

Efecto de Bioestimulantes Microbianos sobre el Rendimiento y Calidad de Fruto de Tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) Effect of Microbial Biostimulants on Fruit Yield and Fruit Quality of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*)

Elisama Sánchez-Domínguez¹ , María de Jesús Briseño-López² ,
Bernardo Murillo-Amador² , Jaime Ramón Holguín-Peña² ,
Luis Guillermo Hernández-Montiel^{2†} y Liliana Lara-Capistrán^{1†}

¹ Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México; (E.S.D.), (L.L.C.).

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México; (M.J.B.L.), (B.M.A.), (J.R.H.P.), (L.G.H.M.).

[†] Autor para correspondencia: lhernandez@cibnor.mx; lilara@uv.mx

RESUMEN

El tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) es un cultivo de gran importancia económica debido a su elevada demanda para su consumo en fresco y por los beneficios de sus compuestos bioactivos para la salud humana. Sin embargo, la aplicación excesiva de agroquímicos al cultivo ha generado un impacto negativo al ambiente, a la salud humana y animal, por ello se buscan alternativas que disminuyan estos efectos como lo son los microorganismos bioestimuladores vegetales. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense* como bioestimulantes de parámetros de calidad y rendimiento en tomate cherry bajo invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y 44 repeticiones por tratamiento, donde: T1 = Fertilizante químico (FQ) al 100%, T2: FQ al 50% + *T. harzianum*, T3: FQ al 50% + *B. subtilis*, T4: FQ al 50% + *A. brasilense* y T5: FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). Se evaluaron variables morfológicas, fisicoquímicas y compuestos bioactivos del fruto. Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0.05$) en el programa STATISTICA v. 12.0. para Windows. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos, destacando las plantas del tratamiento 4: FQ al 50% + *A. brasilense*, las cuales obtuvieron los mayores valores en el peso del racimo, peso del fruto, diámetro ecuatorial y polar, SST, vitamina C, licopeno, β -caroteno, color y rendimiento. Sugiriendo que la inoculación con *Azospirillum brasilense* más una dosis reducida de fertilizantes químicos puede ser una alternativa para aumentar la calidad y rendimiento del tomate cherry bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: *Azospirillum brasilense*, compuestos bioactivos, condiciones de invernadero, fisicoquímicos.



Cita recomendada:

Sánchez-Domínguez, E., Briseño-López, M. J., Murillo-Amador, B., Holguín-Peña, J. R., Hernández-Montiel, L. G., & Lara-Capistrán, L. (2026). Efecto de Bioestimulantes Microbianos sobre el Rendimiento y Calidad de Fruto de Tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*). *Terra Latinoamericana*, 44, 1-11. e2418. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2418>

Recibido: 29 de septiembre de 2025.

Aceptado: 17 de octubre de 2025.

Artículo. Volumen 44.

Febrero de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Pablo Preciado Rangel

Editor Técnico:

M.C. Aylene Carolina Rosales Nieblas



Copyright: © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

SUMMARY

Cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) is a crop of great economic importance due to its high demand for fresh consumption and the benefits of its bioactive compounds for human health. However, the excessive use of agrochemicals in its cultivation has generated negative effects on the environment and on human and animal health. Therefore, alternatives are being sought to reduce these effects, such as plant biostimulant microorganisms. The objective of this study

was to evaluate the effect of *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, and *Azospirillum brasilense* as biostimulants on quality and yield parameters of greenhouse-grown cherry tomato. A completely randomized experimental design with five treatments and 44 replicates per treatment was used: T1 = 100% chemical fertilizer (CF); T2 = 50% CF + *T. harzianum*; T3 = 50% CF + *B. subtilis*; T4 = 50% CF + *A. brasilense*; and T5 = 50% CF + consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis*, and *A. brasilense*). Morphological and physicochemical variables, as well as bioactive compounds of the fruit, were evaluated. The results were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p < 0.05$) using STATISTICA v. 12.0 for Windows. Statistical analysis showed significant differences among treatments, with plants in Treatment 4 (50% CF + *A. brasilense*) exhibiting the highest values for bunch weight, fruit weight, equatorial and polar diameter, total soluble solids (TSS), vitamin C, lycopene, β -carotene, color, and yield. These results suggest that inoculation with *Azospirillum brasilense* combined with a reduced dose of chemical fertilizer may represent an alternative strategy to increase the quality and yield of cherry tomato under greenhouse conditions.

Index words: *Azospirillum brasilense*, bioactive compounds, greenhouse conditions, physicochemical properties.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza perteneciente a la familia Solanaceae y entre sus cultivares más importantes se encuentra el tomate cherry, el cual, ha ganado gran relevancia y valor comercial por su sabor, aroma y tamaño de fruto (Pérez-Marín *et al.*, 2021; Ertek Tosun y Uzundumlu, 2025). El cultivar cherry es de importancia económica debido a su elevada demanda, tanto en el mercado nacional como en el internacional. La producción total de tomate en el mundo se ha incrementado en más del 40% en los últimos diez años, destacando China como líder mundial en producción con 68.2 millones de toneladas, ocupando México la séptima posición con 3.6 millones de toneladas (SIAP, 2024). Además de su importancia económica, el tomate es una excelente fuente de vitamina C, polifenoles, licopeno y β -caroteno, los cuales, tienen propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres, contribuyendo a la prevención de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y enfermedades metabólicas, como la diabetes tipo II (Ali *et al.*, 2020; Pérez-Marín *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2024). El cultivo de tomate, dado su crecimiento en superficie sembrada a nivel mundial, ha originado que las prácticas agronómicas se intensifiquen; particularmente, la aplicación de fertilizantes químicos ha ido en aumento, generando un impacto negativo en el medio ambiente (Shi *et al.*, 2024) y en la salud humana y animal (Tagkas *et al.*, 2024).

En la actualidad existe una tendencia mundial en el uso de productos biológicos como una alternativa a los insumos químicos, destacando a los bioestimulantes de origen microbiano, los cuales, promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de diversos mecanismos como; la producción de fitohormonas (Adedayo *et al.*, 2022), fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, potasio y hierro, protección contra fitopatógenos, entre otros (Adame-García *et al.*, 2023). Además, incrementan la tolerancia de las plantas al estrés biótico y abiótico (Rawal *et al.*, 2022; Tóth *et al.*, 2024). Diversos estudios han reportado que la inoculación con bioestimulantes microbianos incrementa la calidad del fruto, el contenido de compuestos bioactivos y el rendimiento (Vukelić *et al.*, 2021; Vultaggio *et al.*, 2024).

Por otra parte, a nivel mundial, diversos estudios han investigado el uso de microorganismos bioestimulantes como una alternativa a la reducción de los métodos convencionales de fertilización química vegetal buscando la sostenibilidad alimentaria (Ikiz, Dasgan y Gruda, 2024; Khosravi, Khoshru, Nosratabad y Mitra, 2024; Tsegaye y Tamiru, 2025). Existen reportes en gramíneas donde la sustitución hasta del 50% de fertilizantes químicos a base principalmente de nitrógeno (N) y fósforo (P) por bacterias benéficas incrementa el crecimiento, biomasa y rendimiento vegetal (Kandel, Herschberger, Kim y Doty, 2015; Nguyen, Spaepen, Jardin y Delaplace, 2018; Kobua, Jou y Wang, 2021).

Sin embargo, aún falta evaluar los efectos de microorganismos bioestimulantes y la aplicación de dosis reducidas de fertilizantes químicos en diversos cultivos de solanáceas. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diversos microorganismos bioestimulantes sobre el rendimiento y calidad del fruto en tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *ceraciformes*) en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización Geográfica del Experimento

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla de 250 m² con un sistema de riego por goteo y recubrimiento a los lados con malla antiáfidos, ubicado en Xalapa, Veracruz, México a 19°33' 05.9" N y 96° 56' 42.2" O, a 1428 m de altitud.

Descripción de los Tratamientos y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos; T1= Fertilizante químico (FQ) al 100%, T2= FQ al 50% + *Trichoderma harzianum*, T3= FQ al 50% + *Bacillus subtilis*, T4= FQ al 50% + *Azospirillum brasilense* y T5= FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). Cada tratamiento constó de 44 plantas. Se implementó un programa de fertilización química de acuerdo con las recomendaciones del paquete nutricional para el cultivo de tomate de AgroScience (2020) y se aplicaron los fertilizantes Ultrasol; 13-40-13 NPK (a una dosis de 1 g L⁻¹) para la etapa de arranque y desarrollo vegetativo, 15-5-30 NPK (a una dosis de 2 g L⁻¹) durante la etapa de llenado del fruto y 18-18-18 NPK (a una dosis de 6 g L⁻¹) como mantenimiento.

Establecimiento del Cultivo

Se establecieron almácigos, utilizando como sustrato Peat Moss. Se sembraron semillas de tomate Cherry var. *ceraciformes* de la empresa Seminis. Para el mantenimiento de los semilleros, se realizaron riegos diarios y se aplicaron Root factor, PUSH (1 mL L⁻¹) y Nitrosol (5 mL L⁻¹) cada 15 días durante un mes para promover el desarrollo radicular. A los 28 días después de la siembra, plántulas con 12±13 cm de altura fueron trasplantadas a bolsas de polietileno negro de 5 kg con un sustrato a base de suelo y tepezil en proporción 2:1 (v/v), desinfectado previamente con formol (1 mL L⁻¹) por 72 h y posteriormente ventilado por 15 días. Durante todo el experimento se utilizó un sistema de riego por goteo con cintilla calibre 6000 (Aqua-Traxx), con goteros a 30 cm de separación.

Preparación e Inoculación de los Bioestimulantes

Los microorganismos bioestimulantes utilizados fueron; *B. subtilis* y *T. harzianum*, los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de Biotecnología Microbiana del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y *A. brasilense*, el cual fue adquirido comercialmente en Biofabrica XXI[®], a una concentración de 500 millones de bacterias por gramo. *B. subtilis* fue cultivada en medio CST (Caldo Soya Tripticaseína) al 3% a 28 °C por 48 h y 180 rpm. La concentración de la bacteria fue ajustada a 1×10⁹ UFC mL⁻¹ utilizando un espectrofotómetro digital (Thermo Spectronic Genesys 20, Fisher Scientific[®], Waltham, Massachusetts, USA), calibrado a una longitud de onda de 660 nm y una absorbancia de 1.0. *T. harzianum* se cultivó en medio líquido con sacarosa a temperatura ambiente durante 27 días, y su concentración fue ajustada a 1×10⁸ conidios mL⁻¹ utilizando una cámara de Neubauer. Al momento del trasplante (28 días después de la siembra), las plántulas con sus dos primeras hojas verdaderas fueron inoculadas directamente en la raíz con 5 mL de cada bioestimulante microbiano según el tratamiento. Para el consorcio microbiano, se inocularon 5 mL de cada microorganismo.

Variables Evaluadas

A los 90 días después del trasplante (DDT) se cosecharon muestras homogéneas de 10 frutos por tratamiento en estado maduro, evaluando: diámetro polar y ecuatorial (mm) con un vernier digital (Stereon[®]), firmeza (N) con un penetrómetro (VTSYIQI[®]), peso del racimo y peso del fruto (balanza digital, Vagalbox[®]). Se determinaron variables fisicoquímicas, sólidos solubles totales (SST, °Brix) con un refractómetro portátil (GRANDBEING[®], modelo 090), pH (potenciómetro digital, REDLEMON[®]), acidez total (% de ácido cítrico) de acuerdo con el método descrito por la AOAC (2005) y rendimiento (kg m²). Además, se cuantificaron los siguientes parámetros:

Color

Se determinó el color de la parte central de 10 frutos por tratamiento, mediante el sistema CIEL*a*b* (International Commission on Illumination, Viena), utilizando un espectrómetro para sólidos (Chrom MeterCR - 400 Konica Minolta Optics Inc.), los parámetros que se registraron fueron: Parámetro L* (0=Negro, 100=Blanco), a* (rojo/verde), b* (azul/amarillo) (International Commission on Illumination, 2004).

Licopeno y β -caroteno

Se preparó un extracto con 6 g de 10 frutos molidos por tratamiento y 9.6 mL de la mezcla Acetona- Hexano (relación 4:6). Posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min a 4°C, una vez filtrado se leyó en un espectrofotómetro a diferentes longitudes de onda de 453nm, 505 nm, 645 nm y 663 nm. Las concentraciones de licopeno y β -caroteno se cuantificaron usando las siguientes ecuaciones (Nagata y Yamashita, 1992):

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 0.0458_{A663} + 0.204_{A645} + 0.372_{A505} - 0.0806_{A453} \quad (1)$$

$$\beta\text{-caroteno } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 0.216_{A663} - 1.220_{A645} - 0.304_{A505} + 0.452_{A453} \quad (2)$$

Vitamina C

Se obtuvo a partir de un extracto con 2 g de 10 frutos molidos por tratamientos y 10 mL de ácido oxálico; se centrifugó durante 20 minutos a 4 °C a 4000 rpm. Una vez filtrado, la concentración de ácido ascórbico se realizó por el método descrito por Miller (2001).

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la comparación de medias, en el programa STATISTICA v. 12.0 para Windows (Statsoft, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las variables: diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso del racimo, peso del fruto, rendimiento, firmeza, SST (°Brix), pH, acidez total, color (L^* , a^* y b^*), vitamina C, licopeno y β -caroteno. En los parámetros morfológicos del fruto y rendimiento (Cuadro 1), las plantas del tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) mostraron los frutos con un mayor diámetro polar, sin presentar diferencias significativas con las plantas del tratamiento T2 (FQ al 50% + *T. harzianum*) y T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*). En contraste, los frutos de las plantas del tratamiento T1 (FQ al 100%) presentaron el menor diámetro polar. El diámetro ecuatorial siguió una tendencia similar, con un mayor diámetro en el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*), seguido del tratamiento T2 (FQ al 50% + *T. harzianum*) y con un menor diámetro en el tratamiento con FQ al 100% (T1). En cuanto al peso del racimo, los tratamientos T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) y T5 (FQ al 50% + Consorcio) alcanzaron los valores más altos; en contraste, los frutos de las plantas del tratamiento T1 (FQ al 100%) presentaron el menor peso.

Cuadro 1. Efecto de microorganismos bioestimulantes sobre parámetros morfológicos del fruto y rendimiento de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *ceraciformes*).

Table 1. Effect of bio-stimulant microorganisms on morphological parameters of fruit and yield of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *ceraciformes*).

Tratamiento [†]	Diámetro polar	Diámetro ecuatorial	Peso del racimo	Peso del fruto	Rendimiento
	----- mm -----		----- g -----		kg m ²
T1	19.64±1.20 c [§]	21.94±2.3 c	23.60±7.8 b	7.2±1.48 b	0.773±c
T2	21.3±0.61 ab	24±1.12 b	29.40±10.8 ab	7.6±0.54 ab	0.696±d
T3	21.08±1.33 ab	23.06±1.7 bc	30.20±11.8 ab	7.2±1.51 b	0.788±b
T4	21.54±1.08 a	26.1±0.9 a	38.8±5.2 a	8.8±0.83 a	0.793±a
T5	19.96±1.61 bc	23±1.9 bc	38.2±11 a	6.4±1.14 b	0.681±e
DMS [‡]	1.9	1.93	12.8	1.27	0.121

[†] T1= Fertilizante químico (FQ) al 100%, T2= FQ al 50% + *T. harzianum*, T3= FQ al 50% + *B. subtilis*, T4= FQ al 50% + *A. brasilense* y T5= FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). [‡] DMS= Diferencia mínima significativa. [§] Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). ± = Desviación estándar.

[†] T1= Chemical fertilizer (CF) at 100%, T2= CF at 50% + *T. harzianum*, T3= CF at 50% + *B. subtilis*, T4= CF at 50% + *A. brasilense* and T5= CF at 50% + Consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis* and *A. brasilense*). [‡] MSD= Minimum significant difference. [§] Equal letters within the same column are statistically equal (Tukey, $p \leq 0.05$). ± = Standard deviation.

El mayor peso promedio del fruto lo indujeron el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*), T1 (FQ al 100%) y 2 (FQ al 50% + *T. harzianum*). Para la variable rendimiento, el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) fue significativamente superior al resto de los tratamientos, cuantificando los valores más bajos con el tratamiento T5 (FQ al 50% + Consorcio).

En la presente investigación, los resultados demuestran que la inoculación de microorganismos benéficos como bioestimuladores combinada con una fertilización química reducida tiene efectos significativos en el rendimiento y la calidad del fruto de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) var. *cerasiformes*. El incremento en el diámetro (polar y ecuatorial), peso del racimo y fruto cuantificado en este trabajo, coincide con lo reportado por Sánchez-Hernández et al. (2023), donde la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de tomate aumentó el tamaño fruto y rendimiento. Además, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal producen fitohormonas como las auxinas y el ácido indolacético (AIA), las cuales, están involucradas en el aumento de la división celular y la actividad fotosintética, lo que influye en una mayor producción de azúcares y almidones, manteniendo la turgencia y ensanchamiento de tejidos, dando como resultado un aumento en la biomasa del fruto (Hernández-Montiel et al., 2020; Ganusova, Banerjee, Seats y Alexandre, 2025). *T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense* ya han sido reportados como microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal por la producción de fitohormonas en diversos cultivos (Poveda y González-Andrés, 2021; Illescas, Pedrero, Pitorini, Hermosa y Monte, 2021; Pelagio-Flores, Ravelo, García y López, 2025). Además, estos microorganismos influyen positivamente en el desarrollo de las raíces, incrementando la absorción de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes (Pérez-Rodríguez et al., 2020; Fonseca et al., 2022; Sun, Shahrajabian y Wang, 2025a), dando como resultado un mayor rendimiento de los cultivos.

En relación con las variables fisicoquímicas (Cuadro 2), los tratamientos T1 (Fertilizante químico al 100%), T2 (FQ al 50% + *T. harzianum*) y T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*) incrementaron en los frutos la firmeza. En los sólidos solubles totales (SST) los frutos del tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos, siendo FQ al 100% el de menor valor. En relación con el pH, el tratamiento T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*) fue el mejor en comparación con el resto de los tratamientos. Con respecto a la acidez total titulable, los frutos del tratamiento T1 (FQ al 100%) presentaron el mayor porcentaje (2.9) mientras que el de menor valor fue el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) con 1.1%. En los parámetros de color, se indujo una mayor luminosidad (L^*) en el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*), lo que se relaciona a un fruto más brillante. Para el parámetro a^* , los mejores tratamientos fueron T1 (FQ al 100%), T2 (FQ al 50% + *T. harzianum*), T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*) y T5 (FQ al 50% + Consorcio). En el parámetro b^* el tratamiento T1 (FQ al 100%) registró una mayor tendencia al color amarillo.

Cuadro 2. Efecto de microorganismos bioestimulantes sobre parámetros fisicoquímicos y color del fruto de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. *ceraciformes*).

Table 2. Effect of bio-stimulant microorganisms on physicochemical parameters and colour of cherry tomato fruit (*Solanum lycopersicum* var. *ceraciformes*).

Tratamiento [†]	Firmeza	SST	pH	Acidez T	L^*	a^*	b^*
	N	°Brix		%			
T1	1.7±0.4 a [§]	6.7±0.3 c	4±0.05 b	2.9±0 a	35.1±0.9 b	28.2±2.7 ab	22.5±1.5 a
T2	1.6±0.6 a	7.2±0.2 b	3.9±0.02 b	1.9±0.05 b	23.2±7.4 d	28.4±4.4 ab	19.9±3.1 ab
T3	1.6±0.3 a	7.4±0.1 ab	4.3±0.01 a	1.7±0.01 c	29.6±0.7 c	26.8±2.9 ab	18±3.1 b
T4	1.3±0.3 b	7.6±0.2 a	3.9±0.04 b	1.1±0.01 d	41.1±0.3 a	24.1±2.7 b	20.1±0.96 ab
T5	1.3±0.3 b	7.2±0.2 b	3.9±0.01 b	1.9±0.01 b	35.1±1.1 b	29.5±1.7 a	19.6±2.7 ab
DMS [‡]	0.57	0.52	0.49	0.24	4.43	4.07	3.60

[†] T1 = Fertilizante químico (FQ) al 100%; T2 = FQ al 50% + *T. harzianum*; T3 = FQ al 50% + *B. subtilis*; T4 = FQ al 50% + *A. brasilense* y T5 = FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). [‡] DMS = Diferencia mínima significativa. [§] Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). $\pm$ = Desviación estándar.

[†] T1 = Chemical fertilizer (CF) at 100%; T2 = CF at 50% + *T. harzianum*; T3 = CF at 50% + *B. subtilis*; T4 = CF at 50% + *A. brasilense* and T5 = CF at 50% + Consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis* and *A. brasilense*). [‡] MSD = Minimum significant difference. [§] Equal letters within the same column are statistically equal (Tukey, $p \leq 0.05$). $\pm$ = Standard deviation.

Los valores de pH obtenidos se mantuvieron dentro del intervalo reportado para el tomate cherry (3.9 a 5.44) de acuerdo con Dantas *et al.* (2021) para todos los tratamientos evaluados. Los tratamientos evaluados evidencian que los frutos con un menor tamaño son los que concentran una mayor acidez al no verse diluidos por un mayor porcentaje de agua, la inoculación con *A. brasilense* mantuvo en el límite superior del intervalo de acidez para cumplir estándares de calidad. Esta disminución en la acidez total está relacionada con una fisiología más eficiente por parte de la planta, al tener una mayor disponibilidad rápida de elementos principales en el metabolismo de ácidos orgánicos, como el nitrógeno y fósforo (Tsouvaltzis Gkoutina y Siomos, 2023). El contenido de sólidos solubles totales está relacionado con la cantidad de azúcares, el cual se incrementa durante el proceso de maduración por la degradación de polisacáridos, principalmente almidón y celulosa, produciendo azúcares simples (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2020) y está directamente relacionado con el sabor del fruto, siendo un atributo decisivo por parte del consumidor. El tratamiento químico al 50% + *A. brasilense* se sugiere que tuvo una mayor capacidad de acumular cierta cantidad de fotosintatos, productos resultantes de la fotosíntesis, dando como resultado una mayor acumulación de azúcares.

Uno de los parámetros de calidad que también son apreciados visualmente por el consumidor, es el color del fruto del tomate (Consentino *et al.*, 2022). Por su parte Carvajal-Mena, Medina, Quintana, Shene y Leiva (2022) reportan que un valor de luminosidad (L^*) suele estar en un intervalo de 40.0 a 42.7 en frutos de tomate, lo que coincide en la presente investigación al tratamiento complementado con *A. brasilense*.

Por otro lado, la Fertilización química al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*) se observaron valores más alto en el parámetro a^* , indicando una mayor tendencia hacia la tonalidad roja. Este comportamiento podría atribuirse a que los biostimulantes microbianos mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo y la disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes, reduce algunos tipos de estrés en el cultivo, lo que se puede relacionar a una maduración adecuada, una mayor síntesis y con una mayor acumulación de carotenoides, particularmente licopeno, pigmento responsable del color rojo, lo que se refleja en una coloración más intensa (Melini *et al.*, 2023). Se obtuvo una mayor tendencia hacia el color amarillo (parámetro b^*) en la fertilización química al 100%, lo que se relaciona con una acumulación de β -caroteno, el cual da una coloración de amarillo a naranja en los frutos (Zaheer *et al.*, 2022).

En el contenido de vitamina C en los frutos de tomate cherry (Figura 1), el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos, observando los valores más bajos en los frutos del tratamiento T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*).

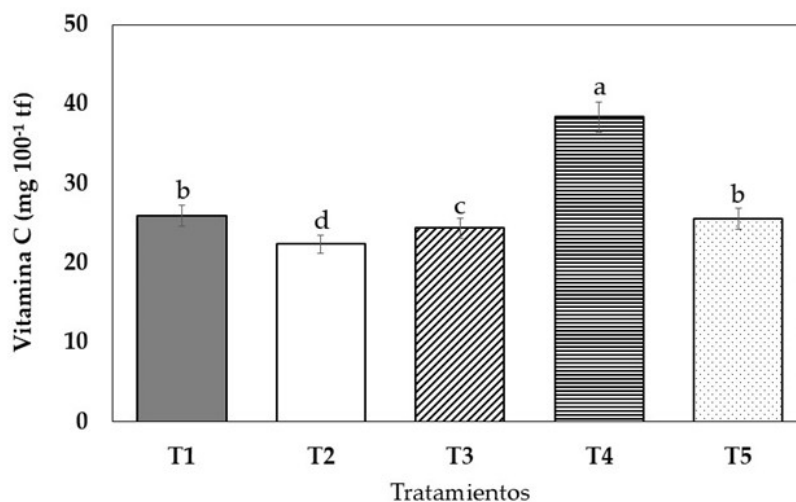


Figura 1. Contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = Fertilizante químico (FQ) al 100%; T2 = FQ al 50% + *T. harzianum*; T3 = FQ al 50% + *B. subtilis*; T4 = FQ al 50% + *A. brasilense*; T5 = FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí ($p < 0.05$). Las líneas verticales en las barras representan la desviación estándar.

Figure 1. Vitamin C content in cherry tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = 100% chemical fertilizer (CF); T2 = 50% CF + *T. harzianum*; T3 = 50% CF + *B. subtilis*; T4 = 50% CF + *A. brasilense*; and T5 = 50% CF + Consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis*, and *A. brasilense*). Columns with the same letter are statistically equal to each other ($p < 0.05$). The vertical lines on the bars represent the standard deviation.

En la presente investigación, el contenido de vitamina C se mantuvo superior a lo reportado por Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) en frutos de tomate inoculados con *A. brasilense*. Este efecto positivo que ejerce esta bacteria se le atribuye de igual manera a la capacidad de sintetizar fitohormonas, estimulando la ruta de Smirnoff-Wheeler, principal vía biosintética del ácido L-ascórbico (vitamina C) en plantas (Paciolla *et al.* 2019; Omer, Osman y Badawy, 2022; Wang *et al.*, 2024). Sin embargo, se deben considerar otros factores que pueden influir en su contenido, como la intensidad y tiempo de luz (Li, Huang, Zhang y Zhao, 2025; Rivas-García *et al.*, 2021), condiciones de manejo, cosecha, poscosecha y etapa de madurez (Tolasa, Gedamu y Woldetsadik, 2021).

En cuanto a los compuestos carotenoides evaluados, el contenido de licopeno (Figura 2), presentó el valor más alto en el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*), mientras que los tratamientos T2 (FQ al 50% + *T. harzianum*) y T3 (FQ al 50% + *B. subtilis*) mostraron un contenido intermedio y estadísticamente similares entre sí. En contraste, el tratamiento T1 (FQ al 100%) registró el menor contenido de licopeno. De la Osa *et al.* (2021), al inocular bacterias promotoras del crecimiento vegetal, observaron un aumento en el contenido de licopeno en frutos de tomate tipo cereza en comparación con las plantas sin microorganismos. La variación en el contenido de licopeno se ha atribuido al estado de madurez del fruto y a la disminución de la clorofila durante el proceso de maduración, lo cual da lugar al incremento de carotenoides, especialmente de licopeno, pigmento responsable de la coloración roja característica de estos frutos (Zaheer *et al.*, 2022).

De manera similar, el contenido de β -caroteno (Figura 3) fue promovido por el tratamiento T4 (FQ al 50% + *A. brasilense*) cuantificando el valor más bajo en los frutos de las plantas con el tratamiento fertilizado al 100% (T1). Cabe destacar que para el caso de todos los tratamientos evaluados se mantuvieron por arriba de lo reportado por Pandurangaiah, Sadashiva, Shivashankar, Sudhakar Rao y Ravishankar (2020) para el tomate cherry con un rango de 0.008 a 0.085 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de β -Caroteno. El aumento en el contenido de licopeno y β -carotenos en diversos frutos ha sido relacionado con la inoculación de las plantas con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Abdenaceur *et al.*, 2022; Stefen *et al.*, 2022; Sun y Shahrajabian, 2025b).

El uso prolongado de fertilizantes químicos en las plantas es un factor perjudicial que afecta negativamente a los ecosistemas edáficos, su sustitución parcial a través de la inoculación de microorganismos bioestimuladores como *T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense* es una alternativa para la conservación de los ecosistemas, disminución

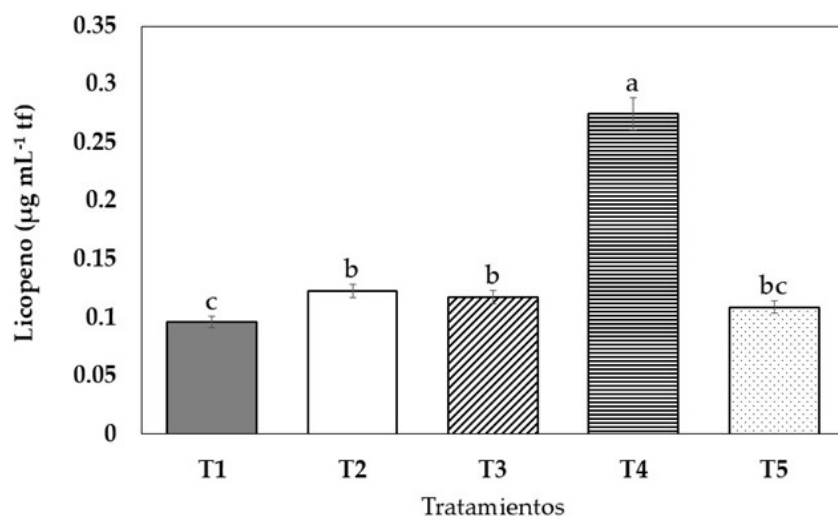


Figura 2. Contenido de licopeno en frutos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = Fertilizante químico (FQ) al 100%; T2 = FQ al 50% + *T. harzianum*; T3 = FQ al 50% + *B. subtilis*; T4 = FQ al 50% + *A. brasilense* y T5 = FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí ($p < 0.05$). Las líneas verticales en las barras representan la desviación estándar.

Figure 2. Lycopene content in cherry tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = Chemical fertilizer (CF) at 100%; T2 = CF at 50% + *T. harzianum*; T3 = CF at 50% + *B. subtilis*; T4 = CF at 50% + *A. brasilense*; and T5 = CF at 50% + Consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis*, and *A. brasilense*). Columns with the same letter are statistically equal to each other ($p < 0.05$). The vertical lines on the bars represent the standard deviation.

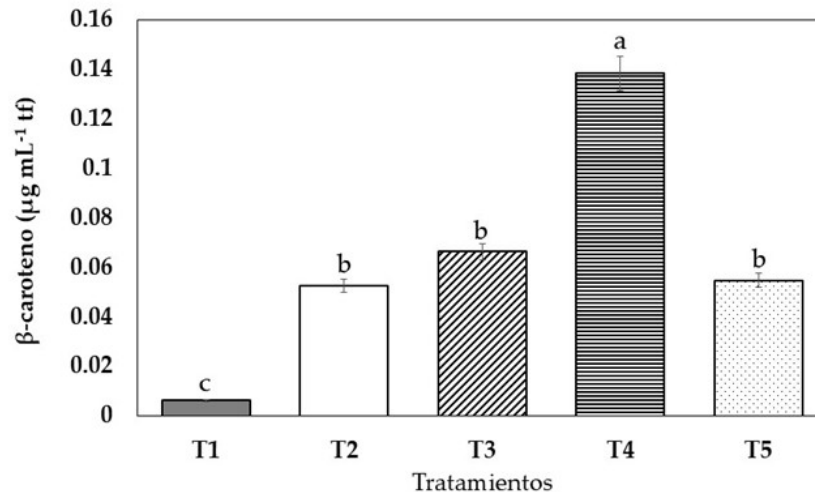


Figura 3. Contenido de β-caroteno en frutos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = Fertilizante químico (FQ) al 100%; T2 = FQ al 50% + *T. harzianum*; T3 = FQ al 50% + *B. subtilis*; T4 = FQ al 50% + *A. brasilense* y T5 = FQ al 50% + Consorcio (*T. harzianum*, *B. subtilis* y *A. brasilense*). Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí ($p < 0.05$). Las líneas verticales en las barras representan la desviación estándar.

Figure 3. β-carotene content in cherry tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiformes*). T1 = Chemical fertilizer (CF) at 100%; T2 = CF at 50% + *T. harzianum*; T3 = CF at 50% + *B. subtilis*; T4 = CF at 50% + *A. brasilense*; and T5 = CF at 50% + Consortium (*T. harzianum*, *B. subtilis*, and *A. brasilense*). Columns with the same letter are statistically equal to each other ($p < 0.05$). The vertical lines on the bars represent the standard deviation.

de efectos adversos en la salud humana y animal y en la sustentabilidad y soberanía alimentaria (Reid *et al.*, 2021; Hungría, Barbosa, Rondina y Nogueira, 2022). Las biotecnologías que contemplan el uso de microorganismos benéficos son tecnologías que pueden reducir el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos, aumentando la producción vegetal y la calidad de los frutos a través de los diversos mecanismos de promoción microbiana (producción de fitohormonas, solubilización de nutrientes, metabolitos secundarios, entre otros) (Ikiz, Dasgan y Gruda, 2024; Khosravi, Khoshru, Nosratabad y Mitra, 2024; Argente-Martínez *et al.*, 2025). El manejo de bajos insumos (microorganismos bioestimuladores + 50% de fertilizantes químicos) tienen efectos positivos desde el punto de vista económico y ambiental, ya que produce un aumento significativo en el rendimiento y calidad de fruto de tomate cherry disminuyendo la aplicación de productos agropecuarios al suelo.

CONCLUSIONES

La inoculación al sistema radical con *Azospirillum brasilense* en combinación con una fertilización química al 50% mejora significativamente parámetros morfológicos del fruto (diámetro polar y ecuatorial), peso del racimo y del fruto, así como rendimiento de tomate cherry var. *cerasiformes*. Asimismo, este tratamiento favoreció la calidad fisicoquímica del fruto, cumpliendo con los estándares comerciales de calidad, incrementando la luminosidad del fruto y la acumulación de compuestos bioactivos, como la vitamina C, licopeno y β-caroteno. Estos resultados confirman que la inoculación con bioestimulantes de origen microbiano, específicamente con *A. brasilense* representa una alternativa agronómica viable para mejorar la calidad y rendimiento de tomate cherry en condiciones de invernadero, con un manejo de menor dependencia a los fertilizantes inorgánicos.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: E.S.D., L.L.C. y L.G.H.M.; Metodología: E.S.D., M.J.B.L. y L.G.H.M.; Análisis formal: E.S.D., B.M.A. y L.L.C.; Software: E.S.D., M.J.B.L. y J.R.H.P.; Escritura – revisión y edición: E.S.D., J.R.H.P., L.L.C. y L.G.H.M.; Supervisión: B.M.A., L.L.C. y L.G.H.M.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana por el apoyo para la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Abdenaceur, R., Farida, B. T., Mourad, D., Rima, H., Zahia, O., & Fatma, S. H. (2022). Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth. *International Microbiology*, 25(4), 817-829. <https://doi.org/10.1007/s10123-022-00263-8>
- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Villegas-Narváez, J., Rivera-Meza, A. E., & Vásquez-Hernández, A. (2023). Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. *Biotecnia*, 25(1), 81-87. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1772>
- Adedayo, A. A., Babalola, O. O., Prigent-Combaret, C., Cruz, C., Stefan, M., Kutu, F., & Glick, B. R. (2022). The application of plant growth-promoting rhizobacteria in *Solanum lycopersicum* production in the agricultural system: a review. *PeerJ*, 10, e13405. <https://doi.org/10.7717/peerj.13405>
- AgroScience (2020). *Catálogo de productos*. <https://agrosience.com/wp-content/uploads/2020/01/ASCatalogo-AGROSCIENCE-2020.pdf>
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., ... & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Andrade-Sifuentes, A., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Orozco-Vidal, J. A., Yescas-Coronado, P., & Rueda-Puente, E. O. (2020). *Azospirillum brasilense* y estiércol solarizado sobre la producción y calidad fitoquímica de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía*, 10(12), 1956. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121956>
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 942.15). Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International.
- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Herrera-Sepúlveda, A., González-Aguilera, J., Sudheer, S., Salim, L. M., ... & Azizoglu, U. (2025). Biotechnological advances in plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41(1), 21. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-04231-4>
- Carvajal-Mena, N., Medina-Correa, R., Quintana, R., Shene, C., & Leiva-Vega, J. (2022). Effect of a turmeric-based fertilizer on tomato production at green-house level. *Agro Sur*, 50(3), 1-13. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2022.v50n3-01>
- Consentino, B. B., Aprile, S., Rouphael, Y., Ntatsi, G., De Pasquale, C., Iapichino, G., ... & Sabatino, L. (2022). Application of PGPB combined with variable N doses affects growth, yield-related traits, N-fertilizer efficiency and nutritional status of lettuce grown under controlled condition. *Agronomy*, 12(2), 236. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020236>
- Dantas, L. O., Maia, A. G., Moreno, M. N., Melo, N. G. M., de Souza, R. P., de Souza, R. A. T., & Martim, S. R. (2021). Análise físico-química e microbiológica de tomates cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cesariiforme*) comercializados em empórios de Manaus-AM. *Research, Society and Development*, 10(15), e527101523276-e527101523276. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23276>
- De la Osa, C., Rodríguez, C. M. Á., Gandullo, J., Aranda, C., Megías, M., Ollero, F. J., & Monreal, J. A. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria modulate the concentration of bioactive compounds in tomato fruits. *Separations*, 8(11), 223. <https://doi.org/10.3390/separations8110223>

- Ertek Tosun, N., & Uzundumlu, A. S. (2025). Cherry production forecasting of leading Countries in 2024-2028. *Applied Fruit Science*, 67(2), 67. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01290-1>
- 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>
- Ganusova, E. E., Banerjee, I., Seats, T., & Alexandre, G. (2025). Indole-3-acetic acid (IAA) protects *Azospirillum brasilense* from indole-induced stress. *Applied and Environmental Microbiology*, 91(4), e02384-24. <https://doi.org/10.1128/aem.02384-24>
- Hernández-Montiel, L. G., Murillo, A. B., Chiquito, C. C. J., Zuñiga, C. C. E., Ruiz, R. J., & Chiquito, C. R. G. (2020). Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con *Pseudomonas putida* y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 583-596. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.651>
- Hungria, M., Barbosa, J. Z., Rondina, A. B. L., & Nogueira, M. A. (2022). Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, 114(5), 2969-2980. <https://doi.org/10.1002/aj2.21150>
- Illescas, M., Pedrero-Méndez, A., Pitorini-Bovolini, M., Hermosa, R., & Monte, E. (2021). Phytohormone production profiles in *Trichoderma* species and their relationship to wheat plant responses to water stress. *Pathogens*, 10(8), 991. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080991>
- Ikiz, B., Dasgan, H. Y., & Gruda, N. S. (2024). Utilizing the power of plant growth promoting rhizobacteria on reducing mineral fertilizer, improved yield, and nutritional quality of Batavia lettuce in a floating culture. *Scientific Reports*, 14(1), 1616. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51818-w>
- International Commission on Illumination. (2004). *Colorimetry* (3rd ed., CIE Publication No. 15:2004). Vienna, Austria: CIE Central Bureau.
- Kandel, S. L., Herschberger, N., Kim, S. H., & Doty, S. L. (2015). Diazotrophic endophytes of poplar and willow for growth promotion of rice plants in nitrogen-limited conditions. *Crop Science*, 55, 1765-1772. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.08.0570>
- Khosravi, H., Khoshru, B., Nosratabad, A. F., & Mitra, D. (2024). Exploring the landscape of biofertilizers containing plant growth-promoting rhizobacteria in Iran: Progress and research prospects. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100268>
- Kobua, C. K., Jou, Y. T., & Wang, Y. M. (2021). Advantages of amending chemical fertilizer with plant-growth-promoting rhizobacteria under alternate wetting drying rice cultivation. *Agriculture*, 11(7), 605. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070605>
- Li, X., Huang, H., Zhang, L., & Zhao, L. (2025). Effect of postharvest storage temperature and duration on tomato fruit quality *Foods*, 14(6), 1002. <https://doi.org/10.3390/foods14061002>
- Li, J., Liu, F., Wu, Y., Tang, Z., Zhang, D., Lyu, J., ... & Yu, J. (2024). Evaluation of nutritional composition, biochemical, and quality attributes of different varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 132, 106384. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106384>
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Abou, J. R., Ficca, A. G., & Ruzzi, M. (2023). Effect of microbial plant biostimulants on fruit and vegetable quality: current research lines and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1251544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1251544>
- Miller, D. D. (2001). *Química de alimentos: Manual de laboratorio*. México: Editorial Limusa.
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Japanese Society for Food Science and Technology*, 39, 925-928.
- Nguyen, M. L., Spaepen, S., Jardin, P., & Delaplace, P. (2018). Biostimulant effects of rhizobacteria on wheat growth and nutrient uptake depend on nitrogen application and plant development. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(1), 58-73. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1485074>
- Omer, A. M., Osman, M. S., & Badawy, A. A. (2022). Inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas geniculata* reinforces flax (*Linum usitatissimum*) growth by improving physiological activities under saline soil conditions. *Botanical Studies*, 63(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40529-022-00345-w>
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardi, S., Mastropasqua, L., & de Pinto, M. C. (2019). Vitamin C in plants: from functions to biofortification. *Antioxidants*, 8(11), 519. <https://doi.org/10.3390/antiox8110519>
- Pandurangaiah, S., Sadashiva, A. T., Shivashankar, K. S., SudhakarRao, D. V., & Ravishankar, K. V. (2020). Carotenoid content in cherry tomatoes correlated to the color space values L*, a*, b*: A non-destructive method of estimation. *Journal of Horticultural Sciences*, 15(1), 27-34.
- Pelagio-Flores, R., Ravelo-Ortega, G., García-Pineda, E., & López-Bucio, J. (2025). A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant Signaling & Behavior*, 20(1), 2551609. <https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609>
- Pérez-Marín, J., Issa-Issa, H., Clemente-Villalba, J., García-Garvía, J. M., Hernández, F., Carbonell-Barrachina, Á. A., ... & Noguera-Artiaga, L. (2021). Physicochemical, volatile, and sensory characterization of promising cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars: Fresh market aptitudes of pear and round fruits. *Agronomy*, 11(4), 618. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040618>
- Pérez-Rodríguez, M. M., Pontin, M., Lipinski, V., Bottini, R., Piccoli, P., & Cohen, A. C. (2020). *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* increase yield and fruit quality of tomato under field conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 1614-1624. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00233-x>
- Poveda, J., & González-Andrés, F. (2021). *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(23), 8629-8645. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11492-8>
- Rawal, R., Scheerens, J. C., Fenstermaker, S. M., Francis, D. M., Miller, S. A., & Benitez, M. S. (2022). Novel *Trichoderma* isolates alleviate water deficit stress in susceptible tomato genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 13, 869090. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.869090>
- Reid, T. E., Kavamura, V. N., Abadie, M., Torres-Ballesteros, A., Pawlett, M., Clark, I. M., ... & Mauchline, T. H. (2021). Inorganic chemical fertilizer application to wheat reduces the abundance of putative plant growth-promoting rhizobacteria. *Frontiers in Microbiology*, 12, 642587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.642587>
- Rivas-García, T., González-Gómez, L. G., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., & Terrero-Soler, J. C. (2021). Agronomic response of two tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) to the application of the biostimulant whit chitosan. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>
- Sánchez-Hernández, G. A., Aceves-Ruiz, E., Aparicio-Juárez, A., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., Olvera-Hernández, J. I., Hernández-Salgado, J. H., & Álvarez-Calderón, N. M. (2023). Fertilización química e inoculación con *Azospirillum* y hongos micorrízicos del cultivo de jitomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.991>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Panorama agroalimentario 2018-2024. Gobierno de México. Consultado el 18 de agosto de 2025, desde <https://panorama.agricultura.gob.mx/vista/panorama-agroalimentario.php>.
- Shi, T. S., Collins, S. L., Yu, K., Peñuelas, J., Sardans, J., Li, H., & Ye, J. S. (2024). A global meta-analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands. *Nature Communications*, 15(1), 3411. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47829-w>

- Statsoft (2013). *STATISTICA User's Guide. Version 12*. Possmoorweg, Hamburg, Germany: StatSoft Europe.
- Stefen, D. L. V., Nunes, F. R., Rodolfo, G. R., Segatto, C., Anastácio, T. C., & Lajus, C. R. (2022). How phytohormones synthesized by PGPR affect plant growth?. In *Secondary metabolites and volatiles of PGPR in plant-growth promotion* (pp. 119-131). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Wang, N. (2025). a study of the different strains of the genus *Azospirillum* spp. on increasing productivity and stress resilience in plants. *Plants*, 14(2), 267. <https://doi.org/10.3390/plants14020267>
- Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2025). biostimulant and beyond: *Bacillus* spp., the important plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)-based biostimulant for sustainable agriculture. *Earth Systems and Environment*, 9, 1465-1498. <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00552-4>
- Tagkas, C. F., Rizos, E. C., Markozannes, G., Karalexi, M. A., Wairegi, L., & Ntzani, E. E. (2024). Fertilizers and Human Health-A Systematic Review of the Epidemiological Evidence. *Toxics*, 12(10), 694. <https://doi.org/10.3390/toxics12100694>
- Tolasa, M., Gedamu, F., & Woldetsadik, K. (2021). Impacto de las etapas de cosecha y los tratamientos previos al almacenamiento en la vida útil y la calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cogent Food & Agriculture*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1863620>
- Tóth, E., Csambalik, L., Biró, B., Gere, A., Koren, D., Kotrocó, Z., & Szalai, Z. (2024). Are the Nutritional Properties of Organic Tomatoes Altered by Single and Combined Microbial Soil Inoculants?: A Multiperspective Approach. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 3718-3728. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11358-z>
- Tsegaye, Z., & Tamiru, T. (2025). Enhancing tef growth and yield through integrated application of plant growth-promoting rhizobacteria and reduced chemical fertilizers. *Journal of Genetic Resources*, 11(1), 88-97. <https://doi.org/10.22080/jgr.2025.28282.1413>
- Tsouvaltzi, P., Gkoutina, S., & Siomos, A. S. (2023). Quality traits and nutritional components of cherry tomato in relation to the harvesting period, storage duration and fruit position in the truss. *Plants*, 12(2), 315. <https://doi.org/10.3390/plants12020315>
- Vukelić, I. D., Prokić, L. T., Racić, G. M., Pešić, M. B., Bojović, M. M., Sierka, E. M., ... & Panković, D. M. (2021). Effects of *Trichoderma harzianum* on photosynthetic characteristics and fruit quality of tomato plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6961. <https://doi.org/10.22080/jgr.2025.28282.1413>
- Vultaggio, L., Ciriello, M., Campana, E., Bellitto, P., Consentino, B. B., Roupheal, Y., ... & Sabatino, L. (2024). Single or blended application of non-microbial plant-based biostimulants and trichoderma atroviride as a new strategy to enhance greenhouse cherry tomato performance. *Plants*, 13(21), 3048. <https://doi.org/10.3390/plants13213048>
- Wang, C., Zhang, Y., Wang, S., Lv, X., Xu, J., Zhang, X., ... & Xu, B. (2024). Differential effects of domesticated and wild *Capsicum frutescens* L. on microbial community assembly and metabolic functions in rhizosphere soil. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1383526. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383526>
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., ... & Dessoky, E. S. (2022). Cytokinin production by *Azospirillum brasilense* contributes to increase in growth, yield, antioxidant, and physiological systems of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13, 886041. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.886041>