incrementando la disponibilidad de nutrientes y mejorando la tolerancia al estrés abiótico (Jaiswal et al., 2021). En particular, *Rhizobium* sp. ACO-34A, aislada de *Agave americana*, ha demostrado tolerancia a NaCl, producción de auxinas, solubilización de fósforo y efectos positivos en distintos cultivos (De la Torre-Ruiz et al., 2016; García-Pérez et al., 2024). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A sobre parámetros morfométricos tempranos de *Solanum tuberosum* L. var. Fianna bajo diferentes concentraciones de NaCl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se emplearon tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Fianna, con calibre aproximado de 20 mm de diámetro y estado fisiológico de brotación múltiple. La cepa élite nativa *Rhizobium* sp. ACO-34A, fue obtenida de la colección de cepas del laboratorio 1 de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa (TECNM/ITTG) y reactivada en medio YEM suplementado con Ca^{2+} a temperatura ambiente (22 °C) bajo agitación orbital (140 rpm, 24 h).

El ensayo se realizó en condiciones de invernadero, perteneciente al departamento hortícola del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal, Metepec, Estado de México. Este invernadero se localiza a una latitud de 19° 14' N, longitud de 99° 35' O, cuenta con una superficie de 405 m² y presenta una temperatura promedio de 22 °C (Figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica del sitio experimental.

Se estableció un diseño factorial completo [2 x 5] con los factores A: inoculación con cepa rizobiana y B: concentración de NaCl, lo que generó un total de 10 tratamientos (Cuadro 1) evaluados con 14 réplicas por tratamiento, distribuidos bajo un diseño completamente aleatorizado. Cada experimento se realizó en macetas de plástico de 2 L, utilizando 1 kg de sustrato compuesto por 50 % de tepojal y 50 % de suelo franco-arenoso proveniente de una cama de siembra del invernadero utilizado previamente analizado bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 y desinfectado con un fungicida sistémico comercial Previcur® Energy.

Para los tratamientos salinos se establecieron cinco concentraciones de NaCl: 0.00, 42.4, 65.7, 88.8 y 109.5 mM, correspondientes a conductividades eléctricas de 0.39, 4.78, 6.41, 8.95 y 10.23 dS/m en solución preparada con agua corriente.. Para los tratamientos con aplicación de la cepa rizobiana, los tubérculos se inocularon mediante inmersión en una suspensión de *Rhizobium* sp. ACO-34A con DO_{600nm}= 1.0. La siembra se realizó con una densidad de un tubérculo por maceta para todos los tratamientos, a una profundidad de 3-5 cm. El riego se realizó de acuerdo a la capacidad de campo del sustrato adecuado para papa (70%) con 500 mL de agua corriente cada 4 días y fertirriego cada 8 días con fertilizante soluble triple 19 enriquecido con micronutrientes Poly-Feed^{Tm}. El manejo fitosanitario incluyó la aplicación foliar del fungicida sistémico Tecto® 60. Se aplicó una primera biofertilización con la cepa rizobiana a los 15 días después de la siembra usando un volumen de 10 mL por maceta ($DO_{600\ nm}$= 1.0) (Sánchez-Bernal et al., 2008; Flores López, López Delgado & Sotelo Ruiz, 2024).

Cuadro 1. Tratamientos del diseño experimental evaluado.

Tratamiento	Combinación
1	A_1B_1: ACO-34A y 0.00 mM NaCl (+)
2	A_1B_2: ACO-34A y 42.4 mM NaCl
3	A_1B_3: ACO-34A y 65.7 mM NaCl
4	A_1B_4: ACO-34A y 88.8 mM NaCl
5	A_1B_5: ACO-34A y 109.5 mM NaCl
6	A_2B_1: SIN INOCULACIÓN y 0.00 mM NaCl (-)
7	A_2B_2: SIN INOCULACIÓN y 42.4 mM NaCl
8	A_2B_3: SIN INOCULACIÓN y 65.7 mM NaCl
9	A_2B_4: SIN INOCULACIÓN y 88.8 mM NaCl
10	A_2B_5: SIN INOCULACIÓN y 109.5 mM NaCl

(+): tratamiento control positivo; (-): tratamiento control negativo.

A los 20 días después de la siembra (dds), se evaluaron la longitud del tallo, el diámetro del tallo y el número total de hojas por planta. Estas variables constituyen indicadores tempranos del vigor vegetativo y permiten analizar la influencia de la inoculación y la salinidad sobre el crecimiento inicial del cultivo.

Los datos se analizaron mediante ANOVA multifactorial (α= 0,05; $P \leq 0.05$), usando el software de Sistema de Análisis Estadístico STATGRAPHICS Centurion versión XVI.I, considerando como factores la inoculación y la concentración de NaCl, así como su interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo analizado mostró textura areno-franca, pH ligeramente alcalino (7.50), y baja densidad aparente (0.87 g/cm³) (Cuadro 2), condiciones que mejoran la infiltración, reducen el riesgo de compactación y favorecen el movimiento de agua y solutos, por su parte los valores elevados de la capacidad de intercambio catiónico indican alta capacidad para retener cationes como K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}, esenciales para la homeostasis iónica en

cultivos sensibles a la salinidad (Brady & Weil, 2016). El alto contenido de fósforo disponible (122 ppm) y nitrógeno total (0.65 %) coloca al suelo dentro de la categoría de alta fertilidad, lo cual contrasta con estudios de papa bajo suelos de menor calidad, donde la respuesta a la inoculación microbiana se ve enmascarada por limitaciones nutricionales. Además, la presencia de materia orgánica (3.33 %) y carbono orgánico (1.93 %) sugiere un ambiente edáfico con buena capacidad de amortiguamiento, condición que puede potenciar la acción de las PGPR al mejorar la disponibilidad de microelementos y facilitar la colonización rizosférica mediante la formación de biopelículas (Sánchez-Bernal et al., 2008; Jaiswal et al., 2021; Ghidawi et al., 2024). Por tanto, la caracterización del suelo realizada evidenció condiciones óptimas de fertilidad y estructura, aunado a ello, la fertilización realizada durante el ciclo de cultivo con una fórmula balanceada (triple 19 con micronutrientes) permitió reforzar la disponibilidad de nutrientes y mantener un adecuado soporte nutricional en cultivos de papa (Koch et al., 2020), lo que permite inferir que las respuestas observadas en la planta se atribuyen principalmente a efectos de la inoculación y al estrés salino, y no posibles deficiencias de nutrientes en el medio edáfico. Estas propiedades convierten al sustrato en un modelo adecuado con potencial para mantener la productividad en cultivos exigentes como papa (Flores López, López Delgado & Sotelo Ruiz, 2024).

Cuadro 2. Análisis de propiedades físicoquímicas y de fertilidad del suelo.

Parámetro	Resultado	Unidad	Interpretación
pH (1:2 suelo/agua)	7.50	U. pH	Medianamente alcalino
Textura	84 arena, 8 limo, 8 arcilla	%	Areno-franco
Densidad aparente	0.87	g/cm³	Suelos orgánicos, buena porosidad
Materia orgánica	3.33	%	Alta
Carbono orgánico	1.93	%	Adecuado
Nitrógeno total	0.65	%	Alto
Fósforo disponible (P_2O_5)	122.03	ppm	Muy alto
Potasio (K)	2956.10	ppm	Muy alto
Calcio (Ca)	3119.86	ppm	Muy alto
Magnesio (Mg)	2928.00	ppm	Muy alto
Sodio (Na)	337.90	ppm	Medio
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	48.68	meq/100 g	Alta

En la longitud de tallo (20 dds), el ANOVA mostró efectos significativos del factor inoculación ($p = 0.0443$) y de la interacción inoculación × salinidad ($p = 0.0168$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables longitud de tallo, número de hojas y diámetro de tallo

Variable	Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Longitud de tallo	Cepa (A)	70.0071	1	70.0071	4.13	0.0443
	Salinidad (B)	44.0036	1	44.0036	2.59	0.1098
	A × B	99.6036	1	99.6036	5.87	0.0168
	Error total	2068.81	122	16.9574		
	Total (Corr.)	2498.54	139			

Número de hojas	Cepa (A)	2452.83	1	2452.83	7.28	0.0079
	Salinidad (B)	932.575	1	932.575	2.77	0.0986
	A × B	1272.89	1	1272.89	3.78	0.0542
	Error total	41079.6	122	336.718		
	Total (Corr.)	49021.9	139			
Diámetro de tallo	Cepa (A)	0.03457	1	0.034571	3.31	0.0711
	Salinidad (B)	0.06603	1	0.066036	6.33	0.0132
	A × B	0.03889	1	0.038893	3.73	0.0558
	Error total	1.27243	122	0.01043		
	Total (Corr.)	1.57171	139			

De manera complementaria, en el cuadro 4 se presentan las medias y desviaciones estándar de la longitud del tallo, número de hojas y diámetro de tallo para cada combinación de inoculación y salinidad. La longitud del tallo osciló aproximadamente entre 10.71 ± 4.37 y 14.96 ± 2.79 cm, el número de hojas entre 41.57 ± 17.27 y 62.07 ± 16.23, y el diámetro de tallo entre 0.34 ± 0.09 y 0.45 ± 0.07 cm. Estos valores cuantitativos permiten visualizar de manera clara las diferencias en las medias de los parámetros morfométricos entre tratamientos y sintetizar la respuesta morfométrica temprana del cultivo frente al arreglo factorial evaluado.

Cuadroa 4. Medias de parámetros morfométricos tempranos evaluados en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L. var Fianna)

Tratamiento	Longitud de tallo (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)
T1: A_1B_1	14.82 ± 2.61	60.86 ± 8.57	0.44 ± 0.06
T2: A_1B_2	14.96 ± 2.79	62.07 ± 16.23	0.45 ± 0.07
T3: A_1B_3	12.71 ± 5.39	50.86 ± 21.67	0.36 ± 0.13
T4: A_1B_4	11.82 ± 4.18	51.79 ± 19.66	0.39 ± 0.14
T5: A_1B_5	11.43 ± 4.38	46.21 ± 21.80	0.34 ± 0.10
T6: A_2B_1	11.93 ± 4.38	48.07 ± 17.99	0.37 ± 0.09
T7: A_2B_2	11.21 ± 4.37	42.43 ± 20.83	0.36 ± 0.10
T8: A_2B_3	10.71 ± 4.37	41.57 ± 17.27	0.36 ± 0.08
T9: A_2B_4	12.57 ± 4.80	54.07 ± 19.43	0.39 ± 0.13
T10: A_2B_5	12.25 ± 3.44	43.79 ± 12.82	0.34 ± 0.09

En la figura 2 se muestra la interacción de las plantas inoculadas alcanzaron mayor elongación, especialmente en ausencia de estrés y en concentraciones moderadas de NaCl, mientras que en niveles altos de salinidad ambas líneas de tendencia (inoculadas y no inoculadas) tienden a converger. Este patrón sugiere que la cepa *Rhizobium* sp. ACO-34A contribuye a la elongación temprana del tallo, con una respuesta modulada por el nivel de NaCl aplicado. Estudios previos han demostrado que PGPR productoras de auxinas y citoquininas favorecen la división y expansión celular bajo condiciones salinas, prolongando el crecimiento vegetativo inicial (Mishra et al., 2021). En papa, la inoculación con *Bacillus mojavensis* mejoró la altura de planta y biomasa aérea bajo NaCl, en asociación con una mayor actividad antioxidante y un balance hormonal más favorable (Ghidawi et al., 2024). En conjunto, estos antecedentes indican que el comportamiento observado en este

trabajo es consistente con el marco general de regulación hormonal y antioxidante mediada por PGPR bajo estrés salino.

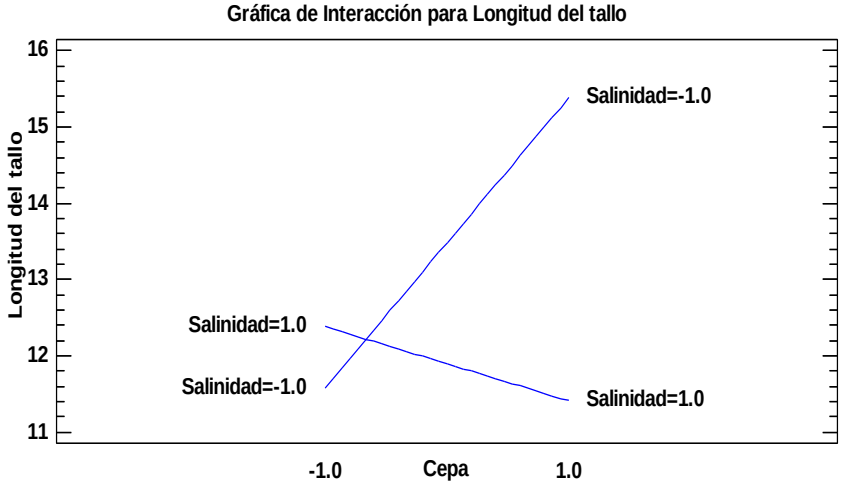

Figura 2. Interacción para la variable de respuesta longitud de tallo.

En el número de hojas (20 dds), la inoculación fue significativa (p = 0.0079), mientras que la interacción mostró una tendencia marginal (p = 0.0542). En la gráfica de interacción (Figura 3) se observa que las plantas inoculadas mantuvieron una ventaja en la formación foliar en casi todos los niveles de NaCl, aunque la brecha se redujo en condiciones de mayor salinidad. Este comportamiento indica que la inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A favorece el desarrollo temprano de la parte foliar de la planta, incrementando el área fotosintética disponible, en concordancia con lo reportado para otras PGPR. Una mayor producción de hojas en etapas tempranas es fundamental para sostener la fotosíntesis y acumular reservas necesarias para el llenado de tubérculos. En otros cultivos como tomate, la inoculación con *Pseudomonas fluorescens* reguló positivamente genes asociados al desarrollo foliar y tolerancia a estrés (Hanifah et al., 2023). En papa, este tipo de respuesta puede asociarse con la mejora en la relación K^+/Na^+ en los tejidos, lo que permite conservar la integridad celular y retrasar la clorosis foliar (Tahir et al., 2019).

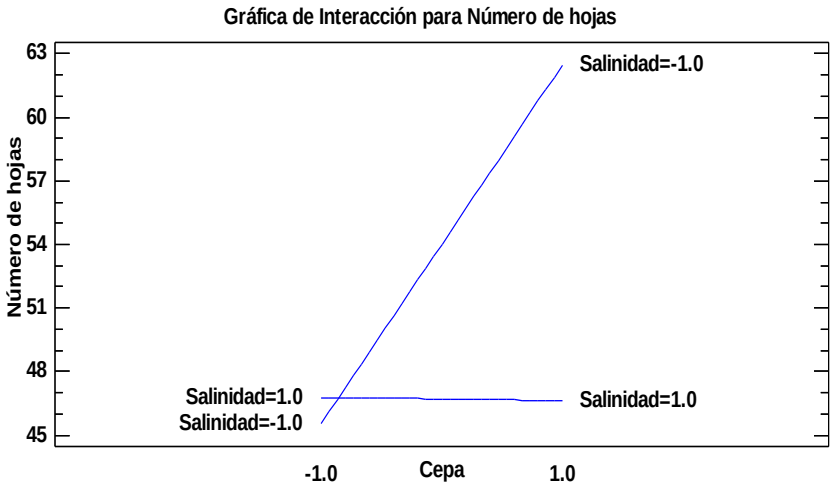

Figura 3. Gráfico de interacción para la variable de respuesta número de hojas

El diámetro de tallo (20 dds) mostró diferencias significativas únicamente por el efecto de la salinidad ($p = 0.0132$). La gráfica de interacción (Figura 4) confirma que, a medida que aumenta la concentración de NaCl, el grosor del tallo disminuye en ambos tratamientos, con diferencias mínimas entre inoculados y no inoculados. Este resultado sugiere que el engrosamiento del tallo es un proceso estructural más tardío, dependiente de la deposición de celulosa y lignina, así como de la expansión radial de células, procesos que son altamente afectados por la acumulación de Na^+ (Shahid et al., 2024). Estudios en papa cv. Alpha evidencian que el aumento de salinidad reduce progresivamente el diámetro del tallo, aun en presencia de fertilización química (Sánchez-Bernal et al., 2008), lo que coincide con los hallazgos de este trabajo.

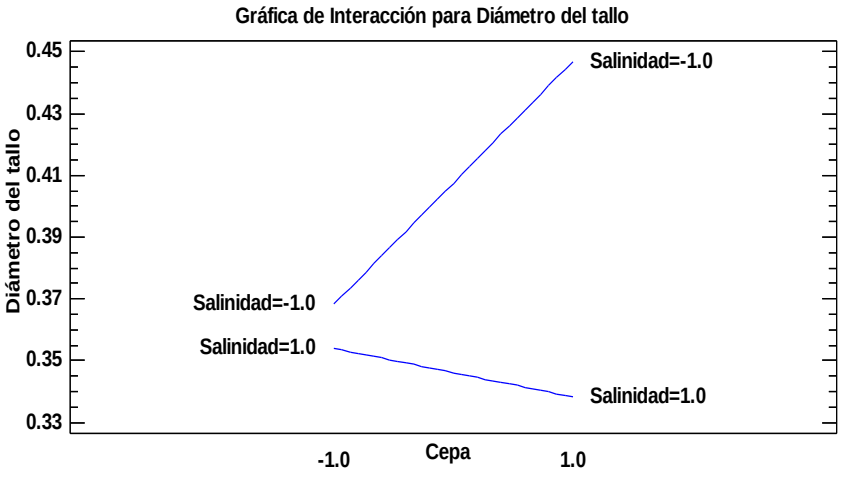

Figura 4. Interacción para la variable de respuesta diámetro de tallo

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el suelo utilizado presentó fertilidad elevada y condiciones fisicoquímicas favorables, por lo que las respuestas observadas en papa var. Fianna pueden asociarse principalmente con los efectos de la inoculación y la salinidad inducida. La inoculación con *Rhizobium* sp. ACO-34A favoreció significativamente la elongación del tallo y la emisión de hojas durante el crecimiento inicial, especialmente bajo condiciones sin NaCl añadido y con salinidad moderada. La interacción inoculación × salinidad fue significativa para longitud de tallo, mientras que en número de hojas y diámetro de tallo mostró una tendencia cercana al nivel de significancia. El diámetro de tallo estuvo determinado principalmente por la concentración de NaCl, con una tendencia de reducción asociada al incremento de la salinidad. En conjunto, estos resultados indican que la cepa ACO-34A promueve el crecimiento vegetativo inicial de papa bajo condiciones de salinidad baja a moderada, aunque su efecto tiende a reducirse conforme aumenta la concentración de NaCl. Este comportamiento es compatible con procesos de promoción del crecimiento vegetal atribuidos a PGPR, incluyendo regulación hormonal, mejora de la homeostasis iónica y activación de respuestas antioxidantes. Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos respaldan el potencial de *Rhizobium* sp. ACO-34A como componente de estrategias de biofertilización sostenible en sistemas de cultivo de papa afectados por salinidad y justifican su evaluación posterior en condiciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

De La Torre-Ruiz, N., Ruiz Valdiviezo, V. M., Rincón Molina, C. I., Rodríguez Mendiola, M., Arias Castro, C., Gutiérrez Miceli, F. A., & Rincón Rosales, R. (2016). Effect of plant growth-promoting bacteria on the growth and fructan production of Agave americana L. Brazilian Journal of Microbiology, 47, 587-596. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.010

FAO (2025). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Base de datos estadísticos de FAOSTAT

Flores López, R., López Delgado, H. A., & Sotelo Ruiz, E. D. (2024). *Tubérculo-semilla de papa en invernadero*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

García-Pérez, L. G., Rincón-Molina, C. I., Martínez-Romero, E., Rogel, M. A., Tapia-Torres, Y., Manzano-Gómez, L. A., Maldonado-Gómez, J. C., Rincón-Molina, F. A., & Rincón-Rosales, R. (2024). Genomic insights and plant growth-promoting potential of rhizobial strains from *Agave americana*. Horticulturae, 10(12), 1370. https://doi.org/10.3390/horticulturae10121370

Ghidawi, J. S, Ghazala, I., Haddar, A., Bouazizi, O., Gargouri Bouzid, R., & Nouri Ellouz, O. (2024). Effect of the Plant Growth-Promoting Bacteria Strain *Bacillus mojavensis* I4 on Potato Growth, Physiology, Tuber Yield, and Quality Under Salt Stress Conditions. *Potato Research*, 1-23. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3883973/v1

Hanifah, N. A. S. binti, Ghadamgahi, F., Ghosh, S., Ortiz, R., Whisson, S. C., Vetukuri, R. R., & Kalyandurg, P. B. (2023). Comparative transcriptome profiling provides insights into the growth promotion activity of *Pseudomonas fluorescens* strain SLU99 in tomato and potato plants. Frontiers in Plant Science, 14, 1141692. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141692

Jaiswal, S. K., Mohammed, M., Ibny, F. Y., & Dakora, F. D. (2021). Rhizobia as a source of plant growth-promoting molecules: potential applications and possible operational mechanisms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 619676. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.619676

Kazimierczak, R., Średnicka-Tober, D., Hallmann, E., Kopczyńska, K., & Zarzyńska, K. (2019). The impact of organic vs. conventional agricultural practices on selected quality features of eight potato cultivars. Agronomy, 9(12), 799. https://doi.org/10.3390/agronomy9120799

Koch, M., Judd, A., Gutsch, A., & Paul, J.-Y. (2020). The importance of nutrient management for potato (Solanum tuberosum L.). *Potato Research*, 63, 135–152. https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2

Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N. K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants: Recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research, 252,* 126861. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861

SADER. (2021). *Mapa agrícola de afectación por salinidad en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/mapa-agricola-de-afectacion-por-salinidad-en-mexico

Sánchez-Bernal, E., Ortega Escobar, M., González Hernández, V., Camacho Escobar, M., & Kohashi Shibata, J. (2008). Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. Interciencia, 33(9), 643-650.

Shahid, M., Altaf, M., & Danish, M. (2024). Halotolerant exopolysaccharide-producing *Rhizobium azibense* increases the salt tolerance mechanism in *Phaseolus vulgaris* L. by improving the growth, ion homeostasis, and antioxidant defensive enzymes. *Chemosphere*, 142431. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142431

Tahir, M., Ahmad, I., Shahid, M., Shah, G. M., Farooq, A. B. U., Akram, M., ... & Zakir, A. (2019). Regulation of antioxidant production, ion uptake and productivity in potato (*Solanum tuberosum* L.) plant inoculated with growth promoting salt tolerant *Bacillus* strains. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *178*, 33-42. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.027

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

FRESA *(FRAGARIA)* VARIEDAD FRONTERA EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO EN SIMBIOSIS CON *Trichoderma* PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Pablo Román Rivera Cortez[1]; Héctor Ángel Jaral Hernandez[1]; Keyla Alejandra Piñones Ramírez[1]; Mabiel Reyes Fuentes[2]; Anabel Flores Lee[3]; Berenice Rivera Cortez[2]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3] Maestría en Ciencias Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Abasolo, Guanajuato CP. 36976, México, [2]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio evaluó el desarrollo de la fresa (*Fragaria*) variedad Frontera en un sistema acuapónico de baja intensidad (SABI) en simbiosis con *Trichoderma yunnanense*, con el objetivo de analizar su comportamiento vegetativo bajo un modelo de agricultura sustentable. El experimento se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de México, campus Roque, utilizando un diseño completamente al azar con 48 plantas, de las cuales 24 fueron inoculadas con *Trichoderma* y 24 no recibieron inoculación. Se evaluaron variables de crecimiento durante seis semanas, considerando altura de planta, grosor de tallo, número de hojas y floración. Los resultados del análisis de varianza indicaron que el factor fecha presentó efectos significativos en altura, grosor de tallo y número de hojas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$), mientras que el tratamiento con *Trichoderma* y la interacción fecha × tratamiento no mostraron diferencias estadísticamente significativas. En la comparación de medias, se observó una disminución en las variables de crecimiento entre la primera y segunda evaluación. En conclusión, el sistema acuapónico permitió el establecimiento del cultivo, con la inoculación con *Trichoderma yunnanense*.

Palabras claves: *Fresa (Fragaria), sistema acuapónico, Trichoderma, agricultura sustentable, control biológico*

ABSTRAC

This study evaluated the growth performance of strawberry (*Fragaria*) cultivar Frontera in a low-intensity aquaponic system in symbiosis with *Trichoderma yunnanense*, aiming to analyze its vegetative development under a sustainable agriculture model. The experiment was conducted at Tecnológico Nacional de México, Roque campus, using a completely randomized design with 48 plants; 24 were inoculated with *Trichoderma* and 24 served as non-inoculated controls. Growth variables including plant height, stem diameter, number of leaves, and flowering were assessed over a six-week period. Analysis of variance showed that the evaluation date had a significant effect on plant height, stem diameter, and leaf number ($p<0.05$ and $p<0.01$). However, *Trichoderma*

treatment and the interaction between date and treatment were not statistically significant. Mean comparisons revealed a reduction in growth parameters between the first and second evaluations. In conclusion, the aquaponic system supported crop establishment, although *Trichoderma yunnanense* inoculation.

Keywords: Strawberry (*Fragaria*), aquaponic system, *Trichoderma*, sustainable agriculture, biological control.

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria)* es una planta perene de la familia rosacea, valorada por su contenido nutricional, es uno de los frutos rojos con mayor importancia a nivel mundial debido a su sabor, valor nutricional y demanda en fresco e industria. México se posiciona como el tercer productor mundial, con 700 mil toneladas en el año 2025; Siendo Baja California, Michoacán y Guanajuato los principales estados productores, (*Blueberries Consulting,* 2025). Las variedades comerciales más utilizadas son Camarosa, Festival y Albion, clasificadas por su respuesta al fotoperiodo en día corto y día neutro, sin embargo para este proyecto utilizamos la variedad Frontera que tiene el mismo ciclo que las otras variedades comerciales. La producción enfrenta retos fitosanitarios importantes, principalmente hongos como *fusarium, Phytophthora y Verticillium* que reducen rendimiento y calidad (Ficha técnica Frontera 1, s.f.).

La acuaponía combina acuicultura e hidroponía, donde los desechos de los peces son transformados por bacterias nitrificantes en nutrientes para las planta, este sistema biointegrador de recirculación, es una alternativa sustentable porque reduce hasta 90% el uso de agua comparado con agricultura tradicional y elimina el uso de fertilizantes sintéticos. En cultivos hortícolas como lechuga y albahaca ha mostrado resultados positivos, sin embargo, su implementación en frutillas como la variedad de fresa que se transplantó es reciente y presenta desafíos por la alta demanda nutrimental del cultivo. Este sistema acuapónico incluye un estanque de peces, biofiltros y tubos de cultivo, que funcionan en un ciclo cerrado y eficiente (Portillo, s.f.). El estudio de Fernandez-Cabanas et al., 2022, evalúa la producción temprana de fresa en sistemas acuapónicos utilizando bandas hidropónicas comerciales. Analiza el desempeño del cultivo dentro de un sistema de economía circular, destacando la eficiencia en el uso de recursos y la viabilidad técnica del sistema. Concluye que la acuaponía puede ser una alternativa sostenible para la producción de fresa bajo condiciones controladas. En otro estudio se evaluó el cultivo de fresa en sistemas acuapónicos con diseño factorial, analizando el efecto de la suplementación con boro y el uso de sustrato. Se analizaron parámetros de crecimiento y composición mineral. Los resultados muestran que el sistema acuapónico puede sostener el desarrollo del cultivo y modificar la composición nutrimental del fruto dependiendo del manejo del sistema, Romano & Fischer, 2022.

Trichoderma yunnanense es un hongo benéfico que actúa como agente de control biológico, que mejora el crecimiento vegetal y protege contra patógenos. Este es un hongo benéfico de vida libre. Tambien, actúa por micoparasitismo, antibiosis, competencia por espacio/nutrientes e inducción de resistencia sistémica en la planta. En fresa se ha reportado que *T. harzianum* y *T. asperellum* reducen la incidencia de *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinerea* además de incrementar biomasa, contenido de clorofila y rendimiento de fruto. Su uso en sistemas acuapónicos es poco estudiado, pero representa una alternativa para manejar patógenos sin químicos (Revista Cultivar, s.f.). En un estudio se evaluó varias especies de *Trichoderma* contra patógenos causantes de pudrición de raíz en fresa (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*). Los tratamientos redujeron significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad, además de mejorar parámetros de crecimiento y rendimiento, (El-Fiki & Ahmed, 2017), por lo tanto el objetivo de este trabajo fue conocer como se desarrolla la fresa (*fragaria*) variedad Frontera en un sistema acuapònico y la importancia del uso de microorganismos benéficos como Trichoderma representan una alternativa innovadora. Este trabajo analiza la integración de ambos enfoques en el cultivo de la fresa, destacando sus beneficios, funcionamiento y relevancia actual, para apoyar a la agricultura organica sostenible y sustentable, dandole una otra alternativa mas para la soberania agroalimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizo dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de Mexico, campus Roque es una institución de educación superior localizado en Roque, en Celaya, Gto; en una area compartida con el CETAC (Centro de Estudios Tecnológico de Aguas Continentales).,en un sistema acuapònico de baja intensidad (SABI), en el cuál se sembraron 48 plantas de fresa (*fregaria)* de la variedad Frontera, en vasos de 8 onzas a los cuales se les hicieron orificios y se les agregó tres tipos de sustratos que fueron tezontle, fibra de coco y perlita, posteriomente se transplantó la fresa en un diseño experimental completamente al azar en donde 24 plantas se inocularon con *trichoderma yunnanense* y 24 plantas se les dejaron sin el hongo y de ahi se hicieron observaciones fenológicas un día a la semana por las siguientes tres semanas para contabilizar su crecimiento y desarrollo, posteriormente se realizó una segunda inoculación y se repitio el proceso de observacion fenológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) permitió evaluar el efecto de la fecha de evaluación, el tratamiento con *Trichoderma yunnanense* y su interacción, sobre las variables de crecimiento: altura de planta, grosor de tallo, número de hojas y presencia de floración.

Cuadro 1. Análisis de Varianza wn wl desarrollo de fresa variedad Frontera con agua de acuaponía.

Fuente	gl	Altura planta	Grosor tallo	Hojas	Flor
Fecha	1	21615.13031**	109.3369016*	564.7567233**	0.08148893ns
Tratamiento	1	1199.23724ns	3.8208762ns	0.5529016ns	0.08148893ns
Fecha*Tratamiento	1	490.22138ns	2.9882647ns	21.2535386ns	0.08148893ns

FV = Fuente de variación; gl = Grados libertad; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05).

Se observaron diferencias altamente significativas entre fechas para las variables altura de planta ($p<0.01$) y número de hojas ($p<0.01$), así como diferencias significativas en grosor de tallo ($p<0.05$). En contraste, la variable floración no presentó diferencias significativas ($p>0.05$). El factor tratamiento no mostró efecto estadísticamente significativo en ninguna de las variables evaluadas, al igual que la interacción fecha × tratamiento.

Cuadro 2. Comparación de medias por fecha en el cultivo de fresa variedad frontera.

Fecha	Altura planta	Grosor tallo	Hojas	Flor
1	93.363 a	4.990 a	17.375 a	2.18 a
2	58.950 b	2.547 b	11.853 b	2.00 a

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; 1 = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

En la comparación de medias por fecha, se identificó que en la primera evaluación las plantas presentaron valores superiores en altura (93.36), grosor de tallo (4.99) y número de hojas (17.37), en comparación con la segunda evaluación, donde se registraron valores menores (altura: 58.95; grosor: 2.54; hojas: 11.85). En el caso de la floración, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre fechas. Cuadro 2

Cuadro 3. Comparación de medias por tratamiento en el desarrollo de fresa variedad frontera.

Fecha	AP	GT	H	F
TE	82.436 a	4.156 a	15.056 a	2.3750 a
T1	72.924 a	3.595 a	14.632 a	2.0000 a

Los valores en la misma columna con las mismas letras son estadísticamente iguales; TE = Plantas con *Tricoderma*; T1= Plantas sin *Tricoderma*; AP= Altura de planta; GT = Grosor de Tallo; H = Hojas; F = Flores.

Respecto a la comparación de medias por tratamiento, no se observaron diferencias significativas entre las plantas inoculadas con *Trichoderma* (TE) y las plantas sin inoculación (T1). Aunque numéricamente el tratamiento TE presentó valores ligeramente superiores en altura, grosor de tallo, número de hojas y floración, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Cuadro 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Segun Mixquititla-Casbis et al. (2020), que hace una evaluacion del cultivo de la fresa en acuaponia el indica que en el resultado de varianza hay un efecto positivo sobre las diferentes variables de crecimiento en el cual coincide con las mediciones que se dieron a lo largo de su tratamiento esto nos dice que los resultados son similares a las variables que se utilizaron en este caso las cuales fueron altura de planta ,grosor de tallo, altura de tallo y numero de hojas estas obtuvieron resultados positivos ya que en este caso se utilizo *trichoderma yunnanense,* ademas auque no se muestrea estadisticamente se obtuvieron varios frutos.

El cultivo de fresa (Fragaria) variedad Frontera en sistema acuapónico de baja intensidad mostró un desarrollo vegetativo influenciado principalmente por el factor temporal. De acuerdo a los resultados sugieren que el sistema acuapónico es viable para el establecimiento del cultivo, y que la integración de microorganismos benéficos representa una estrategia potencial dentro de modelos de agricultura sustentable. Se recomienda ampliar el tiempo de evaluación, incluir variables de rendimiento y análisis microbiológicos del sustrato y agua, con el fin de determinar con mayor precisión el impacto de la simbiosis entre el sistema acuapónico y *Trichoderma* en el desarrollo y productividad del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blueberries Consulting. (2025, febrero 11). *Se prevé que la producción de berries de México aumente en 2025 y las exportaciones alcancen las 752 mil toneladas métricas*. Blueberries Consulting. https://blueberriesconsulting.com/se-preve-que-la-produccion-de-berries-de-mexico-aumente-en-2025-y-las-exportaciones-alcancen-las-752-mil-toneladas-metricas/

El-Fiki, I. A. I., & Ahmed, M. F. A. (2017). Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. *Research Journal of Applied Sciences, 7*(3), 482–492.

Fernandez-Cabanas, V. M., Delgado, A., Lobillo-Eguíbar, J. R., & Pérez-Urrestarazu, L. (2022). Early production of strawberry in aquaponic systems using commercial hydroponic bands. *Aquacultural Engineering, 97*, 102242. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.10224

Ficha técnica frontera 1. (s. f.). Scribd. https://es.scribd.com/document/744496572/FICHA-TECNICA-FRONTERA-1

Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H., & Cardoso-Taketa, A. T. (2020). *Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1337-1348. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329

Portillo, G. (s.f.). *Descubre el potencial de la acuaponía: cómo funciona y sus beneficios*. Renovables Verdes. https://www.renovablesverdes.com/acuaponia/

Revista Cultivar. (s.f.). *Trichoderma yunnanense*. Revista Cultivar. https://revistacultivar-es.com/fitossanidade/trichoderma-yunnanense

Romano, N., & Fischer, H. (2022). Aquaponic production of strawberries and their mineral and sugar composition when supplemented with or without boron and cultured with or without media. *Preprints*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1939072/v1

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

GERMINACIÓN DE *Physalis ixocarpa* EN SUSTRATO DE COMPOSTA CON EFLUENTE ACUÍCOLA

Frida Estrada Bernardo[1]; Ramsés García Moreno[1]; Juan Abisai Patiño Salinas[1]; Mabiel Reyes Fuentes[2]; Jesús David Joaquín Cuarenta[2]; José Gómez Espinoza[2]; Berenice Rivera Cortez[3]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [2] Ingeniería en Hidrológica, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Doctorado en Ciencias de Producción, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio evaluó el crecimiento inicial de *Physalis ixocarpa* mediante el uso de composta como sustrato, comparando el riego con agua de pozo (agua normal) frente al uso de efluente acuícola. Se analizaron variables de altura y ancho del tallo en un total de 129 plántulas, distribuidas en 60 bajo el tratamiento con agua normal y 69 bajo el tratamiento con efluente. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas en la altura promedio entre tratamientos ($p < 0.05$), observándose un mayor desarrollo en las plántulas irrigadas con efluente acuícola. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de efluentes en sistemas de producción puede favorecer el crecimiento inicial del cultivo, contribuyendo a estrategias agrícolas más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa*, composta, efluente acuícola, germinación, sostenibilidad.

ABSTRACT

This study evaluated the initial growth of *Physalis ixocarpa* using compost as a growing medium and comparing irrigation with well water (normal water) versus aquaculture effluent. Height and stem diameter were measured in a total of 129 seedlings, distributed as 60 under the normal water treatment and 69 under the effluent treatment. The results showed statistically significant differences in average plant height between treatments ($p < 0.05$), with greater growth observed in seedlings irrigated with aquaculture effluent. These findings suggest that the use of effluent may enhance early plant development under a sustainable production approach.

Keywords: *Physalis ixocarpa*, compost, aquaculture effluent, germination, sustainability

INTRODUCCIÓN

El tomatillo (*Physalis ixocarpa*) es una especie herbácea de ciclo relativamente corto que forma parte fundamental de la agricultura y la gastronomía mexicana desde épocas antiguas. Su cultivo representa una actividad económica relevante, ya que México figura entre los principales productores a nivel mundial, con volúmenes que superan las 700 mil toneladas anuales. La producción se concentra principalmente en estados como Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Michoacán y Puebla, donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo. Además, este producto tiene importancia comercial internacional, ya que es exportado principalmente a Estados Unidos y Canadá, debido a la alta demanda de ingredientes utilizados en la cocina tradicional mexicana (SADER, s.f.).

El tomatillo también posee importancia nutricional y funcional, ya que es fuente de vitamina C, compuestos fenólicos y antioxidantes que contribuyen a la alimentación humana. Además, contiene minerales esenciales y fibra dietética, lo que incrementa su valor dentro de la dieta tradicional mexicana. De acuerdo con Ciencias Agrícolas, el interés por este cultivo ha aumentado debido a su potencial económico y nutricional. Medina-Medrano *et al*. (2021) destacan que los frutos de *Physalis ixocarpa* presentan compuestos bioactivos con capacidad antioxidante y propiedades benéficas para la salud.

Comprender el proceso de germinación es esencial para obtener plántulas vigorosas y uniformes. La germinación inicia cuando la semilla absorbe agua, activando procesos metabólicos internos que permiten el desarrollo del embrión. Durante esta etapa ocurre la movilización de reservas nutritivas, lo que da lugar primero a la emisión de la radícula y posteriormente al crecimiento del tallo y las primeras hojas. Para que este proceso ocurra de manera eficiente, se requieren condiciones ambientales adecuadas, como humedad constante, temperatura óptima entre 20 y 30 °C, disponibilidad de oxígeno y un medio de cultivo que proporcione buena aireación y drenaje. En este contexto, la composta representa una alternativa adecuada como sustrato, ya que mejora la estructura física del medio de crecimiento, favorece la retención equilibrada de agua y aporta nutrientes esenciales que apoyan el establecimiento inicial de la planta (Han *et al*., 2021).

La implementación de estrategias sostenibles en la producción agrícola es cada vez más necesaria. Una alternativa viable es la utilización de efluentes provenientes de sistemas acuícolas, los cuales contienen nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos elementos pueden ser aprovechados por las plantas, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y promoviendo la integración de sistemas productivos. La reutilización del efluente contribuye al uso eficiente del agua y al cierre de ciclos de nutrientes dentro de un enfoque de producción más responsable (Troche Arias *et al*., 2021).

Asimismo, el uso de fertilización orgánica y biofertilizantes en la producción de plántulas puede mejorar el crecimiento vegetal y reducir el impacto ambiental generado por fertilizantes químicos. Ramos-González *et al*. (2020) señalan que los sustratos orgánicos favorecen la absorción de nutrientes, estimulan el crecimiento radicular y mejoran la calidad de las plántulas en etapas tempranas de desarrollo.

El uso de composta como sustrato también ofrece ventajas importantes en el establecimiento de plántulas (Hernández-Rodríguez *et al*., 2020). La adición de composta incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejora la retención de nutrientes y favorece las propiedades físicas del sustrato utilizadas en el establecimiento de plantas Debido a su origen orgánico, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio de cultivo, incrementando la actividad microbiana y facilitando la disponibilidad gradual de nutrientes (Montoya-Jasso *et al*., 2021). Los materiales orgánicos utilizados como componentes de sustrato contribuyen al desarrollo adecuado de plántulas y representan una alternativa sostenible al aprovechamiento de residuos orgánico, Además, favorece el desarrollo del sistema radicular y contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo al aprovechar residuos orgánicos transformados en un recurso útil (Acevedo-Alcalá *et al*., 2020).

Por otra parte, la integración de sistemas acuícolas y agrícolas mediante el aprovechamiento de efluentes permite optimizar recursos y avanzar hacia modelos de producción sustentable. Según Goddek *et al*. (2019), los sistemas integrados acuapónicos reducen el desperdicio de agua y permiten reutilizar nutrientes provenientes de la actividad acuícola, favoreciendo la sostenibilidad agrícola y ambiental. El objetivo de este proyecto fue evaluar el desarrollo inicial del tomatillo utilizando composta como sustrato y comparando el uso de agua de pozo con efluente acuícola. Se busca determinar si el efluente favorece la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas, integrando prácticas que optimicen el uso de recursos y promuevan un sistema de producción más sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones controladas de Invernadero que se encuentra en la unidad de Acuacultura en el Tecnológico Nacional de México Campus Roque; Se utilizaron semillas certificadas de *Physalis ixocarpa* con buena viabilidad y uniformidad. Se evaluaron los siguientes tratamientos: T1: Riego con agua de pozo + sustrato de composta; T2: Riego con efluente acuícola + sustrato de composta.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, altura de plántula y ancho de tallo. Los datos obtenidos se

analizaron mediante pruebas estadísticas en sistema estadístico SAS 9.4, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias altamente significativas en los tratamientos para la variable altura, en el caso de los tratamientos para la variable ancho de tallo fueron no significativas (cuadro 1). El uso de composta como sustrato permitió un desarrollo adecuado de las plántulas, favoreciendo la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables ancho de tallo y altura de tomate de cáscara.

Fuente	GL	AT	AP
Tratamiento	1	0.09633333^{ns}	1496.720333**
Repetición	2	0.27700000^{ns}	9.151000^{ns}
Error	26	0.16433333	10.199410
C.V.		28.34	10.97

FV = Fuente de variación; gl = Grados libertad; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$): ** = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); ns = No significativo ($P \geq 0.05$)

Para la comparación de medias encontramos que el tratamiento de agua de pez en la variable de altura tuvo el valor mas alto, para el caso de la variable ancho de tallo no se mostraron diferencias entre tratamientos (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables ancho de tallo y altura de tomate de cáscara.

Tratamiento	AT	AP
Agua normal	1.4867a	22.027b
Agua de pez	1.3733a	36.153^{a}

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.

Esto demuestra que el uso de efluente acuícola incrementó significativamente la altura de las plántulas en comparación con el riego con agua normal. En el análisis estadístico completo del ancho del tallo, los datos descriptivos muestran una tendencia mayor en el tratamiento con efluente, lo que sugiere mejor desarrollo estructural de las plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que el uso de efluente acuícola favorece significativamente el crecimiento en altura de *Physalis ixocarpa* cuando se utiliza composta como sustrato. Este comportamiento puede atribuirse al aporte adicional de nutrientes como nitrógeno y fósforo presentes en el efluente, los cuales estimulan el crecimiento

vegetativo. Se valida lo que menciona Han *et al*. (2021) explican que la germinación de semillas está regulada por factores como la temperatura, el agua, los nutrientes y las fitohormonas, los cuales influyen directamente en el desarrollo inicial de la planta. La composta contribuye a mejorar las propiedades físicas del medio de cultivo, facilitando la aireación y retención equilibrada de humedad, lo que crea condiciones favorables para la absorción de nutrientes. La combinación de composta y efluente acuícola representa un sistema integrado que optimiza recursos y promueve prácticas agrícolas sostenibles.

Estos resultados respaldan la importancia de implementar estrategias de reutilización de recursos en sistemas productivos, contribuyendo al cierre de ciclos de nutrientes y al desarrollo de modelos agrícolas más eficientes. Troche Arias *et al*. (2021) mencionan que la reutilización de efluentes en sistemas hidropónicos puede contribuir al aprovechamiento eficiente de nutrientes y agua. Durante el tratamiento del proyecto con efluente acuícola comprobamos que se produjo un crecimiento significativamente mayor en altura. La composta funcionó adecuadamente como sustrato para el establecimiento de plántulas. La integración de composta y efluente acuícola representa una alternativa viable y sostenible para la producción de tomatillo. Los resultados apoyan la implementación de sistemas productivos con enfoque de economía circular

CONCLUSIONES

El empleo combinado de efluentes acuícolas con materia orgánica, representa una alternativa en la producción de las plantas.

El trasplante de plantas con el procedimiento empleado fue eficiente, lo que representa una oportunidad para una agricultura sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo-Alcalá, P., Taboada-Gaytán, O. R., & Cruz-Hernández, J. (2020). *Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato*. Acta Agronómica, 69(3), 234–240. https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508

Barros, J. R. A., Angelotti, F., Santos, J. O., Silva, R. M., Dantas, B. F., & Melo, N. F. (2020). *Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 14(2). https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10339

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Han, Z., Ku, L., Zhang, Z., Zhang, J., Guo, S., Liu, H., Zhao, R., Ren, Z., & Chen, Y. (2021). *The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones, and nutrients*. Crop Journal, 9(3), 588–605. https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.11.005

Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2020). *Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. Tecnociencia Chihuahua, 4(1), 1–6. https://doi.org/10.54167/tch.v4i1.719

Cifuentes-Torres, L. C., Correa-Reyes, G. C., & Sánchez, J. E. (2021). *Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics?* Frontiers in Plant Science, 12, 669984. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984

Martínez-Antonio, E. M., Magallón-Barajas, F., Racotta, I. S., Santiago-Martínez, G. M., & Castañeda-Hidalgo, E. (2022). *Nutrientes residuales de sistemas acuícolas para la integración a sistemas agrícolas*. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 9(2), 45-56.

Medina-Medrano, J. R., Almaraz-Abarca, N., González-Elizondo, M. S., & Herrera-Arrieta, Y. (2021). Contenido fenólico y capacidad antioxidante en frutos de Physalis ixocarpa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(4), 745–754.

Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). *Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta*. Terra Latinoamericana, 39. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601

Ramos-González, R. H., García-López, J. I., Preciado-Rangel, P., & Sánchez-Chávez, E. (2020). Uso de sustratos orgánicos en la producción de plántulas hortícolas. Terra Latinoamericana, 38(3), 561–570.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (s.f.). *Información estadística agrícola nacional*. Gobierno de México

Troche Arias, G. A., Duré, G., Velázquez Decoud, L., & López Arias, T. R. (2021). *Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de Lactuca sativa*. Revista de la Sociedad Científica del Paraguay, 26(1), 35-49. https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.1.35

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

GERMINACIÓN DE TOMATILLO (*Physalis ixocarpa*) EN SUSTRATO DE FIBRA DE COCO CON EFLUENTE ACUÍCOLA

Ricardo Huerta Ruiz[1], Luis Alonso Flores Sanchez[1], Blanca Estrella Ramírez López[1], Braulio García Meza[1], Mabiel Reyes Fuentes[2], Jesús David Joaquín Cuarenta[2], José Gómez Espinoza[2], Berenice Rivera Cortez[3]

[1]Estudiante de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México. [2] Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [2] Ingeniería en Hidrológica, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, Doctorado en Ciencias de Producción, Tecnológico Nacional de México, Roque, Celaya, Guanajuato, C.P 38110, México, [3]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Autor de correspondencia: berenice.rc@roque.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

El tomatillo, conocido científicamente como *Physalis ixocarpa,* es una planta herbácea, es decir, no tiene un tallo leñoso como los árboles. Su crecimiento es relativamente rápido. Originaria de México que ha sido parte importante de la alimentación desde tiempos prehispánicos. Se produce en grandes cantidades cada año, lo que demuestra su importancia económica, alimentaria y cultural. México es uno de los principales productores de este cultivo a nivel mundial, con una producción anual que supera las 700 mil toneladas. Los principales estados productores son Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Michoacán y Puebla, donde las condiciones climáticas favorecen su desarrollo. Además, el tomate verde mexicano también se exporta principalmente a Estados Unidos y Canadá, países donde existe una alta demanda debido al consumo de alimentos tradicionales mexicanos (SADER, 2023).

Para lograr una buena producción de tomatillo, es necesario comprender desde el inicio cómo ocurre el desarrollo de la planta, especialmente durante la etapa de germinación. La cual es el proceso biológico mediante el cual la semilla inicia su crecimiento al activarse metabólicamente, dando origen a una nueva planta. Comienza cuando la semilla absorbe agua, fenómeno conocido como imbibición, lo que provoca la activación de enzimas y el aprovechamiento de las reservas nutritivas almacenadas en el endospermo o cotiledones. Posteriormente, emerge la radícula, que será la primera raíz de la planta, seguida por el desarrollo del tallo y las primeras hojas verdaderas. Para que la germinación y emergencia del tomatillo ocurran de manera adecuada, la semilla necesita ciertas condiciones esenciales. Entre las más importantes se encuentran la disponibilidad de agua, ya que la humedad permite activar los procesos fisiológicos; una temperatura adecuada, que en el caso del tomatillo oscila entre 20 y 30 °C; oxígeno suficiente para la respiración celular; y un sustrato con buena aireación y drenaje, que evite el exceso de humedad y la pudrición de la semilla. Además, la semilla debe contar con buena viabilidad y vigor, es decir, estar sana, madura y libre de daños físicos o enfermedades.

La emergencia ocurre cuando la plántula logra atravesar la superficie del sustrato y queda expuesta a la luz, iniciando así la fotosíntesis. En esta etapa, factores como la profundidad de siembra, la textura del suelo y el manejo adecuado del riego son fundamentales para obtener plántulas uniformes y vigorosas, lo que influirá directamente en el rendimiento final del cultivo (INIFAP, 2017).

También es importante evaluar alternativas sostenibles que contribuyan a mejorar la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas de tomatillo. Una de estas alternativas es el uso de efluentes provenientes de sistemas acuícolas, ya que contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio que pueden ser aprovechados por las plantas durante su crecimiento. De acuerdo con Goddek *et al*. (2019), la reutilización del agua y de los nutrientes generados en los sistemas acuícolas favorece el crecimiento vegetal y permite optimizar el uso del agua dentro de sistemas de producción más sostenibles.

Asimismo, diversos estudios han demostrado que el aprovechamiento de efluentes acuícolas puede disminuir la necesidad de fertilizantes químicos, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y a la reducción del impacto ambiental. Cifuentes-Torres *et al*. (2021) mencionan que la integración entre acuicultura y agricultura representa una estrategia eficiente para fortalecer la producción sustentable y el uso racional de los recursos naturales.
De igual manera, el tipo de sustrato empleado influye directamente en la germinación y emergencia de las plántulas. La fibra de coco es un material orgánico ampliamente utilizado en horticultura debido a sus propiedades físicas, como su elevada capacidad de retención de humedad, buena aireación y adecuado drenaje. Según Gruda (2019), este sustrato favorece el desarrollo radicular y mejora las condiciones para el establecimiento inicial de las plantas.

Diversas investigaciones han demostrado que el uso de efluentes acuícolas en combinación con sustratos orgánicos puede favorecer el crecimiento y desarrollo de plántulas hortícolas. Danaher *et al*. (2016) evaluaron el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando sustratos parcialmente sustituidos con efluentes acuícolas deshidratados y observaron mejoras en el desarrollo radicular, acumulación de biomasa y crecimiento general de las plantas. Los autores concluyeron que los nutrientes presentes en el efluente pueden suplir parcialmente la fertilización comercial y mejorar las propiedades químicas del sustrato.

También se ha reportado que el uso de aguas residuales acuícolas puede mejorar la germinación y el crecimiento inicial de ciertos cultivos bajo condiciones controladas. García-Galindo *et al*. (2021) encontraron que los efluentes provenientes del cultivo de camarón aportaron nutrientes que favorecieron la germinación y el establecimiento inicial de plantas halófitas, demostrando el potencial de los efluentes acuícolas como alternativa sustentable para la producción vegetal. El evaluar el efecto del efluente acuícola en la germinación

y el crecimiento inicial de las plantas, además de promover el aprovechamiento de recursos residuales dentro de un enfoque sostenible orientado al cuidado del agua, la reutilización de nutrientes y el fortalecimiento de la soberanía alimentaria. Por ello, el objetivo de este proyecto fue producir plántulas de tomatillo comparando el uso de agua de pozo y efluente acuícola de pez, utilizando fibra de coco como sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizó dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, campus roque es una institución de educación superior localizado en la localidad de Roque, en el municipio de la ciudad de Celaya, en un área del proyecto de ACUACULTURA, con la dirección en Km.8, carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P. 38110, Celaya, GTO.

Para el presente proyecto, iniciamos haciendo el lavado de la charola de germinación para evitar restos de sustratos anteriores y otros contaminates, seguido de esto se llenaron las cavidades de la charola con el sustrato fibra de coco, teniendo las cavidades cubiertas, se depositaron una semilla por cavidad, seguido de esto se cubrió con otra capa del sustrato asegurándonos de que quedara bien cubierto para evitar que la semilla flotara fuera de la charola, con marcadores se etiquetaron las charolas y en un costado se señaló específicamente el tratamiento agua de pez y en la parte restante agua simple, terminado este proceso los riegos eran continuos, ya que la fibra de coco requiere un mayor humedad. Los tratamientos evaluados fueron: T1: Riego con agua de pozo + sustrato de fibra de coco, T2: Riego con efluente acuícola + sustrato de fibra de coco.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, altura de plántula y ancho de tallo. Los datos obtenidos se analizaron mediante pruebas estadísticas en sistema estadístico SAS 9.4, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias altamente significativas en los tratamientos para la variable altura, en el caso de los tratamientos para la variable ancho de tallo fueron no significativas (cuadro 1). El uso de fibra de coco como sustrato permitió un desarrollo adecuado de las plántulas, favoreciendo la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

Cuadro 1. Análisis de varianza para variables ancho tallo y altura.

F.V	GL	AT	AP
Tratamiento	1	0.52411392**	619.2648101 **
Repetición	4	0.00377832ns	27.8423444ns
Error	34	0.02719518	24.145814
C.V.		19.92	26.01

F.V = Fuente de variación; GL = Grados libertad; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo.; CV (%) = Coeficiente de variación; * = Diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05): ** = Diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01); ns = No significativo (P≥ 0.05)

Para la comparación de medias encontramos que el tratamiento de agua de pez en la variable de altura tuvo el valor más alto, para el caso de la variable ancho de tallo también se mostraron diferencias entre tratamientos (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables ancho de tallo y altura en sustrato de fibra de coco.

Tratamiento	AT	AP
Agua normal	0.71905 b	15.229 b
Agua de pez	0.94737 a	22.937 a

Los valores en la misma columna con las diferentes letras son estadísticamente significativos; AP= Altura de planta; AT = Altura de Tallo

El análisis mostró que el tipo de agua utilizada influyó significativamente en el ancho de tallo y la altura de las plantas cultivadas en fibra de coco. En ambas variables, el tratamiento con agua de pez fue estadísticamente superior al tratamiento con agua normal. En la comparación de medias, el agua de pez registró un mayor ancho de tallo y mayor altura, mientras que el agua normal presentó valores de 0.71905cm y 15.229 cm, respectivamente. Las diferentes confirman que las diferencias entre tratamientos son significativas. En conclusión, el uso de agua de pez promovió un mejor crecimiento de las plantas en comparación con el agua normal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sugieren que la fibra de coco constituye un sustrato adecuado para la germinación de *Physalis ixocarpa*, debido a sus propiedades físicas y biológicas. Además, la integración del efluente acuícola puede representar una estrategia eficiente para mejorar la nutrición inicial de las plántulas, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos lo cual confirman lo que Gruda (2019) menciona que la fibra de coco es uno de los sustratos más utilizados en horticultura debido a sus propiedades físicas, como alta porosidad, adecuada retención de humedad y buena aireación, características que favorecen el desarrollo de raíces y la producción uniforme de plántulas. Además, este material puede combinarse eficientemente con soluciones nutritivas orgánicas o efluentes ricos en nutrientes provenientes de sistemas acuícolas.

Estudios recientes sobre producción de plántulas de tomate cherry utilizando aguas residuales provenientes de sistemas acuícolas recirculantes y mezclas con fibra de coco mostraron resultados favorables en el vigor y establecimiento de las plántulas. De acuerdo con Silva *et al*. (2025), los tratamientos que incluyeron fibra de coco presentaron mejores condiciones de humedad y desarrollo radicular, debido a la capacidad de este material para mantener aireación y retención de agua adecuadas durante la germinación y emergencia. Estos resultados obtenidos coinciden con los estudios antes mencionados que destacan la importancia del reciclaje de nutrientes en sistemas integrados de producción, promoviendo un uso más eficiente del agua y los recursos disponibles. La combinación de fibra de coco y efluente acuícola puede contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles.

CONCLUSIONES

El uso de la fibra de coco como sustrato favorece la germinación y el establecimiento inicial de plántulas de tomatillo. Asimismo, la aplicación de efluente acuícola representa una alternativa sostenible que puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y optimizar el uso de recursos. La integración de estas prácticas puede contribuir al fortalecimiento de sistemas productivos más eficientes y ambientalmente responsables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cifuentes-Torres, L. C., Correa-Reyes, G. C., & Sánchez, J. E. (2021). *Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics?* Frontiers in Plant Science, 12, 669984. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984

Danaher, J. J., Pickens, J. M., Sibley, J. L., Chappell, J. A., Hanson, T. R., & Boyd, C. E. (2016). *Tomato seedling growth response to different water sources and a substrate partially replaced with dewatered aquaculture effluent*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 5, 25–32. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0114-x

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Gruda, N. (2019). *Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems*. Agronomy, 9(6), 298. https://doi.org/10.3390/agronomy9060298.

García-Galindo, E., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Lucero-Vega, G., Murillo-Amador, B., Ruiz-Espinoza, F. H., & Fraga-Palomino, H. C. (2021). *Germination of Salicornia bigelovii under shrimp culture effluents and the application of vermicompost leachate for mitigating salt stress*. Agronomy, 11(3), 424. https://doi.org/10.3390/agronomy11030424

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Gruda, N. (2019). *Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems*. Agronomy, 9(6), 298. https://doi.org/10.3390/agronomy9060298

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2017). Tecnología para la producción de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) en México. INIFAP. https://www.inifap.gob.mx/

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Tomate verde mexicano: producción nacional y exportación. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura

Silva, R. M., Souza, L. A., Pereira, D. S., & Oliveira, J. P. (2025). *Seedling production of cherry tomato (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) on different substrates using wastewater from a recirculating aquaculture system*. ResearchGate preprint.