

Calidad nutraceutica de frutos de tomate grape producidos en casa sombra usando diferentes sustratos orgánicos

Nutraceutical quality of tomato grape fruits produced under shade house conditions using different organic substrates

Manuel Fortis-Hernández¹ , Cirilo Vázquez-Vázquez² , Jorge Armando Meza-Velázquez³ ,
Ruben Guadalupe Rivera-Gutiérrez⁴ , Juan Ramón Esparza-Rivera^{3*} 

¹Instituto Tecnológico de Torreón. DEPI. km 7.5 Carretera antigua Torreón – San Pedro. Torreón, Coahuila, México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia, ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

³Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Químicas unidad Gómez Palacio, Avenida Artículo 123 S/N, C.P. 35010, Fraccionamiento Filadelfia. Gómez Palacio, Durango, México.

⁴Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Representación de la Región Laguna. Torreón, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: jresparza02001@yahoo.com

Artículo científico

Recibido: 18 de marzo 2026

Aceptado: 04 de agosto 2026

RESUMEN. El objetivo del experimento fue evaluar la calidad nutraceutica de tomate grape (*Solanum lycopersicum*) producido bajo condiciones de casa sombra usando diversos sustratos orgánicos. Cinco tratamientos (cuatro sustratos con nutrición orgánica y un tratamiento testigo con nutrición química inorgánica) se aplicaron. Los sustratos con nutrición orgánica fueron mezclas de abonos orgánicos con materiales inertes. Los abonos orgánicos utilizados fueron: lombricomposta, compost mineralizado y estiércol bovino solarizado; y los materiales inertes utilizados fueron: arena de río sanitizada, perlita y piedra pómez. Las variables evaluadas fueron contenido total de fenólicos, de flavonoides, y de licopeno; y capacidad antioxidante del fruto. El tomate grape producido en el sustrato formulado con Arena y 15% de lombricomposta tuvo el mayor contenido de licopeno y la más alta capacidad antioxidante. Se recomienda el uso de sustratos orgánicos formulados con lombricomposta para la producción orgánica de tomate grape con alta calidad nutraceutica.

Palabras clave: Tomate grape, nutraceuticos, antioxidantes, sustratos. agricultura orgánica.

ABSTRACT. The aim was to evaluate the nutraceutical quality of tomato grape (*Solanum lycopersicum*) produced under shade house conditions using different organic substrates. Five treatments (four substrates under organic nutrition, and one control substrate under inorganic chemical nutrition) were applied. The organic nutrition substrates were blends of organic fertilizers with inert materials. The organic fertilizer materials were: vermicompost, solarized bovine manure, and mineralized compost; and the inert materials were sanitized river sand, perlite, and pumice stone. The evaluated variables were: Total content of phenolics, flavonoids, and lycopene; and antioxidant capacity. The grape tomato fruits produced using the substrate composed by Sand and 15% of vermicompost had the highest content of lycopene and antioxidant capacity. Hence it is recommended using organic substrates formulated with vermicompost for obtaining organic tomato grape with a high nutraceutical quality.

Keywords: Tomato grape, nutraceuticals, antioxidants, substrates. organic agriculture.

Como citar: Fortis-Hernández M, Vázquez-Vázquez C, Velázquez-Meza JA, Rivera-Gutiérrez RG, Esparza-Rivera JR (2026) Calidad nutraceutica de frutos de tomate grape producidos en casa sombra usando diferentes sustratos orgánicos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. VI: e5283. DOI: 10.19136/era.a13nVI.5283.

INTRODUCCIÓN

Las recientes tendencias comerciales a nivel mundial señalan una mayor preferencia de los consumidores por productos alimenticios libres de compuestos químicos sintéticos (Márquez-Hernández *et al.* 2013). Una alternativa de sistema de producción que cumple con este lineamiento es la agricultura orgánica, en la cual se evita la aplicación de agroquímicos tales como herbicidas, pesticidas y fertilizantes sintéticos en los ciclos de producción vegetal a campo abierto o bajo condiciones protegidas, como en invernaderos o en casa sombra (Rani *et al.* 2021). Sin embargo, uno de los insumos de mayor costo en la producción orgánica de vegetales en invernadero son los sustratos, los cuales regularmente son formulados utilizando materiales como arena, fibras vegetales y materiales orgánicos como estiércol bovino o de otras especies para aporte de nutrientes (González-Betancourt *et al.* 2020, Bhunia *et al.* 2021). La arena es un material mineral económico con baja capacidad de retención de humedad que puede ser mezclado con materiales minerales y orgánicos para mejorar sus propiedades fisicoquímicas. Por otro lado, algunos de los materiales orgánicos usados en la formulación de sustratos para producción de vegetales son el estiércol bovino solarizado y la lombricomposta. El estiércol solarizado es un material con lenta liberación de nutrientes de fácil absorción para las plantas (Abid *et al.* 2023), mientras que la lombricomposta es un material orgánico que contiene sustancias húmicas que incrementan el intercambio catiónico y esto a su vez mejora la capacidad de retención de humedad en el sustrato, promueve el crecimiento de las plantas, y aumenta el rendimiento y calidad de frutos (Ye *et al.* 2022).

El tomate (o jitomate) es uno de los productos vegetales de mayor importancia a nivel mundial (Hakimi *et al.* 2022). Los frutos de tomate contienen sales minerales, vitaminas A y C, y fitoquímicos nutraceuticos como ácidos fenólicos, flavonoides, y licopeno, el cual ha sido comprobado como un efectivo agente en la prevención de enfermedades cardiovasculares crónicas y algunos tipos de cáncer (Laranjeira *et al.* 2022). El contenido de fitoquímicos con capacidad nutraceutica en los frutos de tomate aumenta como una respuesta defensiva hacia algunos tipos de estrés biótico o abiótico, mientras que el contenido de licopeno depende de factores como la hidratación y aporte nutricional de la planta (Junior *et al.* 2022), los cuales pueden ser controlados en la producción de tomate en invernadero o en casa sombra. Entre las variedades de tomate que recientemente han aumentado su popularidad y consumo se encuentran los tomates grape, los cuales son frutos de tamaño pequeño con color y sabor intenso, baja acidez y un contenido de sólidos de hasta 10 °Brix, además de contener compuestos bioactivos con capacidad nutraceutica como flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos y carotenoides (Rapa *et al.* 2021). Así pues, la adición de materiales orgánicos, como estiércol solarizado o lombricomposta, como fuente de nutrientes a los sustratos usados en la producción de vegetales en invernadero o en casa sombra puede ser una alternativa para aumentar la calidad nutraceutica de tomates grape. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad nutraceutica de tomate grape producido bajo condiciones de casa sombra usando diversos sustratos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetativo

En este experimento se utilizaron frutos de tomate grape (*Solanum lycopersicum*) variedad Roma producidos en el Instituto Tecnológico de Torreón (Torreón, Coahuila, México) (103° 25' 57" LO, 25° 31' 11" LN) bajo condiciones de casa sombra. Las plantas de tomate grape fueron obtenidas a partir de plántulas adquiridas en Almerimex Laguna (Torreón, Coahuila, México), y fueron trasplantadas a los sustratos correspondientes de cada tratamiento cuando tuvieron una altura de 15 cm. La polinización se llevó a cabo por medio de agitación suave de las plantas y se realizó diariamente a partir de la primera floración, la cual fue a los 23 d después de trasplante (ddt). Los primeros frutos se tuvieron a los 37 ddt, y se realizó la primera cosecha de frutos a los 47 ddt. Los frutos fueron recolectados en estadio de maduración 6 de la Norma Mexicana para Tomate NMX-FF-031-1997-SCFI (SE 1998). Los frutos recolectados fueron licuados sin retirar la cáscara, congelados y finalmente liofilizados para su posterior análisis.

Preparación de sustratos

Los sustratos usados en el estudio fueron formulados con mezclas de materiales inorgánicos con abonos orgánicos en diferentes proporciones. Los materiales inorgánicos usados fueron: perlita, arena de río y piedra pómez. La perlita usada fue perlita mineral expandida Multiperl Hortícola (Cd. de México, México), la arena de río fue obtenida localmente, cribada, y desinfectada con ácido sulfúrico al 1%; y la piedra pómez fue adquirida localmente en forma granulada. Los abonos orgánicos usados fueron: lombricomposta, estiércol bovino solarizado, y compost mineralizado. La lombricomposta fue producida en el lombricario del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) a partir de estiércol bovino obtenido localmente. El estiércol bovino solarizado se obtuvo colocando estiércol bovino en una pila de solarización del ITT para eliminar patógenos de plantas, así como semillas y propágulos de maleza. La solarización del estiércol bovino se realizó por tres meses, alcanzando hasta 70 °C dentro de la pila de solarización. El compost mineralizado fue adquirido en Agro orgánicos Vaia S. de P.R. de R.L. (Cd. Lerdo, Durango, México). Los materiales orgánicos fueron caracterizados químicamente antes de la formulación de sustratos (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Propiedades químicas de lombricomposta y estiércol bovino solarizado usados en la formulación de sustratos orgánicos para producción de tomate grape en casa sombra.

Material orgánico	CE (dS m ⁻¹)	pH	MO (%)	CIC (meq 100 g ⁻¹)	PSI	N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	P ₂ O (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)
Lombricomposta	3.21	7.91	7.04	9	2.99	13.72	15.33	198.5
Estiércol Bovino Solarizado	3.26	7.96	8.80	7	2.76	9.25	16.53	228.5

CE: Conductividad eléctrica; MO: Contenido de materia orgánica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; PSI: Porcentaje de sodio intercambiable; N-NO₃: Concentración de iones de nitrato; P₂O: Concentración de iones de fósforo; K₂O: Concentración de iones de potasio.

Tratamientos

Los tratamientos aplicados en el estudio fueron cuatro sustratos formulados con mezclas de abonos orgánicos y materiales inorgánicos y un sustrato control. Los sustratos formulados fueron los siguientes: T1 (sustrato formulado con 84% arena + 12% lombricomposta + 4% estiércol bovino

solarizado); T2 (sustrato formulado con 80% arena + 5% lombricomposta + 5% estiércol bovino solarizado + 10% piedra pómez); T3 (sustrato formulado con 80% arena + 10% lombricomposta + 10% compost mineralizado); T4 (sustrato formulado con 85% arena + 15% lombricomposta); T5 (sustrato control formulado con 80% arena + 10% perlita + 10% piedra pómez irrigado con solución Steiner). Los sustratos fueron colocados en bolsas plásticas de 10 kg, con una planta por bolsa. Cada tratamiento tuvo cinco plantas, las cuales fueron irrigadas diariamente con agua potable (1 L día⁻¹ a cada planta) en los cuatro sustratos orgánicos, mientras que el tratamiento control fue irrigado con solución Steiner (Steiner 1984), aplicando un litro por día a cada planta.

Tabla 2. Caracterización química de compost mineralizado usado en la formulación de sustratos orgánicos para producción de tomate grape en casa sombra

Determinación	Concentración (%)	Determinación	Concentración (%)
Humedad	11.22	Potasio	3.08
Materia seca	88.78	Calcio	8.8
Nitrógeno total	1.52	Magnesio	1.44
N-NO ₃	12.4	Sodio	0.95
N-NH ₄	12.0	Hierro	0.22
Materia orgánica	40.4	Zinc	0.04
Carbón total	23.5	Manganeso	0.05
Fósforo P ₂ O ₅	2.47	Cobre	0.07

Determinación de variables nutraceuticas en los frutos

Las pruebas realizadas de calidad nutraceutica de los frutos fueron: contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, y licopeno; y capacidad antioxidante.

Preparación de muestras para análisis

Los frutos de tomate grape cosechados fueron lavados durante 2 min con agua potable, y luego se colocaron en el liofilizador durante 5 días. Finalmente, el material deshidratado fue pulverizado manualmente (utilizando mortero y pistilo) y almacenado en tubos de plástico a -18 °C hasta la obtención de extractos.

Obtención de extractos

Se mezclaron 100 mg de muestra seca en 5 mL de metanol en tubos de plástico con tapa de rosca, los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR Inc., EU) durante 72 h a 20 rpm a temperatura ambiente (25 °C). Los tubos luego fueron centrifugados durante 5 min a 3000 rpm, y finalmente fue extraído el sobrenadante para su análisis (extracto).

Contenido total de fenólicos

El contenido total de fenólicos se determinó mediante una modificación del método Folin-Ciocalteu citado por Esparza-Rivera *et al.* (2006). Treinta µL de extracto fueron mezclados con 270 µL de agua destilada en un tubo de ensaye, y se le agregaron 1.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu

(Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EU) diluido (1:15) a esta mezcla, agitando en vórtex durante 10 s. Luego de 5 min se añadieron a la mezcla 1.2 mL de carbonato de sodio al 7.5%, y se agitó en vórtex durante 10 s. El tubo con la solución fue colocado por 15 min en un baño maría a 45 °C, y después se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución fue leída en un espectrofotómetro HACH 4000 a una longitud de onda de 765 nm. El contenido total de fenólicos se calculó utilizando una curva estándar preparada con ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri, EU), y los resultados se expresaron en miligramos de ácido gálico equivalente por 100 g de muestra base fresca (mg equiv AG 100 g⁻¹ BF). Los análisis se realizaron por triplicado.

Contenido total de flavonoides

El contenido total de flavonoides se determinaron mediante una modificación del método citado por Rochín-Wong *et al.* (2009). En un tubo de ensaye fueron mezclados 250 µL de agua destilada con 250 µL de extracto. Luego se le añadieron a la mezcla 75 µL de NaNO₂ al 5%, y 750 µL de una solución de AlCl₃ al 10%, dejando reposar por 1 min. Finalmente se añadieron 500 µL de NaOH 1 M al tubo con la mezcla, y se aforó a 10 mL con agua destilada. La mezcla fue leída en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm, y el contenido total de flavonoides se reportó en mg equivalentes de quercetina 100 g⁻¹ de base fresca.

Contenido de licopeno

El contenido total de licopeno se determinó usando una modificación del método citado por Berra (2012), basado en el método cromatográfico publicado por Barba *et al.* (2006). Se mezclaron 200 mg de muestra seca (tomate liofilizado) con 5 mL de una solución cloroformo: metanol (5:1), y se agitó la mezcla muestra-solventes en un agitador rotatorio a 20 rpm por 24 h en ausencia de luz. Luego fue extraída la fase de cloroformo-muestra y se centrifugó por 10 min a 4000 rpm. Después la fase cloroformo-muestra se filtró en una columna de separación empacada con sulfato de sodio (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, E.U.) activado, y el cloroformo fue evaporado en un rotavapor. El residuo obtenido fue almacenado a -20 °C hasta su análisis. El residuo se reconstituyó usando cloroformo grado cromatográfico (Sigma), y luego se filtró el residuo reconstituido en un filtro de membrana de acetato de celulosa de 0.20 µm previamente a su inyección en un cromatógrafo de alta resolución Hewlett Packard (Serie 1200, Palo Alto, Calif., E.U.) usando el software Chem Station para CL (Agilent Technologies, Palo Alto, Calif., E.U.). El licopeno fue eluido en una columna C18 Supelco (150 mm x 5.0 µm x 0.5 cm) a un flujo de 0.5 mL min⁻¹, usando una mezcla 50:50 de acetonitrilo y metanol al 70% como fase móvil, siendo ambos solventes de grado cromatográfico (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, E.U.). El efluente fue monitoreado en un detector de arreglo de diodos a una longitud de onda de 472 nm, y el contenido total de licopeno fue calculado usando una curva estándar de licopeno (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, E.U.). Los resultados fueron reportados en miligramos de licopeno 100 g⁻¹ base fresca, y los análisis se realizaron por duplicado.

Capacidad antioxidante equivalente de Trolox (método ABTS^{•+})

La capacidad antioxidante equivalente de Trolox se evaluó mediante el método *in vitro* ABTS^{•+} publicado por Esparza-Rivera *et al.* (2006). Una solución de ABTS^{•+} fue preparada mezclando 40 mg de ABTS (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU) y 1.5 g de dióxido de manganeso (Fermont, Nuevo

León, México) en 15 mL de agua destilada. La mezcla de ABTS^{•+} se agitó vigorosamente y luego se dejó reposar durante 20 min protegida de la luz. Después la solución fue filtrada en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, Buckinghamshire, Reino Unido), y se ajustó la absorbancia de la solución ABTS^{•+} a 0.700 ± 0.010 a una longitud de onda de 734 nm usando solución buffer de fosfato 5 mmol. La determinación de capacidad antioxidante se realizó mezclando 100 μ L de muestra y 1 mL de solución ABTS^{•+}, y después de 90 s de reacción se leyó la absorbancia de la mezcla muestra-solución ABTS^{•+} a 734 nm. Los resultados se obtuvieron usando una curva patrón preparada con Trolox como estándar (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU), y fueron reportados como capacidad antioxidante equivalente en mmol equivalente de Trolox 100 g⁻¹ base fresca. Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico de datos

El estudio se llevó a cabo usando un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (cuatro tratamientos con sustratos orgánicos y un tratamiento testigo), con cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados se analizaron mediante un ANOVA unifactorial usando el software SAS versión 8 (SAS 2005), y las diferencias entre medias se determinaron mediante una prueba de comparación múltiple de Fisher ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Contenido de fenólicos totales

El mayor contenido total de compuestos fenólicos (CCFe) en el tomate grape producido en el presente estudio se observó en los frutos obtenidos en el sustrato T4 (arena con 15% lombricomposta), con 50.78 mg equiv de AG 100 g⁻¹ BF, mientras que el menor CCFe se observó en los frutos producidos en los sustratos T3 y T2 con valores entre 35.46 y 35.43 mg equivalente de AG 100 g⁻¹ BF, respectivamente (Tabla 3). Los resultados del CCFe en frutos de tomate grape estuvieron entre 35.43 y 50.78 mg equivalentes de AG 100 g⁻¹ BF, los cuales resaltan la ventaja de usar este tipo de sustratos para producir tomate grape orgánico de alta calidad nutraceutica.

Tabla 3. Calidad nutraceutica de tomate grape producido en diferentes sustratos orgánicos bajo condiciones de casa sombra.

Tratamientos	Contenido de fenólicos*	Contenido de flavonoides**	Contenido de licopeno***
T1: 84% arena + 12% Lomb + 4% EBS	42.09 ^{bc}	35.78 ^a	1.27 ^{ab}
T2: 80% arena + 10% PPomez + 5% Lomb + 5% EBS	35.43 ^c	29.92 ^a	1.16 ^{bc}
T3: 80% arena + 10% Lomb + 10% CM	35.46 ^c	32.69 ^a	1.04 ^c
T4: 85% arena + 15% Lomb	50.78 ^a	33.63 ^b	1.33 ^a
T5: 80% arena + 10% perlita + 10% PPomez	46.25 ^{ab}	32.63 ^c	1.33 ^a

* Resultados en mg equivalente de ácido gálico 100 g⁻¹ base fresca. ** Resultados en mg equivalente de quercetina 100 g⁻¹ base fresca. *** Resultados en mg 100 g⁻¹ base fresca. Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de Fisher ($P < 0.05$). Valores en columnas con distinta letra minúscula son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). Lomb: Lombricomposta; EBS: Estiércol bovino solarizado; CM: Compost mineralizado; PPomez: Piedra pómez.

Contenido de flavonoides totales

Los resultados del contenido de compuestos flavonoides (CCFI) en tomate grape orgánico estuvieron en un rango de 29.92 a 35.78 mg equiv de quercetina 100 g⁻¹ base fresca, y se encontraron diferencias significativas en el contenido de flavonoides totales entre los tratamientos ($P < 0.05$, Tabla 3). El mayor contenido de flavonoides se encontró en el tomate grape producido en el tratamiento T1 (35.78 mg equiv de quercetina 100 g⁻¹ base fresca), mientras que el tomate producido en el sustrato T5 (Sustrato control con nutrición inorgánica) tuvo el menor CFI (32.63 mg equiv de quercetina 100 g⁻¹ base fresca, Tabla 3). El contenido de flavonoides totales del tomate grape producido en este estudio es mayor al reportado en otros estudios.

Contenido de licopeno

El contenido de licopeno del tomate grape orgánico producido en casa sombra estuvo en el rango de 1.04 a 1.33 mg 100g⁻¹ base fresca (Tabla 3). Los frutos de tomate grape con mayor contenido de licopeno en el experimento fueron producidos en los sustratos T4 (arena con 15 % de lombricomposta), y T5 (sustrato control con nutrición inorgánica) (1.33 mg 100 g⁻¹ base fresca), mientras que el menor contenido de licopeno se encontró en el tratamiento T3 (arena con lombricomposta y compost mineralizado) con un valor de 1.04 mg 100 g⁻¹ base fresca. El mayor contenido de licopeno en el tomate grape producido en el sustrato formulado con arena y 15% de lombricomposta indica que es recomendable la producción de tomate grape orgánico con alto contenido de licopeno usando mezclas de arena de río y lombricomposta como sustrato.

Capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos indican que hubo diferencia significativa en la capacidad antioxidante de los frutos de tomate producidos atribuible a los sustratos usados en el presente estudio ($P < 0.05$, Figura 1). La mayor capacidad antioxidante se encontró en el tomate grape producido en los sustratos de los tratamientos T4 (arena + 15% lombricomposta) y T5 (control irrigado con solución Steiner) siendo estadísticamente iguales con un valor de 206.36 y 207.32 mmol equiv de Trolox 100 g⁻¹ base fresca, mientras que la capacidad antioxidante más baja se encontró en el tratamiento T3 con un valor de 134.09 mmol equiv de Trolox 100 g⁻¹ base fresca (Figura 1). La capacidad antioxidante del tomate grape orgánico fue de 134.01 a 207.32 mmol equiv de Trolox 100 g⁻¹ base fresca, valores que son mayores a los obtenidos por otros investigadores. Lo cual indica que los sustratos usados en el presente estudio formulados con arena de río y lombricomposta son una buena opción para la producción orgánica de tomate grape con alta calidad nutraceutica.

DISCUSIÓN

Contenido de fenólicos totales

La importancia del contenido de antioxidantes no enzimáticos tales como compuestos fitoquímicos contenidos en los alimentos radica en su participación como agentes defensivos en las células (Zárate *et al.* 2021), destacando los compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas, y carotenoides provenientes de los productos vegetales. El mayor contenido de compuestos fenólicos en el tomate grape producido en el presente estudio fue en los frutos obtenidos en el sustrato formulado con

arena y 15% lombricomposta, lo cual pudiera ser atribuido a la exposición de las plantas a estrés por salinidad, debido al contenido de lombricomposta usado en la formulación de dicho sustrato. Las concentraciones de fitoquímicos en una planta están determinadas por numerosos factores que incluyen el genotipo, la madurez y el ambiente. Sin embargo, cuando las plantas o los productos vegetales son sometidas a algún tipo de estrés, ya sea salino, hídrico, por temperatura o ataque de plagas tienden a concentrar metabolitos secundarios que les permiten protegerse ante estos factores, como fenólicos y carotenoides (Jacobo-Velázquez *et al.* 2021). Por otro lado, el tomate grape con menor contenido de compuestos fenólicos fue producido en el sustrato formulado con arena, 10% de compost mineralizado y 10% de lombricomposta (T3). que aporta un contenido de nutrientes adecuado y representa un nivel bajo o nulo de estrés para las plantas. Los resultados del contenido de compuestos fenólicos en el tomate grape producido en el presente estudio (35.43 a 50.78 mg equiv de ácido gálico 100 g⁻¹ base fresca) coinciden con los reportados en tomate orgánico por Rapa *et al* (2021); esto resalta la ventaja de usar este tipo de sustratos para producir tomate grape orgánico de alta calidad nutraceutica.

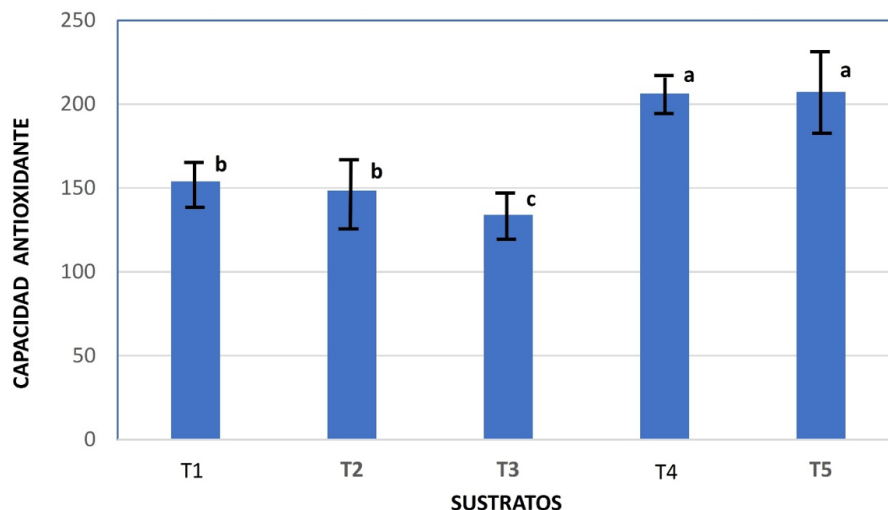


Figura 1. Capacidad antioxidante de tomate grape producido en diferentes sustratos orgánicos bajo condiciones de casa sombra (Medias ± Desviación Estándar). Resultados en mmol equivalente de Trolox 100 g⁻¹ base fresca. Diferencias entre medias fueron obtenidas mediante una prueba de comparación múltiple de Fisher ($P < 0.05$). Distinta letra minúscula en las columnas indica que son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). T1 (sustrato formulado con 84% arena + 12% lombricomposta + 4% estiércol bovino solarizado); T2 (sustrato formulado con 80% arena + 5% lombricomposta + 5% estiércol bovino solarizado + 10% piedra pómez); T3 (sustrato formulado con 80% arena + 10% lombricomposta + 10% compost mineralizado); T4 (sustrato formulado con 85% arena + 15% lombricomposta); T5 (sustrato control formulado con 80% arena + 10% perlita + 10% piedra pómez irrigado con solución Steiner).

Contenido de flavonoides totales

Los flavonoides son compuestos antioxidante capaces de neutralizar radicales libres, destacando el ácido cafeico (Cizmarova *et al.* 2020) y el ferúlico (Li *et al.* 2021). El contenido de flavonoides totales del tomate grape producido en este trabajo (29.92 a 35.78 mg equiv de quercetina 100 g⁻¹

base fresca), es mayor que el contenido de flavonoides reportado por Muñoz-Jauregui *et al.* (2007) en tomate de árbol. Asimismo, el contenido de flavonoides en los frutos producidos en los sustratos orgánicos fue mayor que en el tomate producido con fertilización química. Estos resultados resaltan la ventaja del uso de sustratos orgánicos para la producción de frutos de tomate con alta calidad nutraceutica.

Contenido de licopeno

Una estrategia de mejoramiento de la calidad de los productos vegetales es la aplicación de estrés abiótico en plantas con la finalidad de obtener un cierto grado de tolerancia, principalmente debido al aumento de la producción endógena de compuestos fitoquímicos defensivos (De-la-Asunción-Romero *et al.* 2024). El mayor contenido de licopeno en el tomate grape producido en el estudio se obtuvo usando el sustrato formulado con arena y 15% de lombricomposta. Este resultado pudiera ser atribuido al nivel de salinidad en dicho sustrato, ya que es uno de los principales factores de estrés abiótico que afectan el contenido fitoquímico en frutas y vegetales (Jacobo-Velázquez *et al.* 2021), por lo cual es recomendable la producción de tomate grape orgánico con alto contenido de licopeno usando mezclas de arena de río y lombricomposta como sustrato.

Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que aun en pequeñas concentraciones retardan o previenen el daño oxidativo causado por los radicales libres en las células o en sistemas alimentarios. La mayor capacidad antioxidante se tuvo en el sustrato control (fertilizado con nutrición química inorgánica, y en el sustrato formulado con arena y 15% de lombricomposta), que tuvo un mayor nivel de estrés por salinidad para las plantas, el cual es uno de los principales factores de estrés abiótico que afectan el contenido fitoquímico en frutas y vegetales (Jacobo-Velázquez *et al.* 2021). Los valores de capacidad antioxidante del tomate grape orgánico producido en el presente estudio son mayores a los obtenidos en tomate Saladette producido en condiciones de invernadero bajo fertilización orgánica (Rapa *et al.* 2021), lo que destaca que los sustratos usados en el presente estudio formulados con arena de río y lombricomposta son una buena opción para la producción orgánica de tomate grape con alta calidad nutraceutica.

CONCLUSIONES

Los sustratos con lombricomposta y arena formulados en el presente estudio demostraron que pueden ser usados para la producción orgánica en casa sombra de tomate grape con alta calidad nutraceutica, lo cual impulsaría el consumo de esta variedad de minitomates en México. Se requiere continuar evaluando la aplicación de niveles determinados de estrés durante los ciclos de producción agrícola con la finalidad de elevar la calidad comercial y nutraceutica de tomate grape.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de interés respecto al presente artículo.

LITERATURA CITADA

- Abid A, Boumaraf B, Saad I (2023) Effect of different organic amendment on some properties of oasis soil (Saharan region of Touggourt-Algeria). *Emirates Journal of Food and Agriculture* 35(4): 311-319. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i4.3031>
- Barba AIO, Cámara Hurtado M, Sánchez Mata MC, Fernández Ruiz V, López Saénza de Tejada M (2006) Application of a UV-vis detection -HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry* 95: 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.028>
- Berra WG (2012) HPLC method optimization and validation for determination of lycopene in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) Fruits. *Science, Technology and Arts Research Journal* 1: 14-26.
- Bhunja S, Bhowmik A, Mallick R, Mukherjee J (2021) Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. *Agronomy* 11: 823. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- Cizmarova B, Hubkova B, Bolerazska B, Marekova M, Birkova A (2020) Caffeic acid: A brief overview of its presence, metabolism, and bioactivity. *Bioactive Compounds in Health and Disease* 3(4): 74-81. <https://doi.org/10.31989/bchd.v3i4.692>
- De-la-Asunción-Romero R, Jiménez-Elizondo N, Morales-Herrera I (2024) Efectos del estrés abiótico aplicado en postcosecha sobre la acumulación de compuestos bioactivos. *Agronomía Mesoamericana* 35: 60233. <https://doi.org/10.15517/am.2024.60233>
- Esparza-Rivera JR, Stone MB, Stushnoff C, Pilon Smith E, Kendall PA (2006) Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 °C. *Journal of Food Science* 71: 270-276. <https://doi.org/10.25675/3.026137>
- González-Betancourt MDL, Gallegos-Robles MÁ, Sánchez-Chávez E, Orona-Castillo I, Espinosa-Palomeque B, López-Martínez JD (2020) Estiércol bovino solarizado en la producción de tomate bajo condiciones de malla sombra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(2): 253-262. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2299>
- Hakimi SS, Rainaand R, Saharawat YS (2022) Postharvest treatments and maturity stages impact sensory attributes and shelf life of tomato fruits var. Pearson kept in zero energy cool chamber. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 37(7): 586-594. <https://doi.org/10.9755/EJFA.2022.V34.I7.2893>
- Jacobo-Velázquez DA, Santana-Gálvez J, Cisneros-Zevallos L (2021) Designing next-generation functional food and beverages: Combining nonthermal processing technologies and postharvest abiotic stresses. *Food Engineering Reviews* 13: 592-600. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09244-x>/Published
- Junior SS, Casagrande JG, De-Lima Toledo CA, Da-Silva Ponce F, Da-Silva Ferreira F, Zanzuzo MR, Diamante MS, Pereira Lima GP (2022) Selection of thermotolerant Italian tomato cultivars with high fruit yield and nutritional quality for the consumer taste grown under protected cultivation. *Science Horticulturae* 291: 110559. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110559>
- Laranjeira T, Costa A, Faria-Silva C, Ribeiro D, De-Oliveira JMPF, Simoes S, Ascenso A (2022) Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bioactive compounds: Their potential in inflammation and cancer management. *Molecules* 27(5): 1701. <https://doi.org/10.3390/molecules27051701>
- Li Y, Zhou Y, Wang Z, Cai R, Yue T, Cui L (2021) Preparation and characterization of chitosan-nano-zno composite films for preservation of cherry tomatoes. *Foods* 10(12): 3135. <https://doi.org/10.3390/foods10123135>
- Márquez Hernández C, Cano RP, Figueroa VU, Avila DJA, Rodríguez DN, García HJL (2013) Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton- International Journal of Experimental Botany* 82(1): 55-61.

- Muñoz-Jáuregui AM, Ramos-Escudero DF, Alvarado-Ortiz CU, Castañeda Castañeda B (2007) Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química de Perú* 73(3): 142-149.
- Rani L, Thapa K, Kanojia N, Sharma N, Singh S, Grewal AS, Srivastav AL, Kaushal J (2021) An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production* 283: 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Rapa M, Ciano S, Ruggieri R, Vinci G (2021) Bioactive compounds in cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*): Cultivation techniques classification by multivariate analysis. *Food Chemistry* 355: 129630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129630>
- Rochín-Wong CS, Gámez-Meza N, Montoya-Ballesteros LC, Medina-Juárez LA (2009) Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12(2): 227-239.
- SAS (2005) Statistical Analysis System. SAS/STAT User's Guide, version 8, SAS Institute Inc., Cary, N.C., EU. <http://www.math.wpi.edu/saspdf/stat/pdfidx.htm>. Fecha de consulta: 15 de febrero del 2025.
- SE (1998) Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – Hortalizas frescas – Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – Especificaciones (Norma NMX-FF-031-1997-SCFI). Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/1998/nmx-ff-031-1998.pdf>. Fecha de consulta: 25 de noviembre del 2025
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. In: International Society for Soilless Culture (ed) *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. Lunteren, Netherlands. pp: 633-649.
- Ye S, Peng B, Liu T (2022) Effects of organic fertilizers on growth characteristics and fruit quality in Pear-jujube in the Loess Plateau. *Scientific Reports* 12: 13372. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17342-5>
- Zárate W, González S, Ramírez F, Robledo A, Juárez A (2021) Effect of phenolic acids on the antioxidant system of tomato plants. *Agronomía Mesoamericana* 32(3): 854-868. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.45101>