TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

EVALUACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE APIO (*Apium graveolens*)

Marycarmen Acosta-Guerrero[1]; Lourdes Ledesma-Ramírez[2]; Jesús Frías-Pizano[1], Fátima Sierra-Nieto[3]

[1]TecNM-Roque, Celaya, Guanajuato, México, C.P. 38110. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Celaya San Miguel Allende km. 6.5. Celaya, Guanajuato, México, CP. 38110. México. [3]Invernadero Johnny Greenhouse. Juventino Rosas, Guanajuato, México, CP. 38255. México. Autor de correspondencia: acostagmarycarmen@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo evaluó el uso de biofertilizantes a base de micorrizas y otros microorganismos benéficos en la producción de plántulas de apio (*Apium graveolens*) bajo condiciones controladas de vivero. El objetivo fue determinar si la inoculación mejora la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas, etapa clave para lograr cultivos sanos y productivos. El ensayo se realizó en un invernadero de plántula, comparando dos tratamientos: uno con biofertilizantes y otro sin ellos (control). Se utilizaron charolas plásticas de germinación y un sustrato enriquecido, y se evaluaron variables como el porcentaje de germinación, altura de plántula, número de hojas, grosor del tallo y peso de raíces y parte aérea. Aunque la germinación fue ligeramente mayor en el tratamiento con biofertilizantes (87.7% frente a 82.7%), las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, el crecimiento vegetativo mostró mejoras significativas en las plántulas inoculadas: mayor altura, más hojas, tallos más gruesos y mayor peso total. Esto indica que los microorganismos aplicados favorecieron la absorción de nutrientes y el desarrollo estructural de las plantas. Como conclusión, el uso de biofertilizantes en la producción de plántulas de apio representa una estrategia efectiva y sostenible, al reducir la necesidad de fertilizantes químicos y mejorar la calidad del cultivo desde etapas tempranas. Este tipo de prácticas aporta beneficios agronómicos y ambientales, alineándose con los objetivos de una agricultura más eficiente y responsable.

***Palabras clave**: simbiosis, sostenibilidad, desarrollo vegetal, vivero.*

ABSTRACT

This study evaluated the use of biofertilizers based on mycorrhizae and other beneficial microorganisms in the production of celery (*Apium graveolens*) seedlings under controlled nursery conditions. The objective was to determine whether inoculation improves germination and early seedling development, a key stage for achieving healthy and productive crops. The experiment was conducted in a seedling greenhouse, comparing two treatments: one with biofertilizers and one without (control). Plastic germination trays and an enriched substrate were used, and variables such as germination percentage, seedling height, number of leaves, stem thickness, and root and shoot weight were evaluated. Although germination was slightly higher in the biofertilizer treatment (87.7% compared to 82.7%), the differences were not statistically significant. However, vegetative growth showed significant improvements in the inoculated seedlings: greater height, more leaves, thicker stems, and higher total weight. This indicates that the applied microorganisms enhanced nutrient absorption and the structural development of the plants. In conclusion, the use of biofertilizers in celery seedling production represents an effective and sustainable strategy, reducing the need for chemical fertilizers and improving crop quality from early stages. These practices offer agronomic and environmental benefits, aligning with the goals of a more efficient and responsible agriculture.

Keywords*: symbiosis, sustainability, plant development, nursery.*

INTRODUCCIÓN

El establecimiento adecuado de plántulas en cultivos hortícolas es un factor determinante para el éxito agronómico, especialmente en especies como el apio (*Apium graveolens*), donde el desarrollo inicial impacta directamente la productividad y calidad del cultivo final (Sánchez-Gómez *et al*., 2017). La producción de plántulas en invernadero exige condiciones óptimas de nutrición, manejo hídrico y fitosanitario. Sin embargo, uno de los principales desafíos agronómicos actuales es mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y reducir la dependencia de insumos químicos, sin comprometer el rendimiento (Montoya-González *et al*., 2019).

En este contexto, la utilización de microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares ha cobrado relevancia como una alternativa biotecnológica sostenible. Estos hongos establecieron asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, favoreciendo la absorción de nutrientes esenciales, aumentando la tolerancia al estrés abiótico e incluso promoviendo la síntesis de compuestos bioactivos (Berruti *et al.*, 2016; Yavuz *et al*., 2020). Su aplicación en cultivos hortícolas ha mostrado resultados prometedores en términos de

crecimiento vegetativo, contenido de clorofila y biomasa, lo cual se traduce en plántulas más vigorosas y mejor adaptadas para el trasplante (Janati *et al*., 2018).

El apio es una hortaliza de alto valor comercial, ampliamente utilizada en la industria alimentaria por su contenido nutricional, especialmente fibra, potasio, flavonoides y aceites esenciales con propiedades funcionales (García-Romero *et al*., 2016). No obstante, su cultivo es demandante en términos de nutrición y manejo, siendo susceptible a deficiencias de fósforo, estrés hídrico y enfermedades radiculares en etapas tempranas (Delgado-López *et al*., 2021).

Frente a esta problemática, surge la necesidad de evaluar estrategias sustentables que mejoren el desarrollo de plántulas de apio desde el semillero. La inoculación con hongos micorrízicos representa una opción viable que, además de mejorar la eficiencia fisiológica del cultivo, contribuye a la reducción de fertilizantes químicos y al fortalecimiento del sistema radicular.

Este trabajo experimental se justifica en el marco de una agricultura sostenible, donde se busca integrar tecnologías microbiológicas para optimizar la producción bajo condiciones controladas, minimizar los impactos ambientales y mejorar la rentabilidad de los cultivos hortícolas (Chávez-Ontiveros *et al*., 2020). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inculcación con biofertilizantes en plántulas de apio (*Apium graveolens*) en condiciones controladas de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de Johnny Greenhouse, empresa integrante del Grupo JD Agroproductores, ubicada en la Carretera libre Celaya – Juventino Rosas Km 7, en Juventino Rosas, Guanajuato, México (CP 38255). Esta empresa se dedica principalmente a la producción de plántulas de apio, cebolla, lechuga y brócoli, abasteciendo tanto a Grupo JD como a la empresa Taylor Farms.

El ensayo experimental se desarrolló en un invernadero de plántula bajo condiciones controladas. Se utilizaron 50 charolas de germinación, cada una con 450 cavidades. Para el tratamiento experimental, se utilizó un sustrato compuesto por turba (peat moss) mezclada en una proporción de 1:3 con perlita y un fertilizante comercial denominado Sigma BiopakDry 2-4-2. Este fertilizante contiene diversos macronutrientes, micorrizas, bacterias del género *Bacillus* y hongos del género *Trichoderma*. La mezcla se preparó previamente a la siembra en una revolvedora integrada a la máquina sembradora. Posteriormente, se colocaron las charolas en la

sembradora para continuar con el proceso automatizado, el cual consistió en llenar las cavidades con el sustrato preparado, colocar una semilla por cavidad, cubrir con una capa de vermiculita y, finalmente, humedecer ligeramente con agua. En contraste, para el tratamiento sin inoculación, el sustrato se preparó únicamente con turba (peat moss) y perlita, siguiendo el mismo procedimiento de siembra.

A los 15 días después de la siembra, se evaluó el porcentaje de germinación. Para ello, se seleccionaron al azar cinco charolas por tratamiento y se contó el número de cavidades que no presentaron signos visibles de emergencia del cotiledón.

Durante el ciclo de desarrollo de las plántulas se aplicaron prácticas de manejo agronómico estándar. El 3 de marzo se implementó un programa de fertilización (Cuadro 1). Asimismo, se realizaron dos podas en fechas programadas: la primera el 20 de marzo y la segunda el 29 de marzo. Además, el 25 de marzo se llevó a cabo una aplicación fitosanitaria debido a la presencia de trips, utilizando el producto Aza-Direct 1.2 CE, cuyo ingrediente activo es la Azadiractina, a una dosis de 1.84 $mL \cdot L^{-1}$ de agua.

Cuadro 1. Programa de fertilización del 03 de marzo al 05 de abril del 2025

Nombre Comercial	Fórmula	Cantidad
Agrigrow NKS	12-0-46	17.25 g
Agrigrow MKP	0-52-34	32.21 g
Hydrospeed Calcio	15-0-0+26 CaO+2B	48.31 g
Agrigrow Nitrato de Magnesio	11% N, 16% Mg	1.38 g
Radix T3000	Ácido Indolbutrírico	8.83 mL
Lobi 44	44% N	13.34 g

Dos días antes de la cosecha, se recolectaron datos fenológicos. Se seleccionaron aleatoriamente cinco charolas por tratamiento y, de cada una, se evaluaron diez plántulas, obteniendo un total de 50 plántulas por tratamiento (inoculadas y no inoculadas). Las variables medidas incluyen: altura de la plántula (excluyendo el cepellón), número de hojas, grosor del tallo y peso fresco del cepellón, la planta completa y las raíces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la evaluación del porcentaje de germinación a los 15 días después de la siembra mostraron una tendencia favorable en las charolas tratadas con micorrizas en comparación con las no inoculadas. En el Cuadro 2 se observa que las charolas con el biofertilizante presentaron porcentajes de no germinación más bajos, con valores que oscilaron entre 3.11% y 22.22%. En contraste, las charolas sin inoculación mostraron porcentajes de no germinación más elevados, alcanzando hasta un 26.67% (Cuadro 3).

Cuadro 2. Porcentaje de germinación de charolas inoculadas con micorrizas

Charola	CSSG	Porcentaje NG
1	14	3.11%
2	15	3.33%
3	48	10.67%
4	99	22%
5	100	22.22%

Cantidad de semillas sin germinar (CSSG); No germinación (NG).

Cuadro 3. Porcentaje de germinación de charolas no inoculadas

Charola	CSSG	Porcentaje NG
1	20	4.44%
2	74	16.44%
3	84	18.67%
4	91	20.22%
5	120	26.67%

Cantidad de semillas sin germinar (CSSG); No germinación (NG).

No obstante, el análisis de varianza presentado en el Cuadro 4 reveló que las diferencias entre tratamientos en el porcentaje de germinación no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Esta ausencia de significancia podría explicarse por la alta variabilidad observada entre repeticiones (CV = 27.74%), lo que sugiere que otros factores, como microvariaciones en el ambiente del macrotúnel o diferencias en la calidad de las semillas, pudieron haber influido en los resultados.

Cuadro 4. Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de varianza de germinación

F. V	GL	CM Semilla SG	CM Germinación
Trat	1	1276.90	63.05
Rep	4	2819.50	139.28
Error	4	340.40	16.81
Total	9		
CV		27.74	4.81
Media		66.50	85.22

Fuente de variación (FV); tratamiento (TRAT); Repeticiones (REP); coeficiente de variación (CV); grados de libertad (GL); Cuadrado de la media (CM); Sin germinar (SG).

En el Cuadro 5, se aprecia que el promedio de germinación fue superior en el tratamiento con micorrizas (87.7%) respecto al sin micorrizas (82.7%), lo cual, aunque no significativo, evidencia una tendencia positiva. Esta tendencia ha sido reportada en otros estudios donde se ha observado que los hongos micorrízicos pueden mejorar la germinación al favorecer un ambiente edáfico más equilibrado, rico en microorganismos benéficos y con una mayor disponibilidad de nutrientes (Begum *et al*., 2020; Rouphael *et al*., 2015).

Este efecto positivo de las micorrizas sobre la germinación también ha sido asociado con la capacidad de estas asociaciones simbióticas para inducir respuestas hormonales, como el aumento de auxinas y citoquininas, que favorecen la emergencia del embrión (Smith & Smith, 2017).

Cuadro 5. Comparaciones de medias de germinación

	Semilla SG	Germinación
Micorriza	55.2 a	87.7 a
Sin Micorriza	77.8 a	82.7 a
DHS	32.3	7.2

Diferencia honesta significativa (DHS); Sin germinar (SG).

A diferencia de la germinación, el análisis del desarrollo fenológico de las plántulas mostró resultados mucho más contundentes. Como se aprecia en el Cuadro 6, la inoculación con el biofertilizante sí tuvo efectos estadísticamente significativos.

En la altura de la planta como el número de hojas mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Esto sugiere que el biofertilizante promueve un crecimiento más vigoroso desde etapas tempranas del desarrollo, posiblemente por una mejora en la eficiencia de absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno, lo cual ha sido confirmado en investigaciones recientes (Alguacil *et al*., 2019).

En el caso del grosor del tallo, raíz y el peso de la planta completa, las diferencias fueron altamente significativas ($p < 0.01$), lo cual refleja un efecto directo y profundo del tratamiento micorrízico en combinación de bacterias *(Trichoderma spp. y Bacillus)* sobre la biomasa acumulada. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Ghahremanloo *et al.* (2021), quienes reportaron que la inoculación con micorrizas arbusculares incrementa la resistencia estructural y la eficiencia fisiológica de las plántulas hortícolas.

El peso de cepellón, aunque numéricamente mayor en el tratamiento inoculado (5.90 g vs. 5.48 g), no mostró diferencias significativas. Sin embargo, esta variable presentó el coeficiente de variación más alto (18.63%), lo que podría haber afectado la detección estadística de diferencias.

Cuadro 6. Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de varianza de la fenología en plántula de apio

FV	gl	CM AP	CM Hojas	CM Tallo	CM CEP	CM Plan	CM Raíz
Trat	1	1.1664*	7.8400*	0.1024**	4.410	0.7056**	3.6481**
Rep	49	0.6659	1.7420	0.005	0.9773	0.0268	0.1480
Error	49	0.2642	1.2686	0.0048	1.1243	0.0291	0.1916
Total	99	—	—	—	—	—	—

CV (%)	—	6.44	22.17	15.27	18.63	19.2	31.38
Media	—	7.986	5.08	0.456	5.69	0.888	1.395

Fuente de variación (FV); tratamiento (Trat); Repeticiones (Rep); coeficiente de variación (CV); grados de libertad (gl); Cuadrado de la media (CM); Altura de la plántula (AP); número de hojas (Hojas); grosor de tallos (Tallo); Cepellón (CEP); Planta (Plan).

El Cuadro 7 complementa este análisis, al mostrar que, en todas las variables evaluadas, las plántulas con micorrizas superaron a las no inoculadas. La diferencia en grosor del tallo fue de 0.06 cm, mientras que el peso de la planta completa fue 0.13 g mayor en promedio. Estas mejoras fenotípicas reflejan la bioestimulación provocada por hongos del género *Trichoderma,* incluidos en el tratamiento inoculado, los cuales han sido reconocidos por promover el crecimiento vegetal mediante la producción de metabolitos secundarios y fitohormonas (Harman *et al*., 2021).

Cuadro 7. Comparaciones de medias de la fenología en plántula de apio

	AP	Hojas	Tallo	Cep	Plan	Raíz
Micorrizas	8.09 a	5.36 a	0.48 a	5.90 a	0.97 a	1.58 a
Sin Mocorrizas	7.88 b	4.80 b	0.42 b	5.48 a	0.84 b	1.20 b
DHS	0.2	0.45	0.02	0.42	0.06	0.17

Diferencia honesta significativa (DHS); Altura de la plántula (AP); número de hojas (Hojas); grosor de tallo (Tallo); Cepellón (Cep); Planta (Plan).

En conjunto, los resultados obtenidos validan el uso de inoculantes a base de micorrizas y *Trichoderma spp.* como una herramienta efectiva para mejorar la calidad de plántulas de apio en condiciones controladas. La mayor acumulación de biomasa, la mayor altura y el mejor desarrollo estructural de las plántulas inoculadas son coherentes con el efecto promotor de crecimiento de estos microorganismos descrito en literatura reciente (Alori *et al*., 2017; Mastouri *et al*., 2014).

CONCLUSIONES

La inoculación de biofertilizantes en la producción de plántulas de apio bajo condiciones controladas mostró beneficios significativos en el desarrollo fenológico de las plantas. Aunque no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de germinación, sí se observó una mejora general en el crecimiento vegetativo de las plántulas tratadas, reflejada en mayor altura, mayor número de hojas, mayor grosor del tallo y peso de la planta.

Estos resultados confirman que los hongos micorrízicos, en sinergia con microorganismos como *Trichoderma spp.*, pueden ser utilizados como biofertilizantes eficientes en la horticultura protegida, promoviendo un desarrollo más vigoroso desde etapas tempranas. Su incorporación en programas de manejo agronómico

contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes químicos, a mejorar la eficiencia fisiológica del cultivo y a avanzar hacia una agricultura más sostenible y rentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alguacil MM; Lozano Z; Roldán A (2019). The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the productivity and quality of crops. Agronomy, 9(12): 787.

Alori ET; Glick BR; Babalola OO (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology, 8, 971.

Begum N; Qin C; Ahanger MA; Raza S; Khan MI; Ashraf M; Ahmed N (2020). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science, 11, 1068.

Berruti A; Lumini E; Balestrini R; Bianciotto V (2016). Hongos micorrízicos arbusculares como biofertilizantes naturales: aprovechemos los éxitos del pasado. Frontiers in Microbiology, 6, 1559.

Chávez-Ontiveros JA; Heredia JB; González-Aguilar GA (2020). Biofertilizantes en la agricultura sustentable. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5): 1141–1155.

Delgado-López RF; Martínez-González A; González-Palomo M (2021). Producción de plántulas hortícolas en invernadero: retos y oportunidades. Agrociencia, 55(1), 77–88.

García-Romero G; Ruelas-Leyva JP; Martínez-Carrillo JL (2016). El apio (*Apium graveolens*): características, propiedades y potencial. Temas Agrarios, 21(2): 101–110.

Ghahremanloo M; Pirzad A; Darvishzadeh R (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance growth, nutrient acquisition, and root architecture of tomato seedlings. Scientia Horticulturae, 281, 109961.

Harman GE; Doni F; Khadka RB; Uphoff N (2021). Endophytic *fungi*: A new tool to improve plant growth and agricultural sustainability. Journal of Plant Growth Regulation, 40(2): 806–821.

Janati S; Hamdani M; Anli M (2018). Simbiosis micorrízica y crecimiento vegetal: Un estudio de caso en cultivos hortícolas. Journal of Plant Nutritio, 41(10): 1232–1243.

Mastouri F; Björkman T; Harman GE (2014). Trichoderma harzianum enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. Molecular Plant Pathology, 15(1): 3–13.

Montoya-González JA; Ramírez-Hernández BC; Torres-Pacheco I (2019). Uso de microorganismos benéficos en horticultura protegida. Revista Fitotecnia Mexicana, 42(4): 347–356.

Rouphael Y; Cardarelli M; Bonini P; Colla G (2015). Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant-derived protein hydrolysate enhances lettuce performance. Frontiers in Plant Science, 6, 659.

Sánchez-Gómez D; Martínez-Trujillo M; López-Sánchez J (2017). Evaluación de parámetros fisiológicos en plántulas hortícolas bajo estrés hídrico. Agronomía Mesoamericana, 28(2), 411–420.

Smith SE; Smith FA (2017). Mycorrhizal symbiosis: An integration of nutrient and stress signaling pathways. Plant, Cell & Environment, 40(6), 1091–1106.

Yavuz CI; Yildiztugay E; Kucukoduk M (2020). Los hongos *micorrízicos* arbusculares mejoran la tolerancia a la sequía y la calidad nutricional del apio (*Apium graveolens*). *Scientia Horticulturae*, 270, 109428.