

Fertilización orgánica para mejorar calidad nutraceutica de híbridos de tomate y su efecto en las propiedades químicas del suelo

Organic fertilization to improve nutraceutical quality of tomato hybrids and its effect on the chemical properties of the soil

Erik Estrada-Arellano¹ , Bernardo Murillo-Amador² , Tomás Juan Álvaro Cervantes-Vázquez^{1,3} , Miguel Ángel Gallegos-Robles¹ , Manuel Fortis-Hernández³  y Cirilo Vázquez-Vázquez¹ 

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 35, ejido Venecia. 35111 Gómez Palacio, Durango, México.

² Autor para correspondencia (alvaro87tomas@hotmail.com)

³ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional no. 195. Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana. 27170. Torreón, Coahuila, México.

Editor de Sección: Dr. Pablo Preciado Rangel

RESUMEN

El tomate es el producto hortícola más cultivado en el mundo, su consumo tiene beneficios a la salud humana por el contenido de antioxidantes. Para satisfacer la demanda mundial de consumo se utilizan sistemas de producción de agricultura protegida con fuentes de fertilización de síntesis química. Debido al costo monetario y ambiental elevado, se deben encontrar fuentes alternas de fertilización como los abonos orgánicos que minimizan el impacto ambiental y genotipos que sean más productivos. Una de esas fuentes es el estiércol bovino, el cual es abundante en la Comarca Lagunera. El objetivo de este estudio fue determinar la mejor dosis de estiércol solarizado que incremente el rendimiento y la calidad nutraceutica de dos híbridos de tomate bajo condiciones de malla sombra. Los tratamientos correspondieron a un experimento factorial, originados de la combinación de los híbridos de tomate tipo saladette Palermo (Vilmorin®) y Sahariana (Syngenta®) y dosis de estiércol bovino (40, 60 Mg ha⁻¹), así como la fertilización química como control (CQ) (280-50-00 N-P₂O₅-K₂O) con tres repeticiones. Los resultados indican mayor contenido de antioxidantes en frutos de tomate con la interacción de estiércol bovino solarizado (60 Mg ha⁻¹)

y el híbrido Palermo. Sin embargo, las variables del suelo (CE, MO, NO₃⁻, NH₄⁺ y PO₄⁻³), se incrementaron con las dosis de 40 y 60 Mg ha⁻¹ de estiércol, por lo que se debe monitorear periódicamente el suelo ya que estas dosis pueden inhibir de forma importante el crecimiento vegetal del cultivo. Se obtuvo la mejor respuesta en el contenido de antioxidantes con la interacción del híbrido Palermo y el estiércol bovino, mejorando los compuestos fitoquímicos del fruto de tomate.

Palabras clave: abonos orgánicos, agricultura protegida, capacidad antioxidante, *Solanum lycopersicum* L.

SUMMARY

Tomato is the most cultivated horticultural product in the world, its consumption has benefits for human health due to its antioxidant content. To meet the global demand for its consumption, protected agriculture production systems are used with chemically synthesized fertilization sources. Due to the high monetary and environmental cost, alternative sources of fertilization must be found, such as organic fertilizers that minimize the environmental impact and genotypes that are more productive. One of these sources is bovine manure,

Cita recomendada:

Estrada-Arellano, E., Murillo-Amador, B., Cervantes-Vázquez, T. J. A., Gallegos-Robles, M. A., Fortis-Hernández, M. y Vázquez-Vázquez, C. (2022). Fertilización orgánica para mejorar calidad nutraceutica de híbridos de tomate y su efecto en las propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. e1613. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1613>

Recibido: 10 de junio de 2022. Aceptado: 12 de agosto de 2022.

Artículo. Volumen 40, diciembre de 2022.

which is abundant in Comarca Lagunera. The aim of this study was to determine the best dose of solarized manure to increase yield and nutraceutical quality of two tomato hybrids under shade mesh conditions. The treatments corresponded to a factorial experiment, which consisted of the combination of the Palermo (Vilmorin®) and Sahariana (Syngenta®) saladette tomato hybrids and doses of bovine manure (40, 60 Mg ha⁻¹), as well as a chemical fertilization as control (CQ) (280-50-00 N-P₂O₅-K₂O) with three repetitions. The results indicate a higher content of antioxidants in tomato fruits with the interaction of solarized bovine manure (60 Mg ha⁻¹) and the Palermo hybrid. However, the soil variables (CE, MO, NO₃⁻, NH₄⁺ and PO₄⁻³) increased with the doses of 40 and 60 Mg ha⁻¹ of manure. Hence, the soil should be monitored periodically as these doses can significantly inhibit the plant growth of the crop. The best response in antioxidant content was obtained with the interaction of the Palermo hybrid and bovine manure, improving the phytochemical compounds of the tomato fruit.

Index words: *organic fertilizers, protected agriculture, antioxidant capacity, Solanum lycopersicum L.*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es el vegetal más consumido y producido a nivel mundial, siendo un alimento funcional por el contenido de sustancias bioactivas que benefician la salud humana (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2020), como lo son los antioxidantes, que reparan el daño celular, previenen el cáncer y el envejecimiento (Gaucín-Delgado *et al.*, 2020). El mayor productor mundial es China con 125 700 000 Mg en el 2019 (FAOSTAT, 2022). En el 2020, México produjo 3 370 826.65 Mg y la producción de tomate con agricultura protegida se incrementó en un 67% en el periodo 2010-2020 de 733 177 a 2 265 808 Mg, respectivamente (SIAP, 2022). En el 2020, en el estado mexicano de Durango se produjeron 11 618 Mg, siendo una importante región productiva la Comarca Lagunera con 695 ha de malla sombra, con un rendimiento de 132 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2022). La práctica común de manejo para tomate bajo un sistema protegido, consiste en aplicar fertilizantes químicos sintéticos y usar híbridos de tomate con características agronómicas resistentes a factores bióticos y abióticos (Preciado-Rangel *et al.*, 2011; López-Martínez *et al.*, 2016), lo cual eleva

los costos de producción. Derivado de lo anterior, se ha demostrado que el uso de abonos orgánicos es una alternativa sostenible ya que incrementan el rendimiento y la calidad nutraceutica de los frutos (Sánchez-Hernández *et al.*, 2016; Fortis-Hernández *et al.*, 2018). El estiércol es el mayor abono orgánico utilizado en la región por su abundancia, existe un hato ganadero importante con 720 000 cabezas de ganado (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2020). Sin embargo, es una práctica común que el estiércol se aplique sin un tratamiento previo y hasta en dosis de 150 Mg ha⁻¹, exacerbando el problema de salinidad del suelo y de salud de la región por la cantidad de sales y patógenos presentes (Acevedo-Peralta, Leos, Figueroa y Romo, 2018; García-Galindo *et al.*, 2019). Por tal motivo el estiércol crudo es sometido a un proceso de desinfección conocido como solarización el cual es económico ya que aprovecha las altas temperaturas de la región en los meses más cálidos mediante un plástico antialbedo, el cual asegura la eliminación de los patógenos y semillas de maleza (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2010). Con base a lo anterior el objetivo fue determinar la mejor dosis de estiércol solarizado que mejore el rendimiento y calidad nutraceutica de híbridos de tomate bajo condiciones de malla sombra en la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

La investigación se realizó en el campo experimental (CAE) de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del estado de Durango ubicado en la Comarca Lagunera de Durango, con localización geográfica 25° 46' 56" N y 103°21' 02" O, a 1 110 m de altitud bajo condiciones de malla sombra, la cual consistió en una estructura de soporte de tubo de acero galvanizado con espesor 2 mm de 1.5" de diámetro, con una cobertura de malla antiáfidos (25×25 hilos por pulgada cuadrada) de polietileno color blanco con tratamiento contra de los rayos UV, con un 30% de sombreado.

Tratamientos

Se consideraron seis tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados se generaron de combinar dos híbridos de tomate (Palermo (Vilmorin®) y Sahariana (Syngenta®)), y tres dosis de

fertilización (dos dosis; D1 = 40 y D2= 160 Mg ha⁻¹ de estiércol solarizado y una fertilización química como control; CQ = 280-50-00 N-P-K (urea 46-00-00 y MAP 11-52-00). La estructura fue bajo un arreglo factorial 2×3, y la distribución en bloques al azar, con tres repeticiones. Cada unidad experimental constó de dos camas de siembra de 7 m largo, espaciadas cada 1.2 metros.

Solarización de Estiércol Bovino

El estiércol bovino se obtuvo crudo (1 semana después de ser evacuado) del establo de la FAZ y se solarizo por 93 días en el CAE de la FAZ en montículos de un metro de altura humedecidos y homogeneizados manualmente con una pala (55% m v⁻¹) y selladas con una cubierta plástica anti-albedo. La temperatura interna se monitoreo en el centro de la profundidad del montículo con ayuda de un termómetro digital de sonda larga GAIN EXPRESS® 68022 a las 16:00 horas en los meses de junio-agosto, la temperatura se incrementó llegando a 65 °C asegurando el proceso activo de desinfección de acuerdo a Vázquez-Vázquez *et al.* (2010). Las características químicas del estiércol bovino se muestran en el Cuadro 1. El estiércol bovino solarizado se incorporó en el rastreo 40 días antes del trasplante.

Variables Evaluadas en Suelo

Los parámetros de suelo se evaluaron al inicio del ciclo a dos profundidades (0 a 15 y de 15 a 30 cm) de acuerdo a la NOM-021 SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Se determinó pH, conductividad eléctrica (extracto de saturación), materia orgánica (Walkley y Black, 1934), nitratos-amonio (Kjeldahl,

Cuadro 1. Características químicas del estiércol bovino solarizado en el CAE de la FAZ.

Table 1. Chemical characteristics of solarized bovine manure in the CAE of the FAZ.

	MO	PSI	CE	pH	N	P
	- - - %	- - -	dS m ⁻¹		- - mg kg ⁻¹	- -
Estiércol solarizado	6.21	5.32	7.97	8.09	1.68	43.81

MO = materia orgánica; PSI = porcentaje de sodio intercambiable; CE = conductividad eléctrica; pH = potencial hidrógeno; N= NO₃⁻; P= PO₄⁻³.
 MO = organic matter; PSI = percentage of interchangeable sodium; CE = electrical conductivity; pH = hydrogen potential; N= NO₃⁻; P= PO₄⁻³.

1883) y fósforo (Olsen y Sommers, 1982) (Cuadro 2) y al final del experimento tomando una muestra de suelo por cada unidad experimental. Las características físico-químicas iniciales de suelo, corresponden a suelos con CE ligeramente salino, con contenido medio de MO y con un pH neutro, con una textura arcillosa lo que permite la retención de cationes, dando estabilidad al suelo (Sumner, 2000).

Manejo del Cultivo

Se usaron dos híbridos de tomate tipo de saledette adecuados a la región por su resistencia a alta luminosidad y baja humedad relativa Palermo (Vilmorin®) y Sahariana (Syngenta®).

En dos charolas para germinación de 200 cavidades (una charola por híbrido de tomate) y utilizando Peat Moss (Terracult®) como sustrato, se sembró una semilla por cavidad. Posteriormente, se regó por asperjado y se cubrió con un plástico negro en condiciones ambientales de 25±3 °C y una humedad relativa de 45% (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2020). La germinación se registró a los 8 días después de la siembra (dds). Cuando las plántulas de tomate tenían de cuatro a cinco hojas verdaderas con alturas promedio de 12.5 cm (38 dds), se trasplanto en camas de siembra con una distancia entre plantas de 15 cm, con una densidad de plantación de 66 000 plantas ha⁻¹. El riego fue por cintilla (DripNet PC™) con espacio entre gotero de 30 cm (2 L h⁻¹) dos veces por semana considerando una evapotranspiración media del 80% del tanque evaporímetro tipo A. Las plantas se podaron a un tallo a los 60 días después del trasplante (ddt). Se guiaron con rafia de polipropileno negro calibre seis. Se cosechó cuatro veces a los 86, 92, 100 y 111 ddt manualmente

Cuadro 2. Características físico-químicas al inicio del ciclo vegetativo a dos profundidades.

Table 2. Physical-chemical characteristics at the beginning of the vegetative cycle at two depths.

Profundidad	CE	pH	MO	NO ₃ ⁻	P	Textura
cm	dS m ⁻¹		%	- mg kg ⁻¹	-	
0-15	3.9	7.2	3.5	9	8	Arcillosa
0-30	2.0	6.8	3.2	6	2.68	

CE= conductividad eléctrica; pH = potencial hidrógeno; MO= materia orgánica; NO₃⁻= nitratos; P= fosforo disponible.
 CE= electric conductivity; pH = hydrogen potential; MO= organic material; NO₃⁻= nitrates; P= available phosphorus.

con ayuda de guantes y tijeras esterilizadas hasta la formación de 9 racimos por planta, cuando los frutos presentaban un color rosado (30 a 60%) de acuerdo a la clasificación de color (Coromoto-Alcedo y Reyes, 2018).

Variables Evaluadas en Planta

Diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso de fruto y sólidos solubles. Para el peso de fruto de cada una de las cuatro cosechas se seleccionaron 16 frutos al azar de cada tratamiento, y se pesaron mediante una báscula digital (Ohaus® 3729). Los diámetros polar y ecuatorial se midieron con un calibrador milimétrico analógico (Truper® 14394). Posteriormente se licuaron tres de los frutos con ayuda de un procesador (Oster® FPSTFP1355) y se homogenizó, se colocó una gota en el refractómetro digital Atago® PAL-1) para evaluar los sólidos solubles (°Brix).

Nitratos (NO_3^-) en el extracto celular de peciolo y NO_3^- en fruto fresco de tomate. Durante el experimento a los 86, 92, 100 y 111 ddt se midió NO_3^- (mg L^{-1}) en el extracto celular de peciolos en 10 hojas seleccionadas al azar, se tomó el peciolo de la tercera hoja debajo del punto de crecimiento de cada tratamiento (Castro-Brindis *et al.*, 2000), así como en tres frutos, se maceraron manualmente con un mortero el material vegetal y se midió el contenido de NO_3^- con una prueba rápida utilizando el equipo Cardy Horiba® C-141.

Obtención de extractos para contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y licopeno. Se tomó la media de las cuatro cosechas, se analizaron cinco frutos de cada tratamiento, se lavaron y se enjuagaron con agua corriente del grifo para eliminar cualquier impureza durante 2 minutos y se liofilizó (Labconco® 74000) durante cinco días. Posteriormente el material seco fue pulverizado manualmente (utilizando mortero y pistilo), almacenándose en tubos de plástico a -18°C hasta la obtención del extracto. Se mezclaron 100 mg de muestra seca en 5 mL de metanol al 80% en tubos plásticos herméticos con tapa de rosca, los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR® AJ118) durante 72 h a 20 rpm a temperatura ambiente (25°C) (Ponce-Fernández, Pollorena, Rosas, Osuna y López, 2021). Los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm durante 5 minutos y el sobrenadante fue extraído y se procedió a determinar el contenido fenólico total, usando una modificación del método Folin-Ciocalteu (Esparza-Rivera, Stone, Stushnoff, Pilon y Kendall,

2006) expresado en mg de ácido gálico equivalente por 100 g de muestra peso fresco de tomate (mg equiv AG 100 g PF), la capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método in vitro ABTS^{•+} publicado por Esparza-Rivera *et al.* (2006) se reportaron como capacidad antioxidante equivalente en mM equivalente en Trolox por 100 g peso fresco (mM equiv Trolox 100 g PF) y para el contenido de licopeno se usó el método cromatográfico basado en el método citado por Barba, Cámara, Sánchez, Fernández y López (2006), todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de las variables de respuesta de los factores bajo estudio, así como sus interacciones, fueron analizados por análisis de varianza mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute, 1999). Se utilizó la prueba de Tukey ($P = 0.05$) para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables del Suelo

Se encontraron diferencias significativas para todas las variables del suelo (Cuadro 3). Los tratamientos con 60 Mg ha^{-1} de estiércol solarizado presentaron los valores más altos de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), NO_3^- , NH_4^+ y fósforo (P) en la profundidad de 15 centímetros.

pH y Conductividad Eléctrica

El pH no mostró diferencias significativas, encontrándose un valor promedio de 7.6 en la profundidad de 15 cm. La CE no tuvo diferencias significativas para las dosis de estiércol aplicadas en ninguna profundidad de suelo. Sin embargo, se encontró diferencia para el tratamiento control químico con la menor CE (3.51 dS m^{-1}) (Cuadro 3). Esto indicó que las dosis aplicadas de estiércol tuvieron efecto en el incremento de la CE en el suelo. Es importante monitorear las dosis de estiércol aplicadas, ya que la mineralización de la materia orgánica presente en los abonos orgánicos libera sales solubles (aniones y cationes), incrementando la conductividad eléctrica y generando problemas de salinidad e inhibición de

Cuadro 3. Características físico-químicas de suelo a dos profundidades al finalizar el ciclo vegetativo. Donde (subíndice 1= 0-15 cm y subíndice 2= 15-30 cm).

Table 3. Physical-chemical characteristics of the soil at the end of the vegetative cycle. At two depths (subscript 1= 0-15 cm, subscript 2= 15-30 cm).

Tratamiento	CE ₁	CE ₂	pH ₁	pH ₂	MO ₁	MO ₂	NO ₃ ⁻ ₁	NO ₃ ⁻ ₂	NH ₄ ⁺ ₁	NH ₄ ⁺ ₂	P ₁	P ₂
	dS m ⁻¹				- - - - % - - - -				- - - - mg kg ⁻¹ - - - -			
D1	4.07 a*	2.97 a	7.64 a	7.62 a	2.93 a	2.59 a	82.30 b	57.83 a	17.26 a	21.09 a	43.38 a	37.16 b
D2	4.20 a	3.11 a	7.77 a	7.72 a	3.00 a	2.79 a	88.65 a	57.95 a	18.07 a	17.59 b	43.54 a	40.73 a
CQ	3.51 b	2.93 a	7.67 a	7.55 b	2.50 b	2.64 a	23.40 c	35.39 b	12.29 b	13.25 c	38.24 b	28.10 c

D1 = 40 Mg ha⁻¹ de estiércol solarizado; D2 = 60 Mg ha⁻¹ de estiércol solarizado; CQ = control químico (280-50-00 N-P-K); CE = conductividad eléctrica; pH = potencial de hidrógeno; MO = materia orgánica; NO₃⁻ = nitratos; NH₄⁺ = amonio; P = fósforo. * Dentro de columnas, medias con diferentes letras son estadísticamente significativas (Tukey P = 0.05).

D1 = 40 Mg ha⁻¹ of solarized manure; D2 = 60 Mg ha⁻¹ of solarized manure; CQ = chemical control (280-50-00 N-P-K); CE = electrical conductivity; pH = hydrogen potential; MO = organic matter; NO₃⁻ = nitrates; NH₄⁺ = ammonium; P = phosphorus. * Within columns, means with different letters are statistically significant (Tukey P = 0.05).

crecimiento vegetal (Trejo-Escareño, Salazar, López y Vázquez, 2013; Atienza-Martínez, Ábrego, Gea y Marías, 2020).

Materia Orgánica

El mayor porcentaje de MO en suelo fue de 3% para la dosis con 60 Mg ha⁻¹ de estiércol, siendo estadísticamente similar a la dosis de 40 Mg ha⁻¹ a la profundidad de 15 cm (Cuadro 3). Por otro lado, el control químico fue el más bajo. Este incremento de materia orgánica evidencia un beneficio al suelo por la aplicación del estiércol (Carmo, Lima y Silva, 2016; Yang *et al.*, 2016).

Nitratos y Amonio

Con 60 Mg ha⁻¹ de estiércol se encontraron los valores más altos para nitratos y amonio en la profundidad 15 cm con 88.65 mg kg⁻¹ y 18.07 mg kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 3). El tratamiento control es inferior estadísticamente a los tratamientos con estiércol en el contenido de nitratos y amonio en el suelo. Fortis-Hernández *et al.* (2009), encontraron que la mineralización de la materia orgánica es superior en profundidades inferiores a 30 cm, por las condiciones físicas que facilitan la actividad enzimática de los microorganismos (Rivera y Martín, 2004). Además, se asegura la conversión de nitrógeno orgánico a formas asimilables para las plantas como lo son los nitratos y el amonio (Wang *et al.*, 2015; Zhou, Gu, Schlesinger y Ju, 2016).

Fósforo

Los tratamientos con estiércol (40 y 60 mg kg⁻¹) mostraron los valores más altos de fósforo con 43 mg kg⁻¹, siendo estadísticamente iguales entre ellos, pero superiores al control (Cuadro 3). Karami, Homae, Afzalnia, Ruhipour y Basirat (2012), reportan que los contenidos de fósforo en el suelo se ven afectados significativamente por la aplicación de estiércol bovino.

Diámetro Polar, Diámetro Ecuatorial, Peso de Fruto Fresco y Rendimiento de Tomate

Existe diferencia significativa para el rendimiento de los frutos de tomate por el efecto de las aplicaciones de estiércol, mientras que para los híbridos solo muestran diferencia para el diámetro ecuatorial (Cuadro 4). El híbrido Sahariana tuvo el mayor diámetro ecuatorial (48.803 mm). El tamaño de fruto fue mayor para el híbrido Sahariana, en promedio en un 10%, en comparación con el híbrido Palermo. Esto difiere a lo reportado por Márquez-Hernández *et al.* (2013), Luna-Murillo *et al.* (2015) y González *et al.* (2016), quienes si encontraron diferencias significativas para el diámetro polar y diámetro ecuatorial en fruto de tomate producidos con abonos orgánicos. En general, el rendimiento se incrementó a mayor dosis de estiércol (Cuadro 4). El mayor rendimiento (95.223 Mg ha⁻¹) fue superior al tratamiento con 40 Mg ha⁻¹ de estiércol, en un 9% con la dosis de 60 Mg ha⁻¹ de estiércol. Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) reportaron que en dosis superiores a 100 Mg ha⁻¹ de estiércol el cultivo

Cuadro 4. Efecto de los híbridos de tomate y dosis de estiércol en el diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento de fruto fresco de tomate.

Table 4. Effect of tomato hybrids and manure dose on polar diameter, equatorial diameter and yield of fresh fruit of tomato.

Factor	Dp	De	Rendimiento
	mm	mm	Mg ha ⁻¹
Hibrido			
Palermo	55.560 a [†]	44.058 b	92.861 a
Sahariana	61.136 a	48.803 a	90.908 a
Fertilización			
40 Mg ha ⁻¹	58.098 a	46.522 a	87.150 b
60 Mg ha ⁻¹	60.087 a	47.830 a	95.223 a
Control	57.685 a	45.620 a	93.280 a
Hibrido	0.073 ns	0.043*	0.334 ns
Fertilización	0.918 ns	0.881 ns	0.013 *
Hibrido* Fertilización	0.940 ns	0.958 ns	0.468 ns

[†] Medias con diferentes letras en columnas son estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.05$). * y ns = significativa y no significativa según Tukey ($P = 0.05$).

[†] Means with different letters in the columns are statistically significant (Tukey $P = 0.05$). * y ns = significant and not significant according to Tukey ($P = 0.05$).

de tomate disminuye su producción en promedio 23%, encontrándose los mejores rendimientos con dosis entre 40 y 80 Mg ha⁻¹. Esta respuesta puede ser atribuida a la mejora la disponibilidad de nutrientes (Cuadro 3), ya que la correcta biodegradación de la materia orgánica presente en el estiércol, asegura la liberación gradual de nutrientes y bioestimulantes vegetativos, asegurando el suministro nutricional para las plantas (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020; Traoré *et al.*, 2022).

Nitratos (NO₃⁻) en Extracto Celular de Peciolo, Frutos y Sólidos Solubles

El contenido de nitratos (NO₃⁻) en fruto fresco, NO₃⁻ extracto celular de peciolo y sólidos solubles, solo fue afectado por los híbridos de tomate (Cuadro 5). Siendo Sahariana significativamente mayor al híbrido Palermo para NO₃⁻ en fruto y NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en un 75 y 52%, respectivamente. El contenido de nitratos en el extracto celular de peciolo fue superior a los del fruto ya que los nitratos son productos de asimilación metabólica vegetal, siendo necesarios para el crecimiento vegetal con actividad

Cuadro 5. Efecto del híbrido de tomate y dosis de estiércol en los NO₃⁻ de fruto, NO₃⁻ de savia de hoja y sólidos solubles.

Table 5. Effect of tomato hybrid and manure dose on NO₃⁻ from fruit, NO₃⁻ from leaf sap and soluble solids.

Factor	NO ₃ ⁻ fruto	NO ₃ ⁻ extracto celular de peciolo	Sólidos solubles
	mg L ⁻¹		° Brix
Hibrido			
Palermo	177.16 b [†]	1151.7 b	4.273 a
Sahariana	310.50 a	1756.7 a	4.010 b
Fertilización			
40 Mg ha ⁻¹	214.68 a	1556.7 a	4.001 a
60 Mg ha ⁻¹	257.57 a	1653.3 a	4.250 a
Control químico	225.14 a	1259.2 a	4.150 a
Hibrido	0.0025 *	0.0017 *	0.0493*
Fertilización	0.6164 ns	0.3153 ns	0.7921 ns
Hibrido* Fertilización	0.6058 ns	0.8741 ns	0.6489 ns

[†] Medias con diferentes letras en columnas son estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.05$). *ns = significativa y no significativa según Tukey ($P = 0.05$).

[†] Means with different letters in the columns are statistically significant (Tukey $P = 0.05$). * ns = significant and not significant according to Tukey ($P = 0.05$).

fotosintética (Salisbury y Ross, 1992). A pesar de que no existe diferencia significativa para los NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo y fruto, los valores más altos encontrados (1653.3 y 257.57 mg L⁻¹) fueron en las dosis con 60 Mg ha⁻¹ estiércol. Los NO₃⁻ se puede tomar como un indicador de disposición de nutrientes (Sánchez-Hernández *et al.*, 2016). Castro-Brindis *et al.* (2000), encontraron que existe una correlación aceptable entre los NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo y el rendimiento del cultivo, siendo una respuesta de la planta a las condiciones de disponibilidad de nutrientes presentes en las dosis de estiércol aplicado. Para los sólidos solubles, el híbrido Palermo, fue superior en un 7% al híbrido Sahariana (Cuadro 5). Indicando que la calidad organoléptica del fruto de tomate, fue superior en el híbrido Palermo ya que los sólidos solubles se relacionan con la dulzura o acidez (Cebolla-Cornejo *et al.*, 2011). En este estudio se obtuvieron valores superiores a 4 °Brix lo que se considera adecuado para el consumo de fruto fresco de tomate (Santiago y Borrego, 2016). Aunque no existe diferencia, el valor más alto de sólidos solubles (4.25) se obtuvo con 60 Mg ha⁻¹ estiércol. Es probable que la

dosis más alta de estiércol causo un estrés salino en la parte radical, propiciando la síntesis y acumulación de solutos en el fruto como azúcares (Salisbury y Ross, 1992) para equilibrar la presión osmótica y mantener hidratada la planta (Salas-Pérez *et al.*, 2016).

Calidad Nutraceútica: Compuestos Fenólicos Totales, Licopeno y Capacidad Antioxidante

El mayor contenido de fenoles totales (en un rango de 38.117 a 27.083 mg equiv AG· 100 g PF), licopeno (en un rango de 2.273 a 1.340 mg 100 g PF) y capacidad

antioxidante (en un rango de 364.90 a 261.433 μM equiv Trolox 100 g PF) se vio afectado principalmente por la dosis de estiércol de 60 Mg ha^{-1} . Los fenoles totales, el licopeno y la capacidad antioxidante fueron más altos en 24, 6 y 4%, respectivamente, en comparación al tratamiento químico (Cuadro 6). La interacción de los híbridos y dosis de estiércol tuvieron un efecto significativo superior al 6% en el contenido de fenoles totales, licopeno y capacidad antioxidante con relación al efecto simple de estos (Figura 1). El contenido antioxidante se incrementó al aumentar la dosis de estiércol (Figura 1c). En la interacción de

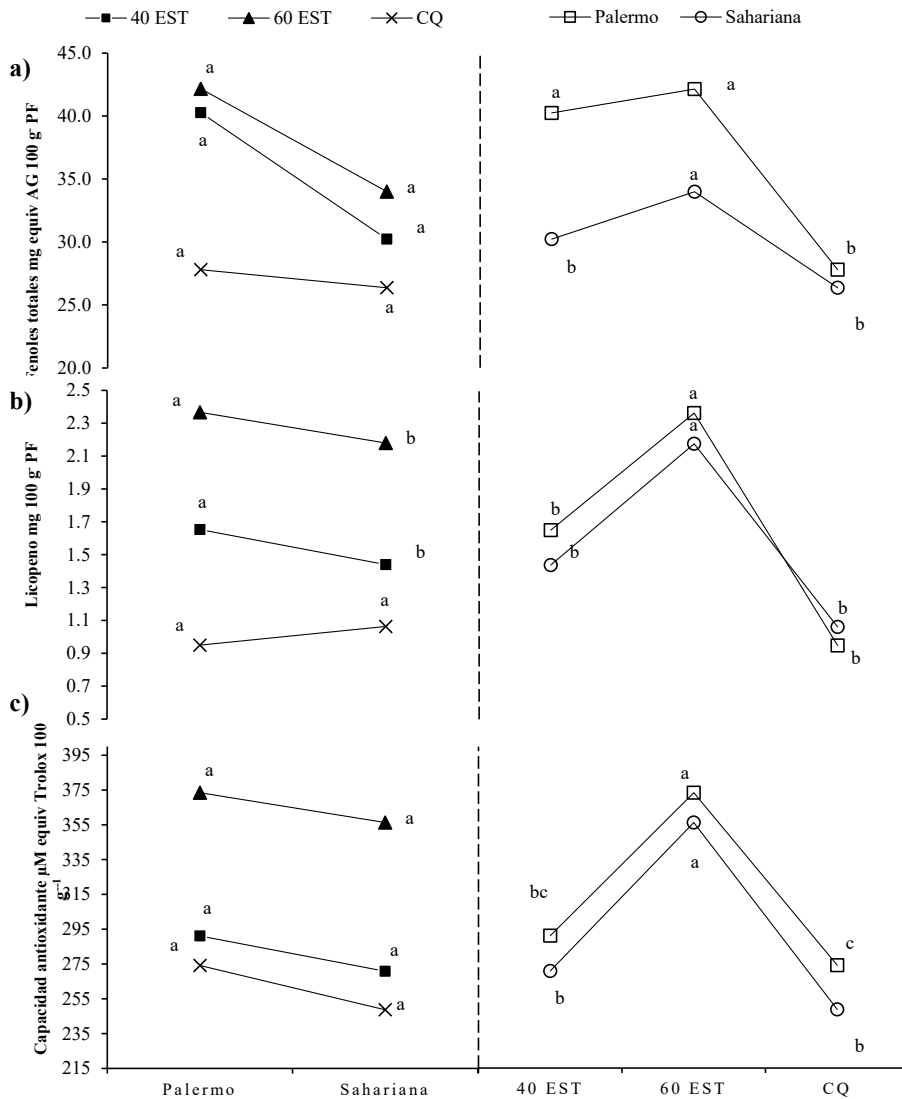


Figura 1. Interacción híbrido y fertilización para fenoles totales (a), licopeno (b) y capacidad antioxidante (c) en el fruto fresco de tomate. Letras adyacentes en la misma línea son estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.05$).

Figure 1. Hybrid interaction and fertilization for total phenols (a), lycopene (b) and antioxidant capacity (c) in fresh tomato fruit. Adjacent letters on the same line are statistically significant (Tukey $P = 0.05$).

Cuadro 6. Efecto del híbrido de tomate y dosis de estiércol en la calidad nutracéutica en fruto fresco de tomate.
Table 6. Effect of tomato hybrid and manure dose on nutraceutical quality in fresh tomato fruit.

Factor	Fenoles totales	Licopeno	Capacidad antioxidante
	mg equiv AG 100 g PF	mg 100 g PF	μM equiv Trolox 100 g PF
Híbrido			
Palermo	36.858 a [†]	1.588 a	290.674 a
Sahariana	29.666 b	1.495 b	279.358 b
Fertilización			
40 Mg ha ⁻¹	35.250 b	1.546 b	281.017 b
60 Mg ha ⁻¹	38.117 a	2.273 a	364.900 a
Control químico	27.083 c	1.340 c	261.433 c
Híbrido	<0.001*	0.0276*	<0.001*
Fertilización	<0.001*	<0.001*	<0.001*
Híbrido* Fertilización	0.0013*	0.0339*	<0.001*

[†] Medias con diferentes letras en columnas son estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.05$). * y ns = significativa y no significativa según Tukey ($P = 0.05$).

[†] Means with different letters in the columns are statistically significant (Tukey $P = 0.05$). * y ns = significant and not significant according to Tukey ($P = 0.05$).

60 Mg ha⁻¹ y el híbrido Palermo se obtuvo la mayor cantidad de fenoles totales (42.17 mg equiv AG 100 g PF) (Figura 1b), licopeno (2.37 mg 100 g PF) (Figura 1a) y capacidad antioxidante (373.466 μM equiv Trolox 100 g PF). Es bien conocido que la actividad antioxidante esta correlacionada con el contenido fenólico de las plantas (Astello-García *et al.*, 2015), siendo deseable la mayor acumulación, debido a sus propiedades redox y la capacidad de neutralizar radicales libre que causan daño celular (Dib, Beghdad, Belarbi, Seladji y Ghalem, 2013). El contenido de antioxidantes en el fruto de tomate es intrínseco de la planta (híbrido), pero puede verse afectado por las etapas de maduración y los factores ambientales (Martínez-Valverde, Periago, Provan y Chesson, 2002; Salas-Pérez *et al.*, 2016; Waliszewski y Blasco, 2010). Al respecto, Illera-Vives, López, López y Salas (2012) señalan que la síntesis y acumulación de polifenoles y carotenoides como el licopeno es una respuesta metabólica de la planta ante el incremento de especies oxidativas (Mittler, Vanderauwera, Gollery y Breusegem, 2004; Winter y Davis, 2006), para evitar efectos patogénicos (Jones y Dangl, 2006; Zárate-Martínez, González, Ramírez, Robledo y Juárez, 2021), y mejora la calidad nutracéutica de los frutos por los cambios nutrimentales en el sustrato como respuesta del sistema antioxidante de la planta (Salas-Pérez *et al.*, 2016). En este sentido, la respuesta en el

incremento de la actividad antioxidante fue motivado por el estrés salino en el sistema radical producido por las dosis de estiércol aplicadas. Es bien conocido que la actividad antioxidante esta correlacionada con el contenido fenólico de las plantas (Astello-García *et al.*, 2015), siendo deseable la mayor acumulación, debido a sus propiedades redox y la capacidad de neutralizar radicales libre que causan daño celular (Dib *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

La aplicación de estiércol bovino solarizado en la cantidad de 60 Mg ha⁻¹ mejoró el rendimiento y la calidad nutracéutica de los frutos de tomate, encontrándose la mayor concentración de antioxidantes en el híbrido Palermo. La aplicación de estiércol bovino solarizado mejoró características del suelo como materia orgánica y nitrato-amonio con las dosis más altas. Se obtuvo la mejor respuesta en el contenido de antioxidantes con la interacción del híbrido Palermo y el estiércol bovino, mejorando los compuestos fitoquímicos del fruto de tomate.

Se debe monitorear periódicamente el suelo ya las dosis altas de estiércol incrementan las sales solubles, pudiendo inhibir de forma importante el crecimiento vegetal.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización e investigación: E.E.A. y C.V.V. Validación y análisis formal: M.A.G.R. y M.F.H. Escritura, revisión, edición y visualización: C.V.V. y T.J.A.C.V. Supervisión: B.M.A. Adquisición de fondos: C.V.V.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Peralta, A. I., Leos-Rodríguez, J. A., Figueroa-Viramontes, U., & Romo-Lozano, J. L. (2018). Política ambiental: Uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. *Acta Universitaria*, 27(4), 3-12.
- Andrade-Sifuentes, A., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Orozco-Vidal, J. A., Yescas-Coronado, P., & Rueda-Puente, E. O. (2020). Azospirillum brasilense and solarized manure on the production and phytochemical quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy*, 10(12), 1956. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121956>
- Astello-García, M. G., Cervantes, I., Nair, V., Santos-Díaz, M. S., Reyes-Agüero, A., Guéraud, F., ... Barba-de la Rosa, A. P. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.016>
- Atienza-Martínez, M., Ábrego, J., Gea, G., & Marías, F. (2020). Pyrolysis of dairy cattle manure: evolution of char characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 145, 104724. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104724>
- Barba, A. O., Cámara-Hurtado, M., Sánchez-Mata, M. C., 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(2), 328-336.
- Carmo, D. L., Lima, L. B., & Silva, C. A. (2016). Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0150152. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150152>
- Castro-Brindis, R., Sanchez-Garcia, P., Peña-Lomeli, A., Alcantar-González, G., Baca-Castillo, G. A., & López-Romero, R. (2000). Nitratos en el extracto celular de peciolas y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1), 33-38. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.01.013>
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Valcárcel, M., Serrano, E., Beltrán, J., & Nuez, F. (2011). Evaluation of genotype and environment effects on taste and aroma flavor components of spanish fresh tomato varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2440-2450. <https://doi.org/10.1021/jf1045427>
- Coromoto-Alcedo, C. Y., & Reyes, I. (2018). Microorganismos Promotores de Crecimiento en el Biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.). *Bioagro*, 30(1), 59-66.
- Dib, M. H., Beghdad, C., Belarbi, M., Seladji M., & Ghalem, M. (2013). Antioxidant activity of phenolic compounds of the cladodes of *Opuntia ficus-indica* mill. From Northwest Algeria. *International Journal of Medicine and Pharmacy*, 3(4), 147-158.
- Esparza-Rivera, J. R., Stone, M. B., Stushnoff, C., Pilon-Smith, E., & Kendall, P. A. (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(3), 270-276. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15653.x>
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., González-Rodríguez, G. A., Reyes-González, A., Ayala-Garay, A. V., & Preciado-Rangel, P. (2020). Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 795-803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). (2022). *Base de datos estadísticos*. Consultada el 14 de febrero, 2022, desde <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L., & Orozco-Vidal, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 329-336.
- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Segura-Castruita, M. A., Mendoza-Tacuba, L., Gallegos-Robles, M. A., García-Hernández, J. L., & Vásquez-Vásquez, C. (2018). Changes in nutraceutical quality of tomato under different organic substrates. *Horticultura Brasileira*, 36(2), 189-194. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180207>

- García-Galindo, O., Figueroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J. A., Núñez-Hernández, G., Gallegos-Robles, M. Á., & López-Martínez, J. D. (2019). Disponibilidad de nitrógeno usando dos tipos de estiércol de bovino lechero en cultivos de maíz forrajero y triticale. *Nova scientia*, 11(22), 124-141. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1709>
- Gaucín-Delgado, J. M., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez-Chávez, E., Ortega-Ortiz, H., Fortis-Hernández, M., Reyes-Pérez J. J., & Preciado-Rangel, P. (2020). Agronomic biofortification with selenium improves the yield and nutraceutical quality in tomato under soilless conditions. *Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1221-1232. <https://doi.org/10.15835/nbha48312000>
- González, B., Fortis, H., Preciado, R., Segura, C., Salazar-Sosa, E., García, H., & Esparza, R. (2016). Calidad fitoquímica de tomate Saladette producido con sustratos orgánicos bajo condiciones de invernadero. *Phyton*, 85(1), 71-78.
- Illera-Vives, M., López-Mosquera, M. E., López-Fabal, A., & Salas-Sanjuan, M. del C. (2012). Acondicionamiento de un compost salino para su uso como sustrato de cultivo. *Recursos Rurais*, 8, 13-19. <https://doi.org/10.15304/tr.id787>
- Jones, J. D., & Dangl, J. L. (2006). The plant immune system. *Nature*, 444(7117), 323-329. <https://doi.org/10.1038/nature05286>
- Karami, A., Homae, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H., & Basirat, S. (2012). Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.021>
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), 366-383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- López-Martínez J. D., Vázquez-Díaz, D. A., Esparza-Rivera, J. R., García-Hernández, J. L., Castruita-Segura, M. A., & Preciado-Rangel, P. (2016). Yield and nutraceutical quality of tomato fruit produced with nutrient solutions prepared using organic materials. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(4), 409-414.
- Luna-Murillo, R. A., Reyes-Pérez, J. J., López-Bustamante, R. J., Reyes-Bermeo, M., Murillo-Campuzano, G., Samaniego-Armijos, C., ... Travéz-Travéz, R. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*, L). *Centro Agrícola*, 42(4), 69-76.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Ávila-Díaz, J. A., Rodríguez-Dimas, N., & García-Hernández, J. L. (2013). Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 82(1), 55-61.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G., & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food Agriculture*, 82(3), 323-330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Breusegem, F. V. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009>
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In: A. L. Page (Ed.). *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties* (403-430). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy-Soil Science Society of America.
- Ponce-Fernández, N. E., Pollorena-López, G., Rosas-Domínguez, C., Osuna-Izaguirre, S. C., & López-Peñuelas, V. M. (2021). Efecto de la adición de cáscara y semilla deshidratada en la capacidad antioxidante de una pasta de tomate producida en Sinaloa. *Biotechnia*, 23(1), 135-140. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.1314>
- Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda-Puente, E. O., Esparza-Rivera, J. R., Lara-Herrera, A., ... Orozco-Vidal, J. A. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.
- Rivera, R., & Martín, G. 2004. Mineralización del nitrógeno de la Canavalia ensiformis en un suelo ferralítico rojo de la habana. *Cultivos Tropicales*, 25(3), 83-88.
- Salas-Pérez, L., González-Fuentes, J. A., García-Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*, 8(17), 310-325. <https://doi.org/10.21640/ns.v8i17.677>
- Salisbury, F. B., & Ross C. W. (1992). *Stress physiology. Plant Physiology*. Belmont, CA, USA: Wadsworth Publishing Company.
- Sánchez-Hernández, D. J., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J. R., Rodríguez-Ortiz, J. C., De la Cruz-Lázaro, E., Sánchez-Chávez, E., & Preciado-Rangel, P. (2016). Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia*, 41(3), 213-217.
- Santiago, J., & Borrego, F. (2016). Evaluation of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) in greenhouse conditions: phenological and physiological criteria. *Agronomy Mesoamerican*, 9(1), 59-65. <https://doi.org/10.15517/am.v9i1.24633>
- SAS Institute. (1999). *SAS/STAT User guide. Release 9.0*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D.F.: SEGOB.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). *Producción agrícola*. Consultado el 14 de febrero, 2022, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sumner, M. (2000). *Handbook of soil science*. Boca Ratón, FL, USA: CRC press. ISBN: 9780849331367
- Traoré, A., Bandaogo, A. A., Savadogo, O. M., Saba, F., Ouédraogo, A. L., Sako, Y., ... Ouédraogo, S. (2022). Optimizing Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth With Different Combinations of Organo-Mineral Fertilizers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1-7. <http://doi.org/10.3389/fsufs.2021.694628>
- Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., & Vázquez-Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 727-738.
- Vázquez-Vázquez, C., Salazar-Sosa, E., Fortis-Hernández, M., Reyes-Oliva, M. I., Zúñiga-Tarango, R., & González, J.

- A. (2010). Uso de cubiertas plásticas para solarización de estiércol bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 609-617.
- Waliszewski, K. N., & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública de México*, 52(3), 254-265.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, X., Cui, H., Shi, J., Zhao, X., Zhao, Y., & Wei, Z. (2015). Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. *Bioresource Technology*, 198, 395-402. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.041>
- Winter, C. K., & Davis, S. F. (2006). Organic Foods. *Journal of Food Science*, 71(9), 117-124. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00196.x>
- Yang, R., Mo, Y., Liu, C., Wang, Y., Ma, J., Zhang, Y., & Zhang, X. (2016). The Effects of Cattle Manure and Garlic Rotation on Soil under Continuous Cropping of Watermelon (*Citrullus lanatus* L.). *Plos One*, 11(6), e0156515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156515>
- Zárate-Martínez, W., González-Morales, S., Ramírez-Godina, F., Robledo-Olivo, A., & Juárez-Maldonado, A. (2021). Efecto de los ácidos fenólicos en el sistema antioxidante de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 854-868. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.45101>
- Zhou, J., Gu, B., Schlesinger, W. H., & Ju, X. (2016). Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands. *Scientific Reports*, 6(1), 25088. <https://doi.org/10.1038/srep25088>