganismos con Potencial Benéfico en Lechuga (*Lactuca sativa*) Cultivada en un Sistema Hidropónico Inoculation of Microorganisms with Beneficial Potential in Lettuce (*Lactuca sativa*) Grown in a Hydroponic System

Tatiana Carolina Sánchez Macías¹[0009-0009-7523-8244], Nicole Andreina Conforme Anzules¹[0000-0002-1588-7199],
Gicella Mariana Cabrera Zambrano¹[0009-0001-5932-5171], Jennifer Dayana Vera Chevez¹[0009-0002-8611-2283],
Fernando Abasolo Pacheco¹[0000-0003-2268-7432]

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos. Ecuador.

tatiana.sanchez2015@uteq.edu.ec nicole.conforme2016@uteq.edu.ec gicella.cabrera2015@uteq.edu.ec
jverac2@uteq.edu.ec fabasolo@uteq.edu.ec

CITA EN APA:

Sánchez Macías, T. C., Conforme Anzules, N. A., Cabrera Zambrano, G. M., Vera Chevez, J. D., & Abasolo Pacheco, F. (2025). Inoculación de Microorganismos con Potencial Benéfico en Lechuga (*Lactuca sativa*) Cultivada en Sistema Hidropónico. *Tesla Revista Científica*, 5(1).

<https://doi.org/10.55204/trc.v5i2.e479>

Recibido: 01 de abril 2025

Aceptado: 22 de mayo 2025

Publicado: 09 de junio 2025

TESLA

Revista Científica
ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

Resumen. El empleo de microorganismos mediante su inoculación en sistemas hidropónicos es una acción eficiente para aumentar el rendimiento de los cultivos, debido a esta razón el propósito de esta investigación fue cuantificar el efecto de la inoculación de *Actinomicetos*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Natrum muriaticum* sobre el crecimiento y rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en sistemas hidropónico, para ello se condujo un experimento completamente aleatorizado, se evaluaron altura de planta, número, longitud y ancho de hoja, contenido de clorofila, peso fresco de hojas y raíces, así como el rendimiento. Los resultados muestran que en las plantas que fueron inoculadas con *T. harzianum* y *N. muriaticum* presentaron mayor desarrollo vegetativo, lo cual se tradujo en mayores rendimientos de lechuga; por lo que este estudio evidencia que alternativas como la inoculación con cepas de estos microorganismos es una práctica sostenible al minimizar el uso de fertilización química, lo que reduce los costos, logrando la inocuidad de los alimentos y minimizando los riesgos de contaminación ambiental.

Palabras Clave: Hidroponía, inoculación, microorganismos, rendimientos, sostenibilidad

Abstract: The use of microorganisms through inoculation in hydroponic systems is an efficient action to increase crop yield, for this reason the purpose of this research was to quantify the effect of inoculation of Actinomycetes, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* and *Natrum muriaticum* on the growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa*) grown in hydroponic systems, for this purpose a completely randomized experiment was conducted, plant height, number, length and width of leaves, chlorophyll content, fresh weight of leaves and roots, as well as yield were evaluated. The results show that plants that were inoculated with *T. harzianum* and *N. muriaticum* presented greater vegetative development, which resulted in higher lettuce yields; therefore, this study shows that alternatives such as inoculation with strains of these microorganisms is a sustainable practice by minimizing the use of chemical fertilization, which reduces costs, achieving food safety and minimizing the risks of environmental contamination.

Keywords: Hydroponics, inoculation, microorganisms, yields, sustainability

1. INTRODUCCIÓN

La lechuga ha sido cultivada desde tiempo remotos y forma parte del acervo gastronómico de varias culturas, desde épocas ancestrales hasta la era moderna, siendo un alimento altamente valorado y empleado con múltiples propósitos, principalmente alimenticios (Salem et al., 2023). Asimismo, es reconocida por sus cualidades organolépticas, se ha demostrado que juega un rol importante la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo y que posee propiedades ansiolíticas (Holzman, 2021; Maggioni et al., 2018).

Dada la importancia de la lechuga y su vulnerabilidad a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas, han surgido alternativas para maximizar su producción, donde la hidroponía ha emergido como una técnica eficiente para el cultivo de lechuga, con rendimientos superiores a los métodos tradicionales, dado que es un entorno controlado que optimiza el crecimiento y maximiza el rendimiento, tal como señalan Fussy y Papenbrock (2022) y Jaimes-Terceros y Blanco (2019).

A pesar de que el cultivo hidropónico de lechuga es una forma de agricultura sostenible, la misma presenta obstáculos, los cuales pueden afectar el desarrollo vegetativo del cultivo causados por deficiencias nutricionales, desequilibrios o carencia de nutrientes, lo cual afecta el proceso fotosintético, problemas que puede ser agravado por la presencia de patógenos y metales pesados o problemas de salinidad generado por el manejo inadecuado de la solución nutritiva (Suárez-Cáceres et al., 2021; Xavier et al., 2021; Dhal et al., 2023).

No obstante, las posibles limitaciones, la hidroponía está ganando popularidad como una alternativa sostenible para la producción de lechuga, sin embargo, la ausencia de una matriz de suelo plantea desafíos que requieren un manejo preciso de los nutrientes, mediante un control efectivo del estrés salino y estrategias proactivas para el manejo de enfermedades, en este orden de ideas el empleo de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM) han surgido como una solución prometedora para superar estos problemas (Mourouzidou et al., 2023).

Los microorganismos benéficos juegan un rol importante en la sanidad vegetal, su empleo controlado en sistemas hidropónicos, es una práctica adecuada para aumentar la eficiencia del cultivo, en este sentido Mourouzidou et al. (2023) demostraron que los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* son los más eficientes PGPM dado que producen beneficios significativos y cambios en la morfología de la arquitectura de las raíces. Adicionalmente su inoculación puede revertir los efectos de la deficiencia de nutrientes y el estrés salino.

Dentro de los PGPM destacan los géneros *Pseudomonas* y *Trichoderma*, los cuales fueron reconocidos por sus cualidades antagónicas, que los convierten en agentes de biocontrol altamente efectivos en sistemas hidropónicos (Poveda and Eugui, 2022), asimismo la inoculación con *Bacillus subtilis* y

Azospirillum brasilense demostraron un incremento del oxígeno disuelto, mejorando los parámetros de calidad del agua y beneficiando el crecimiento y el metabolismo de plantas (Aijaz et al., 2024).

Los beneficios producto del uso de inoculantes microbianos en sistemas hidropónicos, se debe a que los mismos pueden interactuar con las plantas de cultivo para mejorar su resistencia al ataque de patógenos, el crecimiento y el desarrollo de las plantas, dado que sus metabolitos secundarios han sido reconocidos por su excelente capacidad de biocontrol, lo cual permite la producción de lechugas libres de contaminantes al reducir el uso de agroquímicos (Elnahal et al., 2022).

Considerando lo anteriormente expuesto, el propósito de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación de microorganismos con potencial benéfico en lechuga cultivada en un sistema hidropónico mediante la inoculación de Actinomicetos, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Natrum muriaticum* con la finalidad de cuantificar su efecto sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento en la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistemas hidropónicos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, campus “La María”, en un sistema hidropónico bajo el invernadero de la facultad de ciencias Agrarias y Forestales, localizada en el km 7.5 de la vía Quevedo – El Empalme cuyas coordenadas son: Latitud 1° 5' 3" sur, Longitud 79° 30' 1" oeste (Tabla 1).

Tabla 1

Condiciones meteorológicas de Campus “La María” UTEQ.

Parámetros	Promedio
Temperatura media anual	24.9 °C
Humedad relativa media anual	84 %
Precipitación media anual	2295.1
Heliofanía promedio anual	870.2 (Hs)
Topografía	Plana

2.2. Diseño experimental

En este ensayo se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) constituido por tres tratamientos (Tabla 2), tres repeticiones y un tratamiento control (sin Microorganismos), un total de cuatro tratamientos para lo cual se emplearon 10 plantas por repetición, para un total de 30 plantas por tratamiento.

Tabla 2*Tratamientos evaluados*

Tratamientos	Microorganismos benéficos
T1	Actimomicetos
T2	<i>Trichoderma harzianum</i>
T3	<i>Bacillus subtilis</i>
T4	<i>Natrum muriaticum</i>
T5	Control (agua)

2.3. Manejo de aplicación de microorganismos

Para la investigación, los inoculantes se aplicaron en tres ocasiones, a los 14, 28 y 42 días después del trasplante (DDT). Cabe mencionar que los nutrientes se aplicaron directamente al agua en el sistema hidropónico con una frecuencia de 15 días durante las primeras semanas. Posteriormente, las aplicaciones de nutrientes se realizaron de manera foliar, utilizando 10 mL por litro de agua, el material empleado para la siembra fue la semilla de lechuga REGINA 500 variedad Crespa Lisa, cuyo transparente se realizó cuando la planta tenía siete semanas de edad y contaba con cuatro a cinco hojas verdaderas.

2.4. Sistema de recirculación de agua y fertilización

Se utilizaron las bombas de agua instaladas en el sistema hidropónico, donde se aplicaron productos comerciales biológicos de la marca Q-ba producidos por la empresa IBO de macro y microelementos para su desarrollo en dosis de 10 mL por litro de agua de manera foliar.

2.5. Manejo de arvenses

Se realizó de forma manual dentro del invernadero para que no se vuelvan hospederos de insectos que pueden afectar el cultivo.

2.6. Cosecha

Esta labor se realizó de forma manual en el invernadero cuando el cultivo alcanzó la edad promedio de los 80 días desde el momento que fue sembrada en los semilleros.

2.7. Variables evaluadas

Las variables de crecimiento se evaluaron desde el momento del trasplante hasta que finalizó el desarrollo vegetativo (14, 28 y 42 días después del trasplante).

Se registró la altura de planta (cm) desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja, asimismo se contó el número de hojas en los intervalos de tiempo definidos, se registró el largo y ancho de la hoja (cm),

por último, la clorofila de la hoja que se midió con Medidor portátil de clorofila o clorofilómetro (SPAD-502; Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, EE. UU.). expresado en nm.

Al finalizar el desarrollo vegetativo a los 42 días después del trasplante (DDT) se midió el peso fresco de la planta y raíces (gramos) y el rendimiento (kg m^{-2}), para el cual se cuantificando el peso total de las lechugas recolectadas por tratamiento.

2.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de clasificación doble (ANOVA) para identificar la existencia de efectos principales y de interacción entre las variables analizadas. Con el propósito de determinar las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey. Los datos fueron procesados empleando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics (Version 27).

3. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados para los parámetros de crecimiento, los cuales se evaluaron desde el trasplante hasta que finalizó el desarrollo vegetativo a los 14, 28 y 42 DDT, posterior a la aplicación de los inoculantes microbianos y cuyos hallazgos se describen a continuación.

3.1. Altura de plantas

La altura de planta presentó diferencias significativas tras la aplicación de los inoculantes (Tabla 3), se puede observar que a los 14 DDT no existieron diferencias significativas, pero si a los 28 DDT donde los tratamientos T1 (Actinomicetos) y T2 (*T. harzianum*) mostraron la mayor altura de planta con 13.13 y 12.84 cm respectivamente, mientras que los los 42 DDT los tratamientos con *T. harzianum* (T2) y *N. muriaticum* (T4) presentaron la mayor altura de planta con 23.87 y 23.90 cm respectivamente.

Tabla 3

Altura de planta (cm) a los 14, 28 y 42 DDT en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos.

Tratamiento	14 DDT	28 DDT	42 DDT
T1	11.77 a	13.13 a	19.91 b
T2	11.31 a	12.84 a	23.87 a
T3	12.09 a	10.65 c	18.96 b
T4	11.00 a	12.20 ab	23.90 a
T5	12.03 a	12.23 ab	23.35 ab

*Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

3.2. Número de hojas

El número de hojas presentó diferencias significativas tras la aplicación de los inoculantes, observando en la Tabla 4, que a los 14 DDT existieron diferencias significativas entre los tratamientos, donde el T3 inoculado con *B. subtilis* mostro el mayor número de hojas con 9,93, mientras que a los 28 DDT los tratamientos T4 (*N. muriaticum*), T1 (Actinomicetos) y T2 (*T. harzianum*) presentaron el mayor número de hojas con 10.80 10.47 y 10.27 respectivamente, finalmente los 42 DDT los tratamientos T4 y el T2 presentaron el mayor número de hojas con 24.27 y 23.20 respectivamente.

Tabla 4

Número de hojas a los 14, 28 y 42 DDT en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos.

Tratamiento	14 DDT	28 DDT	42 DDT
T1	8.47 b	10.27 a	22.27 b
T2	9.00 b	10.47 a	23.20 a
T3	9.93 a	8.60 b	18.50 c
T4	9.00 b	10.80 a	24.27 a
T5	9.73 b	9.27 b	19.80 c

*Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

3.3. Ancho de hoja

Al igual que lo observado para la altura de planta y número de hojas, el ancho de hojas presentó diferencias significativas tras la aplicación de los inoculantes, observando en la Tabla 5, que a los 14 DDT no existieron diferencias significativas, pero si a los 28 DDT donde los tratamientos T1 (Actinomicetos),

T2 (*T. harzianum*) y T4 (*N. muriaticum*) mostraron el mayor ancho de hojas, con valores de 7.11, 7.11 y 6.61 cm respectivamente, por último, a los 42 DDT los tratamientos T2 y T1 presentaron el mayor ancho de hojas con 9.21 y 8.60 cm respectivamente.

Tabla 5

Ancho de hojas (cm) a los 14, 28 y 42 DDT en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos.

Tratamiento	14 DDT	28 DDT	42 DDT
T1	5.27 a	7.11 a	8.61 a
T2	5.66 a	7.11 a	9.21 a
T3	5.99 a	5.60 b	8.01 b
T4	6.00 a	5.20 b	8.00 b
T5	5.91 a	6.61 a	8.10 b

*Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

3.4. Largo de hoja

El largo de hojas presentó diferencias significativas tras la aplicación de los inoculantes (Tabla 6), a los 14 DDT no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero si a los 28 DDT donde los tratamientos T2 inoculado con *T. harzianum*, T1 inoculado con actinomicetos y el T4 (*N. muriaticum*) mostraron el mayor largo de hojas con 10.44, 9.91 y 9.85 cm respectivamente y a los 42 DDT fue el tratamiento T4 (*N. muriaticum*), T1 inoculado con actinomicetos y T3 inoculado con *B. subtilis* los que presentaron el mayor largo de hojas con 11.32, 11.20 y 10.63 cm respectivamente.

Tabla 6

Largo de hojas (cm) a los 14, 28 y 42 DDT en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos.

Tratamiento	14 DDT	28 DDT	42 DDT
T1	9.57 a	9.91 a	11.20 a
T2	9.59 a	10.44 a	9.29 b
T3	9.68 a	8.53 b	10.63 a
T4	10.00 a	9.80 a	11.00 a
T5	9.64	9.45 b	11.32 b

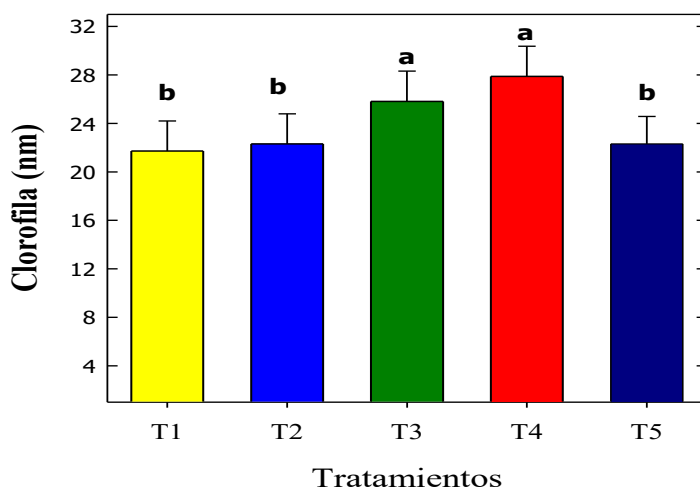
*Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

3.5. Clorofila de la hoja

Con respecto a la variable clorofila de la hoja, en la Figura 1 se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, siendo el T4 inoculado con *N. muriaticum* con 27.87 nm superior al resto de los tratamientos seguido del tratamiento T3 (*B. subtilis*), T2 (*T. harzianum*) y T5 (control) con 25.81 y 22.31 nm respectivamente, mientras que los valores más bajos se observaron en el tratamiento T1 (Actinomicetos) con un valor de 21.71 nm.

Figura 1.

Clorofila en hojas en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos. Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

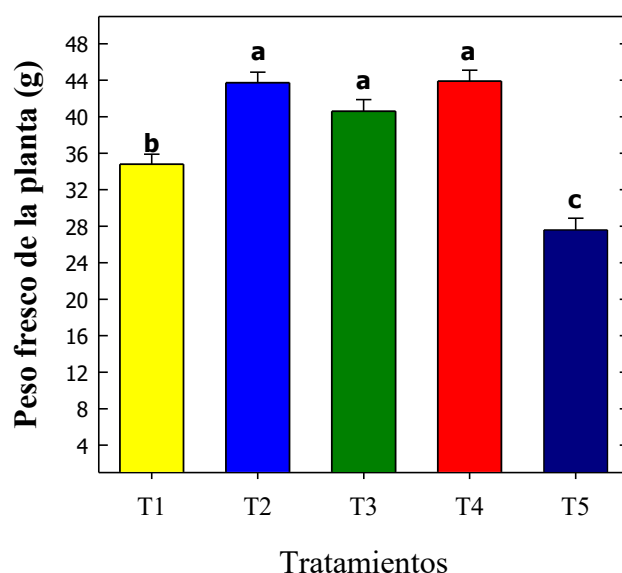


3.6. Peso fresco de la planta

Con relación a la variable peso fresco de la planta en la Figura 2 se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, siendo el T4 (*N. muriaticum*), el T2 (*T. harzianum*) y el T3 (*B. subtilis*) con 43.90, 43.73 y 40.61 gramos respectivamente fueron estadísticamente superiores al resto de los tratamientos, observando que el valor más bajo en el T5 (control) con el valor de 27.60 gramos.

Figura 2.

Peso fresco de la planta en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos. Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

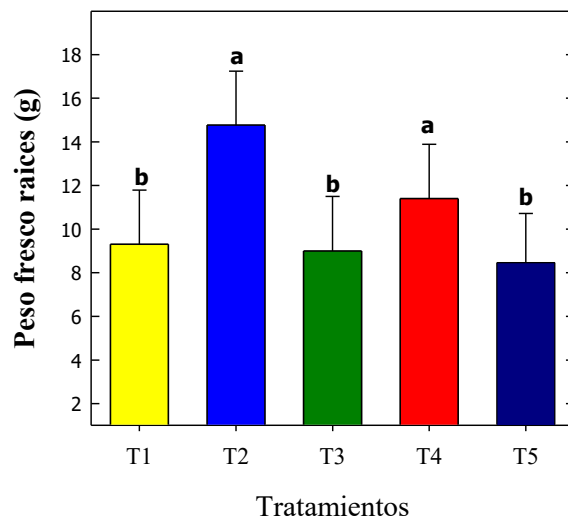


3.7. Peso fresco de raíces (g)

En la Figura 3, para la variable peso fresco de raíces se observa que el tratamiento T2 (*T. harzianum*) y el T4 (*N. muriaticum*) fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) al resto de los tratamientos valores de 14.77 y 11.40 gramos, respectivamente, mientras que los valores más bajos se observaron en los tratamientos T1 y T5 con valores de 9.31 y 8.46 gramos respectivamente.

Figura 3.

Peso fresco de raíces en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos. Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)

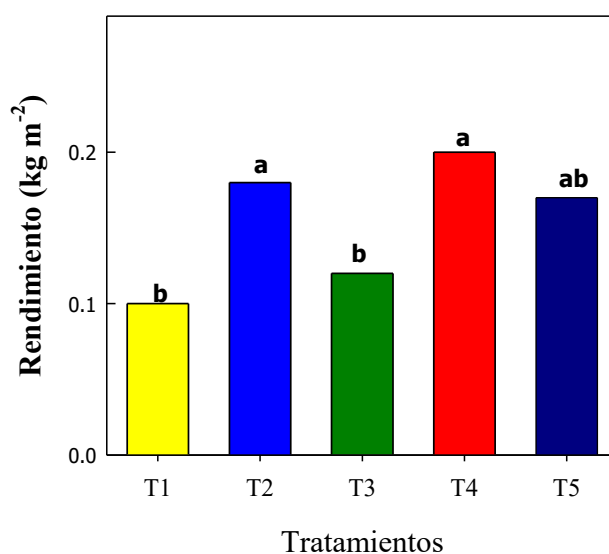


3.8. Rendimiento

Para la variable rendimiento los resultados en la Figura 4 se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, presentando el mejor rendimiento el tratamiento T4 (*N. muriaticum*) con 0.2 kg m^{-2} , seguido de los tratamientos T2 (*T. harzianum*) y el T5 (control) con 0.18 y 0.17 kg m^{-2} respectivamente, los valores más bajos correspondieron a los tratamientos T3 y T1 con 0.12 y 0.10 kg m^{-2} respectivamente.

Figura 4.

Rendimiento en cultivo de lechuga después de la aplicación de microorganismos potencialmente benéficos en sistemas hidropónicos. Las letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p < 0.05$)



4. DISCUSIÓN

Los hallazgos muestran que la inoculación con *Trichoderma harzianum* y *Natrum muriaticum* fueron los tratamientos que produjeron los mejores resultados en todas las variables evaluadas, particularmente en un incremento de actividad fotosintética y rendimiento de la lechuga, superando el crecimiento vegetativo, que se observó con la inoculación del sistema hidropónico con *Bacillus subtilis* y Actinomicetos, respectivamente, pero que se describen fundamentalmente los beneficios con la inoculación con *Trichoderma harzianum* y *Natrum muriaticum* por ser los más eficientes, los cuales se discuten a continuación:

4.1. Efectos de los microorganismos sobre la altura de plantas

Los resultados fueron similares a los reportados por Leu et al. (2023), quienes al inocular cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* en lechuga generaron una mayor altura de plantas, así como un incremento en el largo y ancho de hojas, dado que estos hongos producen compuestos auxínicos como el ácido Indol acético (Meza et al., 2015), que estimula la germinación, el crecimiento y desarrollo radicular, contribuyendo a la mejor asimilación de nutrientes.

4.2. Efectos de *Trichoderma* sobre número de hojas

La inoculación con *Trichoderma* también llevo a un incremento en el número de hojas, lo cual puede atribuirse a la capacidad de los inoculantes biológicos de producir hormonas, vitaminas, enzimas y otros compuestos que mejoran el crecimiento de las plantas, lo que conlleva al aumento de la disponibilidad y la absorción de nutrientes, dado que promueve en las plantas un mayor crecimiento y rendimiento (Stojanović et al., 2020), resultado que también se observó para el largo y ancho de hoja en lechuga, dado que *Trichoderma* además de promover el crecimiento foliar puede controlar patógenos que afectan el cultivo, gracias a la secreción de metabolitos secundarios (Contreras-Cornejo et al., 2015). Similarmente, *Bacillus subtilis* también promueve el crecimiento mediante la producción de fitohormonas y sideróforos, y el aumento de la traslocación de nutrientes (Kang et al., 2019).

4.3. Efectos de *Trichoderma* a la adaptación a factores abióticos extremos

Además de un mayor crecimiento vegetativo la inoculación microbiana permite a las plántulas de adaptarse a numerosos factores de estrés, como el daño de plagas y patógenos relacionados con hongos, bacterias, virus y nematodos (Ibrahim et al., 2020). Además de otros factores abióticos como la sequía, la salinidad y la deficiencia de nutrientes del suelo (Kamanga et al., 2018). En ese sentido Swain et al. (2018), comprobaron la capacidad de *Trichoderma* para inducir la tolerancia de la planta hospedante a estrés abiótico, así como también a condiciones de salinidad y sequía, por lo que contribuye al crecimiento y desarrollo vegetal.

4.4. Efectos de *Trichoderma harzianum* sobre la producción de biomasa

El crecimiento vegetativo se tradujo en mayor producción de biomasa vegetal, cuyos resultados concuerdan con los reportados por Pereira et al (2019), quienes obtuvieron un aumento en la masa fresca con cepas de *T. harzianum* y *T. asperellum*, reportando que la ganancia de masa fresca de la parte aérea fue aproximadamente un 40% mayor que el control, lo cual está relacionado a la síntesis de hormonas vegetales como auxinas y etileno, en ese mismo orden de ideas Ji et al. (2020) quienes probaron el efecto bioestimulante aplicando un biofertilizante a base de un consorcio de esporas de cuatro cepas de *Trichoderma* en cultivo de col china en invernadero, encontrando un mayor peso fresco.

El mayor peso de las plantas puede atribuirse a que algunas especies de *Trichoderma* son productoras de una variedad de compuestos orgánicos volátiles, que son capaces de inhibir fitopatógenos y promover el crecimiento de las plantas (Estrada-Rivera et al., 2019; Kaddes et al. 2019; Guo et al. 2021), los cuales son pequeñas moléculas con alta volatilidad a temperatura ambiente que pueden difundirse fácilmente a través del suelo, mostrando así su potencial para uso en agricultura.

Un mayor peso fresco en las plantas inoculadas con *Trichoderma*, de acuerdo con Asghar, y Kataoka (2021) es producto a que este microorganismo está asociado con un incremento en la mineralización del nitrógeno, a una mayor actividad biológica en el suelo, especialmente con la actividad enzimática, específicamente con la fosfatasa y la liberación de metabolitos secundarios, que cumplen doble función: antagonista de patógenos y promotora del crecimiento vegetal.

4.5. Efectos de *Trichoderma harzianum* sobre el desarrollo de raíces

La inoculación con *Trichoderma*, también impacto de manera positiva el desarrollo de las raíces, resultados semejantes fueron obtenidos por Moreira et al. (2022), quienes encontraron que la inoculación con *A. brasilense* y *T. harzianum* aumentó en el cultivo de lechuga el crecimiento de las raíces en un 47% y 20%, respectivamente, lo cual a su vez mejoro la acumulación de K, Mn, Cu y Zn, lo que ratifica lo señalado por Rouphael et al. (2020). quienes demostraron que *T. harzianum*, promovió el crecimiento de raíces de la lechuga. longitud y materia seca en comparación con el control, lo cual es producto de que *Trichoderma* produce hormonas como indol-3-etanol, ácido indol-3-acético e indol-3-acetaldehído, los cuales estimulan el desarrollo de raíces laterales, lo que mejora la superficie radicular e indirectamente aumenta la absorción de agua y nutrientes, procesos todos relacionados con la fotosíntesis (Carillo et al., 2020).

4.6. Efectos beneficiosos de la inoculación con *Natrum muriaticum*

Además de *Trichoderma*, la inoculación con *Natrum muriaticum* produjo un mejor desarrollo vegetativo de las plantas de lechuga al observar valores estadísticamente similares a los obtenidos con *Trichoderma* para las variables altura de plantas, número de hojas, contenido de clorofila, peso fresco de la

planta, peso fresco de raíces, así como en el rendimiento, lo que demuestra los beneficios que se obtienen por la inoculación con este microorganismo.

Los beneficios de la inoculación con este microorganismos ya habían sido reportado por Mazón et al. (2022) quienes al evaluar el efecto de *Natrum muriaticum* sobre la fotosíntesis y la biomasa de plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L) encontrando valores más altos de estas variables luego de la inoculación, lo cual es similar a los resultados obtenidos para estas investigación para el cultivo de la lechuga, con la ventaja adicional que en el ensayo con cultivo de albahaca los resultados se lograron bajo condiciones de estrés salino.

En investigaciones previas Mazón-Suástegui et al. (2019) ya habían destacada el rol de *N. muriaticum* para la producción de hortalizas en suelo con altos valores de salinidad, pero estos autores destacan beneficios adicionales, debido a la presencia de oligoelementos, como magnesio biodisponible, cloruro de potasio, hierro y calcio en cantidades traza, los cuales contribuyen a mejorar la fertilidad del cultivo y por lo tanto garantizar un mayor crecimiento e incremento de los rendimientos.

Aunque no se ha reportado en esta investigación el crecimiento por la inoculación con *N. muriaticum* se debe a los beneficios para el control de patógenos, lo cual abriría nuevas líneas de investigación para la producción de hortalizas bajo practicas sostenibles, dado que este microorganismo puede inhibir hasta en un 66 % el crecimiento de *Aspergillus niger* (Faedo et al., 2024), el cual es un hongo altamente patógeno en cultivos hortícolas.

4.7. Inoculación con microorganismo y rendimiento de la lechuga

A pesar de que el Trichoderma y *N. muriaticum* promovieron un mayor desarrollo vegetativo, expresado en mayor biomasa aérea y biomasa de raíces, los rendimientos fueron inferiores a los reportados por Jordan et al. (2018) en sistemas acuapónicos (2.88 kg m⁻²) e hidropónicos (2.58 kg m⁻²), aunque los valores superan notablemente los rendimientos en sistemas convencionales son inferiores a los normalmente reportado en sistemas hidropónico, lo cual puede ser atribuido a variables como el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura del agua.

Además de *T. harzianum* y *N. muriaticum* la inoculación con *B. subtilis* y Actinomicetos logró promover un mayor desarrollo vegetativo y de raíces, con valores que superaron los reportados en el tratamiento control y cuyos resultados son similares los reportados por otras investigaciones llevadas a cabos en el cultivo de lechuga.

El crecimiento foliar alcanzado con la inoculación con *T. harzianum* y *N. muriaticum* se produce con una mayor asimilación neta de CO₂ en el proceso fotosintético que permite la formación de nuevas hojas y un aumento de la masa vegetal, lo que se traduce en un mayor rendimiento, debido a que se logra aumentar la eficiencia fotosintética, la asimilación de carbono y la adquisición de nutrientes por las raíces, promoviendo un mayor desarrollo vegetativo (Fonseca et al., 2022).

Finalmente cabe destacar que en algunas variables se observó que el control presentó un mejor desempeño que los inoculantes microbianos y esto ocurre porque además de la secreción de metabolitos secundarios y sustancias promotoras del crecimiento, algunas de las cepas de microorganismos como *Trichoderma* (Al-Taie et al., 2020), *B. subtilis* (Li et al., 2023) y Actinomicetos (García-Bernal et al., 2025) pueden liberar sustancias alelopáticas que afectan el crecimiento vegetal.

5. CONCLUSIONES

El mejor tratamiento fue el inoculado con *Trichoderma harzianum* y *Natrum muriaticum* por lo que se comprueba el potencial benéfico de los mismos, dada su capacidad para controlar plagas y patógenos y la producción de sustancias promotoras del crecimiento.

Los resultados confirman que la inoculación con *T. harzianum* y *N. muriaticum*, promueve un mayor desarrollo vegetativo y rendimiento de lechuga en hidroponía, ofreciendo una alternativa sostenible y rentable a la fertilización química.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran si existen o no conflicto de intereses con su investigación

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Participar activamente en:	Sánchez, T.	Conforme, N.	Cabrera, G.	Vera, J.	Abasolo, F.
Conceptualización	X				
Análisis formal	X				
Adquisición de fondos	X		X	X	X
Investigación		X	X		X
Metodología	X			X	
Administración del proyecto	X	X	X		
Recursos		X		X	X
Redacción –borrador original	X	X			
Redacción –revisión y edición			X	X	X
La discusión de los resultados	X				
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.	X	X	X	X	X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aijaz, N., Zaheer, M. S., Hameed, A., Aslam, H. M. U., Alam, M. W., Riaz, H., ... & Rehman, S. (2024). Improving salinity tolerance in wheat plants via inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis* for enhanced biomass, growth and physiological process. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46(11), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03727-8>
- Al-Taie, A. H., Al-Zubaidi, N. K., & Al-Shammery, M. K. (2020). Allelopathy effect of *Trichoderma* spp. and some plant extracts against *Pythium aphanidermatum* (in-vitro). *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(6), 757-762. <https://doi.org/10.18805/ijare.a-476>.
- Asghar, W., & Kataoka, R. (2021). Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic composts on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. *Archives of microbiology*, 203(7), 4281-4291. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4>.
- Carillo, P., Woo, S. L., Comite, E., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., Fusco, G. M., ... & Vinale, F. (2020). Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl- α -pyrone and plant biopolymer formulations

- modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. *Plants*, 9(6), 771. <https://doi.org/10.3390/plants9060771>
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Vergara, A. G., & López-Bucio, J. (2015). Trichoderma modulates stomatal aperture and leaf transpiration through an abscisic acid-dependent mechanism in Arabidopsis. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 425-432. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9471-8>.
- Dhal, S. B., Mahanta, S., Gumero, J., O'Sullivan, N., Soetan, M., Louis, J., ... & Kalafatis, S. (2023). An IoT-based data-driven real-time monitoring system for control of heavy metals to ensure optimal lettuce growth in hydroponic set-ups. *Sensors*, 23(1), 451. <http://dx.doi.org/10.3390/s23010451>
- Elnahal, A. S., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E. S. M., El-Tahan, A. M., Rady, M. M., ... & El-Tarabily, K. A. (2022). The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology*, 162(4), 759-792. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>.
- Estrada-Rivera, M., Rebolledo-Prudencio, O. G., Pérez-Robles, D. A., Rocha-Medina, M. D. C., González-López, M. D. C., & Casas-Flores, S. (2019). Trichoderma histone deacetylase HDA-2 modulates multiple responses in Arabidopsis. *Plant physiology*, 179(4), 1343-1361. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01092>.
- Faedo, L., Matias, C., Verdi, R., Wright, J., Rayns, F., Kretzschmar, A., & Boff, P. (2024). The use of mineral dynamised high dilutions for natural plant biostimulation; effects on plant growth, crop production, fruit quality, pest and disease incidence in agroecological strawberry cultivation. *Biological Agriculture & Horticulture*, 40(4), 267-287. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2024.2396894>
- Fonseca, M. D. C. D., Bossolani, J. W., de Oliveira, S. L., Moretti, L. G., Portugal, J. R., Scudeletti, D., ... & Crusciol, C. A. C. (2022). Bacillus subtilis inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress. *Microorganisms*, 10(4), 809. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040809>
- Fussy, A., & Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques—chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9), 1153. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>.
- García-Bernal, M., Medina-Marrero, R., Hernández, L. C., Hernández, U. Á., Ojeda-Silvera, C. M., Batista-Sánchez, D., & Mazón-Suástegui, J. M. (2025). Actinomicetos Promueven Crecimiento en Plántulas de Nicotiana tabacum L. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 43. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.1981>
- Guo, R., Ji, S., Wang, Z., Zhang, H., Wang, Y., & Liu, Z. (2021). Trichoderma asperellum xylanases promote growth and induce resistance in poplar. *Microbiological research*, 248, 126767. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126767>.
- Holzman, R.S. (2021). The History of Sedation. In: Mason, MD, K.P. (eds) Pediatric Sedation Outside of the Operating Room. *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58406-1_1
- Ibrahim, D. S., Elderiny, M. M., Ansari, R. A., Rizvi, R., Sumbul, A., & Mahmood, I. (2020). Role of Trichoderma spp. in the management of plant-parasitic nematodes infesting important crops. *Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges*, 259-278. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5_11.
- Jaimés-Terceros, M. J., & Blanco, W. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (Lactuca sativa L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. *Apthapi*, 5(2), 1608-1615. <https://doi.org/10.53287/bdez7065us39c>

- Ji, S., Liu, Z., Liu, B., Wang, Y., & Wang, J. (2020). The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. *Scientia Horticulturae*, 262, 109069. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109069>.
- Jordan, R. A., Ribeiro, E. F., Oliveira, F. C. D., Geisenhoff, L. O., & Martins, E. A. (2018). Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(8), 525-529. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p525-529>.
- Kaddes, A., Fauconnier, M. L., Sassi, K., Nasraoui, B., & Jijakli, M. H. (2019). Endophytic fungal volatile compounds as solution for sustainable agriculture. *Molecules*, 24(6), 1065. <https://doi.org/10.3390/molecules24061065>.
- Kamanga, R. M., Mbega, E., & Ndakidemi, P. (2018). Drought Tolerance Mechanisms in Plants: Physiological Responses Associated with Water Deficit Stress in *Solanum lycopersicum*. *Advances in Crop Science and Technology*, 6(03). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000362>.
- Kang, S. M., Hamayun, M., Khan, M. A., Iqbal, A., & Lee, I. J. (2019). *Bacillus subtilis* JW1 enhances plant growth and nutrient uptake of Chinese cabbage through gibberellins secretion. *Journal of Applied Botany & Food Quality*, 92. <https://doi.org/10.5073/jabfq.2019.092.023>
- Leu, F. G., Gilesky, N., & Petruzzi, L. (2023). Evaluación del efecto de *Trichoderma atroviride* cepa α CP8 y *Bacillus velezensis* en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en hidroponía en Córdoba Capital. *Nexo agropecuario*, 11(2), 46-53. Disponible en <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/42974/44099/>
- Li, B., Zhao, L., Liu, D., Zhang, Y., Wang, W., Miao, Y., & Han, L. (2023). *Bacillus subtilis* promotes cucumber growth and quality under higher nutrient solution by altering the Rhizospheric microbial community. *Plants*, 12(2), 298. <https://doi.org/10.3390/plants12020298>
- Maggioni, L., von Bothmer, R., Poulsen, G., & Lipman, E. (2018). Domestication, diversity and use of *Brassica oleracea* L., based on ancient Greek and Latin texts. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 137-159. <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0516-2>.
- Mazón, S. J. M.; Murillo, A. B.; Batista, S. D.; Agüero, F. Y.; García, B. M. R. and Ojeda, S. C. M. (2019). *Natrum muriaticum* as an attenuant of NaCl-salinity in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Nova scientia*, 10(21), 120-136. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1423>
- Mazón-Suástegui, J. M., Murillo-Amador, B., García-Bernal, M., Arcos-Ortega, G. F., Ruiz-Espinoza, F. H., & Ojeda-Silvera, C. M. (2022). Effect of *Natrum muriaticum* on photosynthesis and biomass of basil plants grown under salt stress (NaCl). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 219-229. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3277>
- Meza, B., de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2015). Involvement of indole-3-acetic acid produced by *Azospirillum brasilense* in accumulating intracellular ammonium in *Chlorella vulgaris*. *Research in Microbiology*, 166(2), 72-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2014.12.010>
- Moreira, V. D. A., Oliveira, C. E. D. S., Jalal, A., Gato, I. M. B., Oliveira, T. J. S. S., Boleta, G. H. M., ... & Filho, M. C. M. T. (2022). Inoculation with *Trichoderma harzianum* and *Azospirillum brasilense* increases nutrition and yield of hydroponic lettuce. *Archives of Microbiology*, 204(7), 440. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03047-w>.
- Mourouzidou, S., Ntinias, G. K., Tsaballa, A., & Monokrousos, N. (2023). Introducing the power of plant growth promoting microorganisms in soilless systems: A promising alternative for sustainable agriculture. *Sustainability*, 15(7), 5959. <https://doi.org/10.3390/su15075959>.
- Pereira, F. T., Oliveira, J. B. D., Muniz, P. H. P., Peixoto, G. H. S., Guimarães, R. R., & Carvalho, D. D. C. (2019). Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. *Horticultura Brasileira*, 37(1), 69-74. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190111>.

- Poveda, J., & Eugui, D. (2022). Combined use of Trichoderma and beneficial bacteria (mainly Bacillus and Pseudomonas): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control*, 176, 105100. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
- Rouphael, Y., Carillo, P., Colla, G., Fiorentino, N., Sabatino, L., El-Nakhel, C., ... & Woo, S. L. (2020). Appraisal of combined applications of Trichoderma virens and a biopolymer-based biostimulant on lettuce agronomical, physiological, and qualitative properties under variable N regimes. *Agronomy*, 10(2), 196. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020196>.
- Salem, KFM; Alghuthaymi, MA; Mahdy, M; Mekkawy, SA; Hassan, MN; Ibrahim, AA; Tawfik, E. 2023. Advances in Lettuce (Lactuca spp.) Molecular Breeding Strategies. *Singapore, Springer Nature Singapore*. p. 251–277. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5367-5_11
- Stojanović, M., Petrović, I., Zuzza, M., Jovanović, Z., Moravčević, D., Cvijanovic, G., & Savić, S. (2020). The productivity and quality of Lactuca sativa as influenced by microbiological fertilisers and seasonal conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(4), 345-352. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.044>.
- Suárez-Cáceres, G. P., Pérez-Urrestarazu, L., Avilés, M., Borrero, C., Eguívar, J. R. L., & Fernández-Cabanás, V. M. (2021). Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. aquaponics systems. *Aquaculture*, 544, 737093. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093>
- Swain, H., Adak, T., Mukherjee, A. K., Mukherjee, P. K., Bhattacharyya, P., Behera, S., ... & Jena, M. (2018). Novel Trichoderma strains isolated from tree barks as potential biocontrol agents and biofertilizers for direct seeded rice. *Microbiological research*, 214, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.05.015>.
- Xavier, J. D. F., de Azevedo, C. A. V., de Sales, J. C. R., Azevedo, M. R. D. Q. A., Fernandes, J. D., de Lima, V. L. A., ... & Filho, A. F. M. (2021). Salinity levels in growth and production of curly lettuce (Elba, Cristina and Veneranda) grown in hydroponic system. *Australian Journal of Crop Science*, 15(1), 73-81. doi: 10.21475/ajcs.21.15.01.2747