



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



PRODUCCIÓN, CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y
CONVENCIONAL

Por:

Daniela Zavala Sierra

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



PRODUCCIÓN, CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y
CONVENCIONAL

Por:

Daniela Zavala Sierra

Asesores:

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Dra. Paola Elizabeth Díaz Flores

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias
Agropecuarias

El trabajo titulado **“PRODUCCIÓN, CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL”**, fue realizado por **Daniela Zavala Sierra** como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias Agropecuarias y fue revisado y aprobado por el suscrito comité de tesis.

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Director



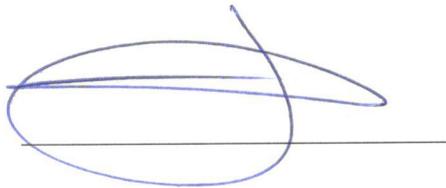
Dra. Paola Elizabeth Díaz Flores

Co director



Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Asesor



Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. a los 31 días del mes de enero de 2019.

DEDICATORIA

Con amor a mis padres

Daniel Zavala Gutiérrez

Luz María Beatriz Sierra Frías

Por ser mi mayor apoyo y sostén en la vida, que me ha llevado hacer lo que soy hoy.

**En todos los asuntos humanos hay esfuerzos, y hay resultados, y la fortaleza del
esfuerzo es la medida del resultado.**

James Allen

A mis hermanos Alejandra y David, por ser mis compañeros de vida y de aventuras.

A mi hermoso sobrino Daniel por llegar a este mundo y alegrarlos.

A todos mis grandes amigos

Y a toda mi familia que ha estado involucrada en mi formación y crecimiento personal.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado el financiamiento (CVU: 785309, No. Apoyo: 452291) para la realización de mis estudios de Maestría que concluye con esta tesis.

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

A mis Asesores por el tiempo que me dieron para revisar esta tesis.

Al Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz, por su tiempo, apoyo, consejos y su gran dedicación para la realización y culminación del trabajo de investigación.

A la Dra. Paola Elizabeth Flores Díaz, por su apoyo, consejos y su dedicación para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Jorge Alcalá Jáuregui por su apoyo en la realización de este trabajo.

A la Maestra Alejandra Hernández Montoya y Ing. Adrián Herrera Carrizales por su ayuda para llevar acabo los análisis de laboratorio.

Al Dr. Humberto y Ing. Cabriales por su apoyo en la realización de análisis de laboratorio.

A mis amigas Ana y Lidia, por su apoyo y ayuda en la realización de mi investigación y de su gran amistad.

A todas las personas, principalmente a los trabajadores de la facultad que estuvieron de una u otra forma involucradas en mi formación y realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivos.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Agricultura Orgánica.....	4
Fertilización Orgánica.....	4
Solución Nutritiva Orgánica.....	5
Alimentos Funcionales.....	6
Actividad Antioxidante y Compuestos Fenólicos.....	7
Comparación de las Prácticas de Producción Orgánica y Convencional...	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Variables Evaluadas.....	12
Rendimiento por ha ⁻¹	12
Peso promedio de frutos.....	12
Diámetro de fruto.....	12
Volumen de fruto.....	13
SPAD.....	13
Firmeza.....	13
Sólidos solubles totales.....	13
Acidez titulable.....	14

Fenoles totales.....	14
Capacidad antioxidante total.....	16
Cantidad de N, P y K aplicados.....	16
Niveles de N, P y K en el suelo.....	17
Análisis Estadístico.....	17
RESULTADOS.....	18
Resultados de la Comparaciones entre Tratamientos.....	18
Rendimiento por ha ⁻¹	18
Peso de frutos.....	19
Diámetro de fruto.....	19
Volumen de fruto.....	20
Unidades SPAD.....	21
Firmeza.....	21
Sólidos solubles totales.....	22
Acidez titulable.....	23
Fenoles totales.....	24
Capacidad antioxidante.....	24
Resultados de la Comparaciones Ortogonales.....	25
Rendimiento.....	26
Peso promedio de fruto.....	27
Diámetro de fruto.....	29
Unidades SPAD.....	30
Acidez titulable.....	31
Fenoles totales.....	32
Cantidades de Macronutrientes Aplicados.....	33
Macronutrientes Disponibles en suelo.....	33
pH y Conductividad Eléctrica en Suelo.....	34
Resultados del Análisis de Componentes Principales.....	35

DISCUSIÓN.....	39
CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de aplicar los tratamientos con fertilización orgánica y convencional.....	9
2	Distribución y dosis de N y P en el cultivo de tomate del tratamiento 3.....	11
3	Significancia de los tres contrastes ortogonales.....	26
4	Cantidad de nutrientes aplicados por tipo de fertilización.....	33
5	Macronutrientes disponibles en suelo por tratamiento en tres muestreos dentro de la etapa fenológica de producción y valor de referencia.....	34
6	Conductividad eléctrica y pH en el suelo.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Rendimiento por planta en $t\ ha^{-1}$. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$)....	18
2	Peso promedio de fruto de tomate en gramos. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	19
3	Diámetro de frutos de tomate en cm. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	20
4	Volumen de fruto de tomate en cm^3 . Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	20
5	Unidades SPAD de la planta de tomate. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	21
6	Firmeza de tomate en $kg\ cm^2$. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	22
7	Grados Brix en tomate. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	23
8	Acidez titulable en tomate en % de Ácido cítrico. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	23
9	Fenoles totales en tomate en $mg\ GAE\ 100\ mg^{-1}$. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	24
10	Capacidad antioxidante en tomate en $mg\ TECA\ 100\ mg^{-1}$. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p<0.05$).....	25

11	Contraste 1, rendimiento. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	27
12	Contraste 3, rendimiento. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	27
13	Contraste 1, peso promedio de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	28
14	Contraste 3, peso promedio de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	28
15	Contraste 1, diámetro de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	29
16	Contraste 3, diámetro de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	30
17	Contraste 2, unidades SPAD. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	30
18	Contraste 3, unidades SPAD. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	31
19	Contraste 3, acidez titulable en fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	32
20	Contraste 1, fenoles totales. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).....	32
21	Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización orgánica y química.....	37
22	Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización orgánica.....	37
23	Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización química.....	38

RESUMEN

El presente ensayo se hizo con el objetivo de evaluar la producción, calidad comercial y nutracéutica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado con fertilización orgánica y convencional, así como observar el papel que tiene la cantidad de elementos nutritivos que se aportan. Cuatro tratamientos fueron establecidos: 1) Abono orgánico con dosis de 6 t ha⁻¹ + aplicaciones de té del mismo abono; 2) Abono orgánico con dosis de 9 t ha⁻¹ + aplicaciones de té del mismo abono; 3) Fertilización química con dosis de 180-90-00 (N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) y 4) Fertilización química con dosis de 270-135-00 (N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente). La evaluación comprendió variables de producción, calidad comercial y nutracéutica (compuestos fenólicos y actividad antioxidante). Fueron estimadas las cantidades de N, P y K que aportó cada fertilización y se determinó el nivel de estos en el suelo. Como resultado se tuvo que la fertilización orgánica de tomate con abono sólido de gallinaza aplicada al suelo en las dosis de 6 y 9 t ha⁻¹, y complementado con tés del mismo material orgánico (diluidos a 1.5 dS m⁻¹ y pH ajustado a 6.5), propició un mayor rendimiento y contenido de fenoles totales de frutos de tomate que la fertilización convencional en las dosis de 180-90-00 y 270-135-00. En cuanto a calidad comercial de frutos no se tuvo diferencias. Las dosis altas, tanto de fertilización orgánica como convencional, generaron mayor rendimiento, calidad comercial y nutracéutica de frutos de tomate. La fertilización orgánica aportó al suelo una mayor cantidad de macronutrientes que la fertilización convencional, en nitrógeno hasta 91% más, en fósforo hasta 176%, y en potasio aportó hasta más de 800 kg ha⁻¹. Para P y K, las diferencias se reflejaron en las formas disponibles en el suelo, no así en N, que incluso fue deficiente. La acción combinada de N deficiente y niveles altos de P y K, pueden ser la causa de los resultados obtenidos a favor de la fertilización orgánica.

Palabras clave: fenoles, antioxidantes, nitrógeno, fósforo, potasio.

SUMMARY

The present experiment was done with the objective of evaluating the production, commercial and nutraceutical quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown with organic and conventional fertilization, as well as studying the role of quantity of the nutritional elements that are provided. Four treatments were established: 1) Organic fertilizer with doses of 6 t ha⁻¹ + applications of tea from the same fertilizer; 2) Organic fertilizer with a dose of 9 t ha⁻¹ + applications of tea from the same fertilizer; 3) Chemical fertilization with doses of 180-90-00 (N, P₂O₅ and K₂O, respectively) and 4) Chemical fertilization with doses of 270-135-00 (N, P₂O₅ and K₂O, respectively). The evaluation included variables of production, commercial and nutraceutical quality (phenolic compounds and antioxidant activity). The amounts of N, P and K that each fertilization contributed were estimated and their level in the soil was determined. As a result, organic fertilization of tomato with solid manure fertilizer applied to the soil in doses of 6 and 9 t ha⁻¹, and supplemented with teas of the same organic material (diluted to 1.5 dS m⁻¹ and pH adjusted to 6.5), led to a higher yield and total phenolic content of tomato fruits than conventional fertilization in the doses of 180-90-00 and 270-135-00. Regarding commercial quality of fruits, there were no differences. The high doses, both of organic and conventional fertilization, generated higher yield, commercial and nutraceutical quality of tomato fruits. Organic fertilization contributed to the soil a greater amount of macronutrients than conventional fertilization, in nitrogen up to 91% more, in phosphorus up to 176%, and in potassium it contributed up to more than 800 kg ha⁻¹. For P and K, the differences were reflected in the forms available in the soil, not so in N, which was even deficient. The combined action of deficient N and high levels of P and K may be the cause of the results obtained in favor of organic fertilization.

Keywords: phenols, antioxidants, nitrogen, phosphorus, potassium.

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual, en el consumo de alimentos, se enfoca a productos con alto nivel nutricional (Sánchez *et al.*, 2016). Los productos con alto contenido de sustancias nutraceuticas son preferidos, ya que tienen un efecto positivo en la salud. Estos compuestos se han relacionado con la reducción de enfermedades degenerativas crónicas, como son las enfermedades cardiovasculares, además de disminuir el riesgo de padecer hipertensión, diabetes y obesidad (Willcox *et al.*, 2004; Ozgen *et al.*, 2006). Estos beneficios protectores, de los compuestos antioxidantes son, debido a su capacidad de detoxificar los radicales libres, lo que ayuda a prevenir los cambios oxidativos producidos en el cuerpo humano (Waliszewski y Blasco, 2010).

Existen diferentes factores que influyen en el estado fito-nutricional de los cultivos, y que pueden causar una variación en el contenido de vitaminas, antioxidantes y compuestos fenólicos (Parr y Bolwell, 2000). Se ha reportado que los niveles de fertilización de N, P, K y Ca pueden afectar la síntesis de metabolitos secundarios en las plantas, por lo tanto, la aportación de macronutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, tienen un efecto acumulativo de polifenoles y antioxidantes (Rekika *et al.*, 2005; Omar *et al.*, 2012).

Diversos estudios señalan que los productos obtenidos por procesos orgánicos contienen, en lo general, más valor nutricional que los producidos convencionalmente (Duman *et al.*, 2017). Aunque también se ha reportado lo contrario, o bien, que sean estadísticamente iguales (en menor frecuencia). Lo anterior ha suscitado diversas teorías e hipótesis sobre las explicaciones de la aparente mayor capacidad de los sistemas orgánicos sobre los convencionales en cuanto a la producción de dichas sustancias (Gravel *et al.*, 2010, Ceglie *et al.*, 2016; Sereme *et al.*, 2016):

Una hipótesis menciona que las plantas crecidas en ambientes orgánicos, las cuales no reciben aplicaciones de pesticidas, tienden a estar más desprotegidas y activan mecanismos de resistencia elaborando metabolitos secundarios. Otra menciona una mayor interacción entre las raíces de las plantas y microbios que sobreviven por el alimento aportado por las enmiendas orgánicas. Una tercer menciona la participación de

los elementos nutritivos de las plantas, tanto macronutrientes como micronutrientes. Los supuestos se orientan hacia una mayor diversidad de los nutrientes en los sistemas orgánicos, así como mejor disponibilidad y balance entre ellos.

Existe una diversidad muy amplia de técnicas de aplicación de abonos orgánicos con fines de fertilizar el suelo y nutrir las plantas. Pueden variar notablemente en tipo de material (gallinaza, estiércol bovino, abono verde, etc.), dosis, forma de aplicación (sólido, tes, lixiviados, etc.), frecuencia (una sola aplicación o varias). Por lo tanto, la condición nutricional es muy variable, y por ende, el efecto en las plantas (producción, calidad comercial y calidad nutracéutica).

Existe un vacío de evidencias que comprueben que la fertilización orgánica provee más nutrientes que la fertilización convencional, y que sean de forma más biodisponibles (Dongour *et al.*, 2009).

El presente estudio se realizó en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), que es una de las hortalizas más consumidos en el mundo, y en México, donde el consumo *per cápita* es 13.8 kg (SAGARPA, 2017). También es uno de los productos de mayor nivel nutricional, contiene sustancias como antioxidantes, ácidos orgánicos, azúcares, licopeno, minerales, etc.

Los anterior puede llevar a mejorar los programas de fertilización en los sistemas agrícolas, y al avance hacia la sustentabilidad en la producción de alimentos y salud humana.

Hipótesis

La fertilización orgánica induce un mayor rendimiento en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), mejor calidad comercial y nutracéutica de frutos que la fertilización convencional; lo que es debido a una mayor cantidad de macronutrientes aplicados que conlleva la fertilización orgánica.

Objetivos

Comparar la producción, calidad comercial y nutracéutica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado con fertilización orgánica y convencional.

Contrastar los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio aplicados y disponibles en el suelo entre la fertilización orgánica y convencional.

REVISIÓN DE LITERATURA

Agricultura Orgánica

La agricultura orgánica (AO) es un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente que compartimos y promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los que participan en ella (IFOAM, 2019).

La AO ha adquirido importancia en el sistema agroalimentario en 179 países. Existen alrededor de 50.9 millones de hectáreas manejadas orgánicamente, con más de dos millones de productores en el mundo y ventas por más de 81.6 billones de dólares (Willer y Lernoud, 2017).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), reporta 400 mil hectáreas de agricultura orgánica y 140 mil productores. El 85 al 90 por ciento de la producción orgánica de México se destina a la exportación, principalmente a los mercados de Europa y Estados Unidos. La actividad representa atractiva oportunidad de negocio, el ingreso de divisas por las exportaciones de productos orgánicos llegó en el 2012 a 600 millones de dólares. Las hortalizas representan el 9% de los productos orgánicos (González, 2019).

Fertilización Orgánica

Los fertilizantes se dividen aproximadamente en inorgánicos y orgánicos. Los primeros, también llamados convencionales, son obtenidos de procesos químicos sintéticos. Los orgánicos se obtienen de manera natural por tres fuentes principales: animal, vegetal y mineral (Mohamed, 2011). Dentro de los residuos orgánicos de origen animal se encuentran las deyecciones de los mismos ya sea de forma sólida o líquida, los más utilizados como abono en la producción vegetal son los estiércoles y purines. Los

residuos vegetales, se refieren principalmente a los residuos agrícolas de cosechas y se definen como la fracción o fracciones de un cultivo que no constituyen la cosecha propiamente dicha y a aquella parte de la cosecha que no cumple con los requisitos de calidad mínima para ser comercializada como tal (Nieto *et al.*, 2010).

Nieto *et al.* (2002) resaltan la importancia de este tipo de materiales en tres aspectos a: 1) El manejo de los abonos orgánicos ha sido tradicionalmente utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos (estiércoles, desechos domésticos de frutas y verduras, desechos agrícolas verdes y secos) a su agrosistema; 2) ecológico, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas que armonicen con el cuidado del ambiente. El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación; 3) económico, el uso de abonos orgánicos es atractivo por su menor costo en producción y aplicación, por lo que resulta más accesible a los productores, sobre todo en países donde la mayor parte de la producción de alimentos se logra a través de una agricultura no tecnificada tal como ocurre en América Latina.

Solución Nutritiva Orgánica

La solución nutritiva orgánica, son extractos líquidos obtenidos por diferentes materiales orgánicos, que contienen nutrientes para las plantas, compuestos de crecimiento vegetal y microorganismos benéficos. El interés en estas soluciones orgánicas ha incrementado por su flexibilidad de aplicación en sistemas de producción orgánica en condiciones de campo abierto o protegido. La aplicación de estas soluciones nutritivas por fertirriego ayuda a reducir los costos por la sustitución de los fertilizantes químico-sintéticos (Preciado *et al.*, 2010).

Esta solución se obtiene al separar la parte humificada y mineralizada del material orgánico, utilizando como medio para separar el agua, realizando este proceso aeróbico. La solución orgánica mejora la vida de los suelos y la superficie foliar de las plantas,

además ayuda a combatir posibles plagas por la presencia de microorganismos benéficos (Al- Dahmani *et al.*, 2003).

De acuerdo con Preciado, *et al.*, (2010), los beneficios de SN, como el té de compost, son los siguientes:

- a) Disminución de enfermedades.
- b) Proporciona nutrientes para la planta y es fuente de alimento para los microorganismos.
- c) La inoculación de organismos en el suelo vuelve a incrementar la retención de nutrientes, aumenta el ciclo de los nutrientes en las formas disponibles para la planta y acelera la descomposición de material vegetal y las toxinas.
- d) Incrementa la calidad nutricional de la planta.
- e) Reduce la exposición del trabajador a los daños químicos potenciales.
- f) Reduce los impactos negativos de los pesticidas, herbicidas y fertilizantes a base de químicos, en microorganismos en el ecosistema.
- g) Reduce los costos por insumos químicos.
- h) Proporciona el crecimiento de la planta.

Alimentos Funcionales

Ashwell (2005) señala una definición de alimento funcional (de acuerdo al ILSI Europa: International Life Science Institute): “alimento que demuestra satisfactoriamente que ejerce un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de modo tal que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reducir el riesgo de enfermedad, o ambas cosas”. Establece también que deben seguir siendo alimentos y sus efectos deben demostrarse en las cantidades normalmente consumidas en la dieta.

Operativamente, un alimento funcional puede ser:

- Un alimento natural en el que uno de sus componentes ha sido mejorado.
- Un alimento al que se ha añadido un componente para que produzca beneficios.
- Un alimento del cual se ha eliminado un componente y producirá menos efectos adversos sobre la salud.
- Un alimento en el cual alguno de sus componentes ha sido modificado químicamente para mejorar la salud.
- Un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más componentes ha sido aumentada.
- Combinaciones de las anteriores.

Actividad Antioxidante y Compuestos Fenólicos

El ácido ascórbico y licopeno son antioxidantes que tienen la habilidad inactivar radicales libre de oxígeno (RLO). Los RLO, son muy agresivos, son moléculas electroquímicamente desbalanceadas con electrones sin aparear que son reactivos con los componentes celulares y pueden causar daño permanente, que pueden alcanzar mutaciones y, posiblemente, cáncer en células humanas (Choudhary y Walters, 2013).

Los compuestos fenólicos en el tomate son principalmente ácidos hidroxicinámicos (ácido clorogénico, ácido caféico, el ácido cumárico), flavonoides (rutina y quercetina) y flovonas (naringenina), aunque este contenido puede variar por el genotipo de la planta, la maduración del tomate y factores agronómicos Luna y Guevara., 2014).

En México el tomate (*Solanum lycopersicum*) es de consumo diario, rico en potasio, ácido fólico, B-caroteno, vitamina C, Vitamina E, flavonoides y licopeno por lo que representa una buena fuente de antioxidantes para enfrentar el estrés oxidativo. Incluso una dieta que incluya alimentos procesados de tomate (alto en licopeno) como salsas, jugos o pasta pueden disminuir la peroxidación lipídica y la oxidación de LDL colesterol (Palomo *et al.*, 2010).

Comparación de las Prácticas de Producción Orgánica y Convencional

Choudhary y Walters, (2013), señalan que hay diferencias fundamentales entre las prácticas entre los sistemas de producción orgánica y convencional. Entre ellas, se tiene la fertilización, donde la primera se centra en materiales de síntesis química, y la segunda lo hace por materiales orgánicos (abonos, compostas, etc.). También son diferentes en cuanto a labranza y control sanitario.

Lester y Crosby, (2002), han especificado que el tipo de suelo tiene una gran influencia en la calidad nutricional en frutos de las hortalizas. Los suelos arcillosos promueven mayor calidad en ácido ascórbico total y libre, así como de ácido dehidroascórbico.

Las diferencias en prácticas y tipos de suelos pueden ser la diferencia en el contenido final de los vegetales. Otros factores que pueden influir son: las variedades, clima, madurez de frutos a la cosecha, condiciones de poscosecha, etc. (Choudhary y Walters, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Centro de Capacitación de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, de la UASLP, ubicada en el ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

Para comparar los contenidos y relaciones de los nutrientes en suelos fertilizados con fuentes orgánicas y convencionales con el rendimiento, calidad comercial y nutracéutica de frutos de tomate, se hizo un experimento con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones bajo un diseño en bloques al azar. En total se tuvieron 16 unidades experimentales de 7.5 m² cada uno, por lo que en total se dispuso de un área experimental de 120 m². Los tratamientos fueron:

- 1) Abono orgánico con dosis de 6 t ha⁻¹ + aplicaciones de té del mismo abono.
- 2) Abono orgánico con dosis de 9 t ha⁻¹ + aplicaciones de té del mismo abono.
- 3) Fertilización química con dosis de 180-90-00 (N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente).
- 4) Fertilización química con dosis de 270-135-00 (N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente).

El experimento se realizó bajo estructura protegida en macro túneles de 3m de altura y en suelo de textura franco arcillo arenoso (tabla 1).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de aplicar los tratamientos con fertilización orgánica y convencional.

pH	M.O.	CE	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
	%	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	Cmol(+)	_____ ppm _____			
7.87	1	1.65	4.5	6.5	1.0	14	2.24	27	4.52

El abono orgánico que se utilizó, en los tratamientos 1 y 2, fue la gallinaza Meyfer®, que cuenta con registro OMRI (Organic Materials Review Institute). La gallinaza tiene las siguientes propiedades: 2, 2.2 y 2.5 % de N, P y K, respectivamente; conductividad eléctrica de 15.6 dS m⁻¹, pH de 7.39, 37.7% de materia orgánica y una relación C/N de 7.85.

Las 6 t ha⁻¹ es una dosis media aplicada en la producción de hortalizas. La dosis de 9 t ha⁻¹ (50 % más que las 6 t ha⁻¹ del tratamiento 1), fue propuesta con fin el encontrar otras respuestas que el incremento de nutrientes pudiera tener y relacionarse con la producción y calidad en el fruto de tomate. La aplicación del material orgánico se realizó antes del trasplante, aplicando al lomo del surco, como una fertilización de fondo.

La fertilización orgánica del abono sólido se completó con la adición de una solución líquida hecha a partir del mismo material orgánico. Este se realizó de la siguiente manera: en un contenedor de 50 L de capacidad se colocaron 15 L de gallinaza y se agregaron 30 L de agua, se mezcló y se dejó por un día. Después de esto, la parte líquida se pasó a otro tanque donde se ajustó con agua y ácido cítrico para formar una solución con una conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹ y pH de 5.5. Esta solución se aplicó manualmente cada tres días, entre 1 y 2 L planta⁻¹ (según etapa fenológica y condiciones ambientales). Después de la aplicación del té, se aplicó un riego (solo agua) con 0.5 L planta⁻¹, con la intención de distribuir la solución nutritiva orgánica en el bulbo de humedad de raíces.

La dosis de fertilización química sintética fue 180-90-00, que corresponde al tratamiento 3, se hizo de acuerdo con lo recomendado por Jasso y Martínez (2004). El tratamiento 270-135-00 (corresponde a un 50% más que los 180-90-00 del tratamiento 3), se hizo con la misma intención que los tratamientos orgánicos, esto es, tratar de encontrar una respuesta al incremento de nutrientes aplicados. Los fertilizantes que se usaron fueron: fosfonitrato (33-03-00) y ácido fosfórico (00-52-00; pureza 75%).

La fertilización química sintética se distribuyó conforme se muestra en la tabla 2. La fertilización se aplicó manualmente cada tres días, entre 1 y 2 L planta⁻¹ (según etapa fenológica y condiciones ambientales). El riego se complementó con 0.5 L planta⁻¹, con la intención de distribuir la solución química en el bulbo de humedad de raíces

Tabla 2. Distribución y dosis de N y P en el cultivo de tomate del tratamiento 3.

Etapa	Días	Dosis de N/etapa (kg ha⁻¹)	Dosis de P/etapa (kg ha⁻¹)
1	5	3.13	4.34
2	14	13.93	13.86
3	8	10.60	7.63
4	20	29.30	17.83
5	9	18.77	8.32
6	11	18.86	8.34
7	7	12.24	4.73
8	22	34.85	13.42
9	13	15.80	5.25
10	11	22.50	6.28
Total	120	180.00	90.00

Nota: El tratamiento 4, tuvo una misma distribución de N y P con dosis 50% más que las mostradas en el tratamiento 3.

La variedad de tomate que se utilizó fue el híbrido pony express F1 de la compañía semillera Harris-Moran. El trasplante se realizó el 18 de mayo del 2017, se hizo de forma manual colocando una plántula cada 35 cm (3.3 plantas m⁻²). Las características del híbrido son: madurez precoz, de fruto tipo saladette determinado, de porte medio, frutos de grande a extra grande y color rojo intenso. Para el riego se colocó una cintilla (calibre 5000) en borde del surco que fue cubierto con acolchado plástico de color plateado (calibre 110). La maleza se eliminó con azadón y de forma manual. El tutoreo de plantas se realizó con la ayuda de una estructura llamada portería, con puntales de madera en las orillas y cada 5 m, amarradas con alambre recocado. La sujeción de las

plantas se realizó con rafia y se podaron las plantas a dos tallos. Para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) se usaron repelentes a base de chile y ajo.

Variables Evaluadas

Tres cortes de frutos se tomaron para la evaluación, estos se realizaron el 10 de agosto, 25 de agosto, 7 de septiembre. La cosecha se realizó cuando el fruto presentaba un color rojo claro (NMX-FF-031-1997). Los frutos cosechados eran colocados en bolsas de plástico previamente etiquetados según el tratamiento y número, fueron almacenadas en refrigerado 4°C.

Rendimiento por ha⁻¹

Se determinó con base al peso fresco y número de frutos de 3 plantas por tratamiento por repetición, que por regla de tres se pasaron a toneladas por hectárea.

Peso promedio de frutos

Los frutos frescos fueron pesados en una báscula gravimétrica en g, tomando 6 tomates por repetición y anotando los datos en bitácoras de campo.

Diámetro de fruto

Se tomaron 6 frutos por repetición y tratamiento, donde se midió el diámetro con una cinta métrica tomando el ancho del fruto.

Volumen de fruto

Se determinó con el método de desplazamientos, en donde un vaso precipitado con agua, en un volumen conocido, se colocó el fruto y el agua que se registra el volumen de agua que desplaza.

SPAD

Se tomaron lecturas con el medidor portátil de clorofila SPAD-502, se realizaron a los 90 DDT, se muestrearon 3 hojas jóvenes recién desarrolladas, tomando 3 plantas por tratamiento, registrando el promedio generado.

Para la determinación de las variables de calidad, se seleccionaron 6 frutos de cada corte por tratamiento y repetición, que presentaron la misma edad fisiológica (color rojo intenso).

Firmeza

La determinación se hizo utilizando un penetrómetro de mano (modelo GY-1), tomando el fruto con firmeza en una mano y colocándola sobre una superficie rígida, se sitúa la cabeza del puntual contra la carne en la zona pelada de la fruta, aplicando una presión constante hacia abajo hasta que el puntual penetre la carne del fruto hasta la marca de profundidad del puntual, se extrae el puntual y se anota la lectura en la caratula el penetrómetro, hasta un dígito decimal.

Sólidos solubles totales

Fue utilizado un refractómetro ATAGO (N-1 α BX), se tomó una muestra de jugo del fruto y colocando está en la celda lectora en una escala de 0 a 35.

Acidez titulable

Se determinó de acuerdo con la guía de pruebas objetivas para determinar la madurez de la fruta, propuesta por el Régimen de la OCDE para la aplicación de Normas Internacionales relacionadas con frutas y hortalizas. Orientada al fomento de la uniformidad en los procedimientos de control de calidad.

Para la determinación de acidez titulable, se tomaron 5 ml de jugo y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml, se le añadieron 50 ml de agua destilada, y posteriormente se le agregaron tres gotas de fenolftaleína a la solución del jugo y el agua destilada. En una bureta se colocó una solución de 0.1 M de NaOH.

Con la solución de NaOH lentamente se titula la muestra, con agitación constante, hasta que el indicador que es la fenolftaleína cambia de incolora a rosa, este color debe permanecer estable 30 s.

Los cálculos para determinar la proporción de ácido en los frutos, se debe de aplicar un factor de multiplicación apropiado para el cálculo. Algunos productos pueden contener más de un tipo de ácido, caso en el cual se probará el principal.

Ácido cítrico: 0.0064

Ácido málico: 0.0067

Acido tartárico: 0.0075

La fórmula es la siguiente: Porcentaje de ácido = $\frac{\text{Titulación promedio}}{\text{ml de jugo}} \times \text{factor} \times 100$

Variables de calidad nutracéutica

Fenoles totales

La determinación del contenido de fenoles totales fue determinada por el método de Folin-Ciocalteu, modificado por Singleton *et al.*, (1999). Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu que es una mezcla de fosfomalibdato y fosfotungstato, este reactivo no solo mide los fenoles totales, sino que

reacciona con cualquier sustancia reductora. El ácido fosfomolibdotungstico de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul, que es que medimos a una longitud de onda de 762 nm.

Se necesita realizar una curva patrón, a partir de una disolución de ácido gálico de 100 g L^{-1} (disolución concentrada), a partir de esta disolución se preparan 10 mL de disoluciones diluidas de concentraciones crecientes de ácido gálico entre 0 a 6 ppm.

Para ello se debe preparar de la siguiente manera:

1. Preparar tubos de ensayo enumerados
2. Añadir a cada tubo la cantidad correspondiente de agua destilada
3. Añadir a cada tubo la cantidad correspondiente de ácido gálico
4. Agitar en vortex y mantener en oscuridad y en refrigeración

Determinación de los polifenoles en la muestra y en los patrones de ácido gálico

1. Tomar $250 \mu\text{L}$ de cada disolución patrón de ácido gálico o del sobrenadante de la muestra y colocarlos en matraces aforados de 25 mL.
2. Añadir 15 mL de agua destilada y 1.25 mL de reactivo Folin-Ciocalteu.
3. Homogenizar el contenido de los matraces y dejar reposar 8 minutos en oscuridad
4. Trascurrido este tiempo, adicionar a cada matraz 3.75 mL de la solución de carbonato sódico al 7.5% y llevar a un volumen de 25 ml con agua destilada.
5. Homogenizar matraces y mantener en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas.
6. Medir la absorbancia a 765 nm.

A partir de los valores de absorbancia obtenidos de casa concentración de ácido gálico se construirá la correspondiente recta de calibrado, sustituyendo el valor de la absorbancia obtenida para la muestra de zumo en la ecuación de la recta de calibrado (valor de la ordenada “y”) y despejar “x” que corresponde a la concentración de ácido gálico en el extracto de zumo.

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante en tomate fue determinada por el método ABTS (Roginsky y Lissi, 2005). Este método evalúa la actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC), se basa en la reducción de la coloración verde/azul producida por la reacción del radical 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS) con el antioxidante presente en la muestra.

El radical ABTS se obtiene tras la reacción de ABTS (7mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final), incubados a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) y en la oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS se diluye con metanol hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 (± 0.02) a 734 nm.

Para el ensayo se colocaron 100 μL del extracto de tomate diluido (1:5 con metanol agua 70:30), en frascos de 50 ml, se adicionaron 3900 μL del radical ABTS* diluido, se agitaron manualmente y se dejaron reposar 2 h en la oscuridad. Se dispuso de una curva de calibración donde el antioxidante sintético de referencia Trolox, en concentraciones de 0-10 μM , en metanol, en las mismas condiciones (100 μL de Trolox en 3900 μL del radical ABTS).

Cantidad de N, P y K aplicados

Las cantidades de elementos nutritivos aplicados, en los tratamientos de fertilización química sintética, fueron los que se indican anteriormente: 180 a 270 kg de N ha^{-1} , 90 a 135 kg de P ha^{-1} , sin aplicación de K.

Las cantidades de NPK de la fertilización orgánica se calcularon sumando los aportes de la gallinaza sólida y en forma de té.

La parte sólida tiene los siguientes contenidos de nutrientes: 2% N, 2.2 % P y 2.5% K.

La parte líquida tiene los siguientes contenidos: 49 mg de N L^{-1} , 11.5 mg de P L^{-1} y 113.75 mg K L^{-1} .

Las cantidades aplicadas por hectárea, se estimaron por regla de tres simple, tomando la cantidad de gallinaza aplicada en forma sólida (6000 y 9000 kg ha⁻¹) y a través de los volúmenes de té aplicado.

Niveles de N, P y K en el suelo

Los niveles de N, P y K en el suelo fueron determinados mediante los procedimientos de la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (métodos: AS-08 para N; AS-10 para fósforo; AS-12 para potasio). La interpretación de los niveles de cada elemento fue tomada de la misma norma (DOF, 2002).

Análisis Estadístico

Se hicieron análisis de varianza para todas las variables y comparación de medias de los tratamientos con la prueba de Tukey a las que resultaron significativas ($p < 0.05$).

Con la intención de ver los efectos entre factores, se hicieron tres comparaciones ortogonales: C1, compara las dosis de fertilización orgánica vs las dosis de fertilización química; C2, compara las dosis de fertilización orgánica (6 t ha⁻¹ vs 9 t ha⁻¹); C3, compara las dosis de fertilización química (180-90-00 vs 270-135-00).

Para conocer las principales fuentes de variación se hizo un análisis de componentes principales, utilizando el programa estadístico MiniTab 17.

RESULTADOS

Resultados de la Comparaciones entre Tratamientos

Rendimiento por ha⁻¹

Los diferentes tratamientos de fertilización provocaron que las plantas de tomate mostraran diferencias significativas en el tercer corte y rendimiento total ($p \leq 0.05$, figura 1). El mayor rendimiento total por hectárea se obtuvo al emplear la dosis de fertilización orgánica de 9 t ha⁻¹, con una producción total de 157.21 t ha⁻¹. De manera significativa, en tratamiento con menor fue con fertilización convencional en dosis de 180-90-00.

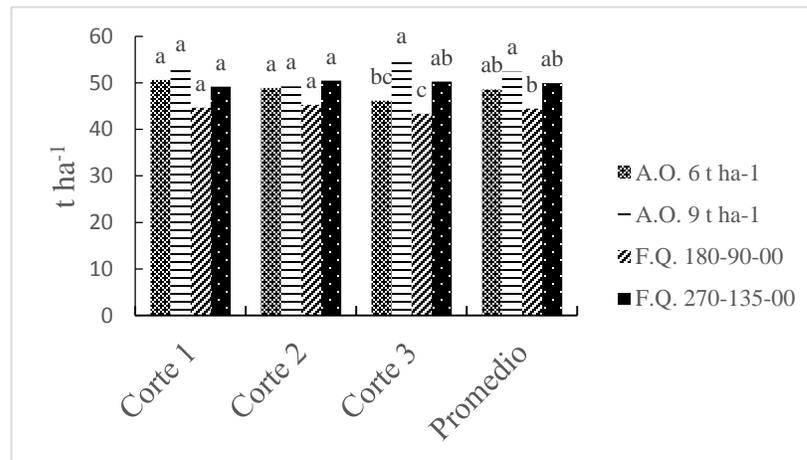


Figura 1. Rendimiento por planta en t ha⁻¹. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Salas *et al.*, (2016), dónde obtuvieron rendimientos de 3.6 kg por planta en tomate producidos en sustratos orgánicos. Sin embargo, otros autores han señalado que los rendimientos en cultivos producidos bajo sistemas orgánicos son 30% inferiores a los cultivos producidos en sistemas convencionales, aunque estos rendimientos se suelen compensar con los precios en el mercado.

Peso de frutos

El peso de frutos es un componente importante del rendimiento de los cultivos, y están estrechamente relacionadas, en este estudio el mismo tratamiento que logró el mayor rendimiento (9 t ha⁻¹), también es el que tuvo los mayores pesos de frutos ($p < 0.05$, figura 2). Los pesos fueron de acuerdo a lo especificado por la compañía semillera que comercializa la variedad de tomate determinada "Pony express".

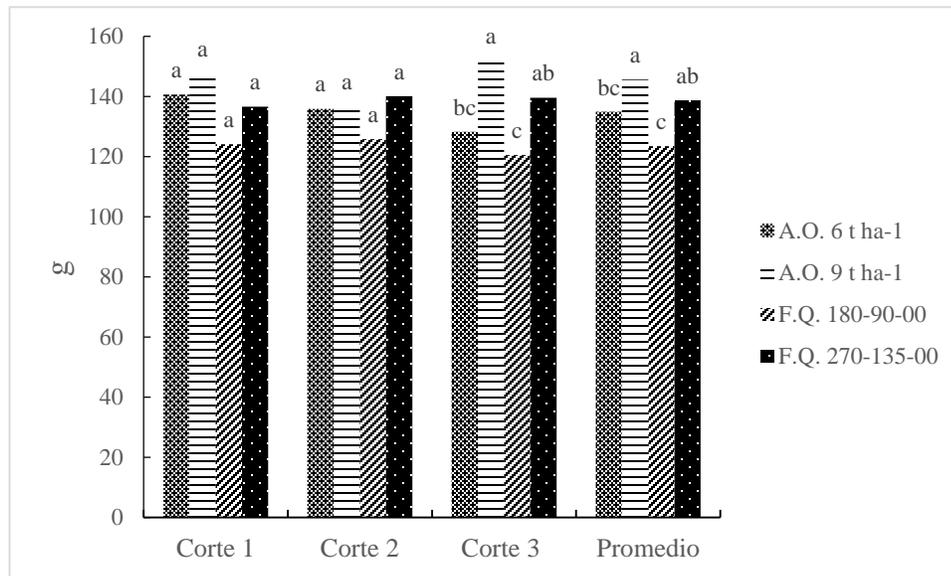


Figura 2. Peso promedio de fruto de tomate en gramos. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Diámetro de fruto

Una de las variables de calidad comercial del tomate más importante es el diámetro de fruto, ya que de acuerdo con la NOM-FF-031-1998, se clasifica por su diámetro para exportación y venta en fresco. En el análisis estadístico de esta variable se encontró que no hubo una diferencia significativa ($p < 0.05$, figura 3), entre los tratamientos, ya que los tratamientos tuvieron en promedio un diámetro ecuatorial de 19 cm, en donde se clasifican como grandes a extra grandes.

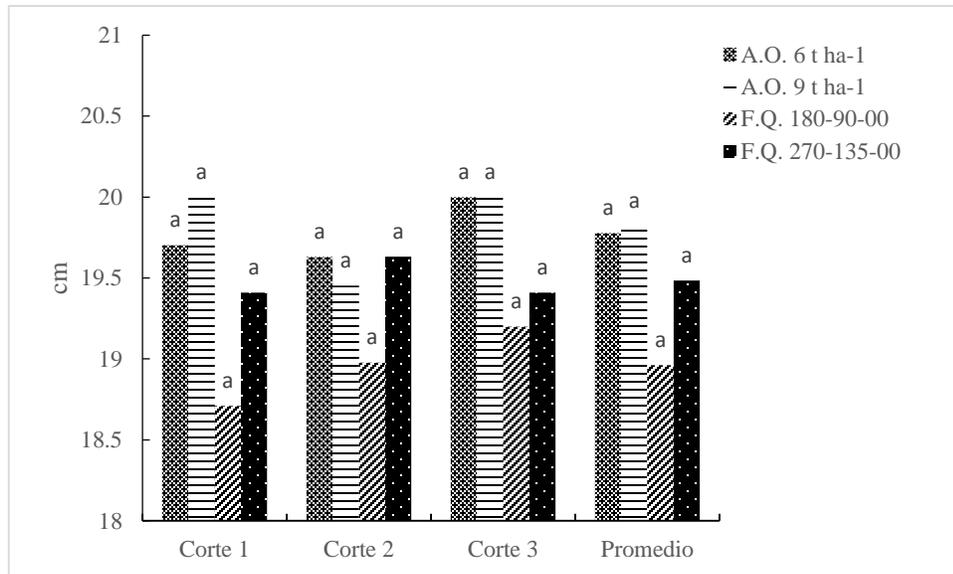


Figura 3. Diámetro de frutos de tomate en cm. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Volumen de fruto

En la comparación de medias para la variable de volumen de fruto, hubo diferencias significativas en el 1er, 3er corte y promedio (figura 4). El tratamiento de gallinaza 9 t ha^{-1} fue estadísticamente mayor al resto de las variedades ($p < 0.05$).

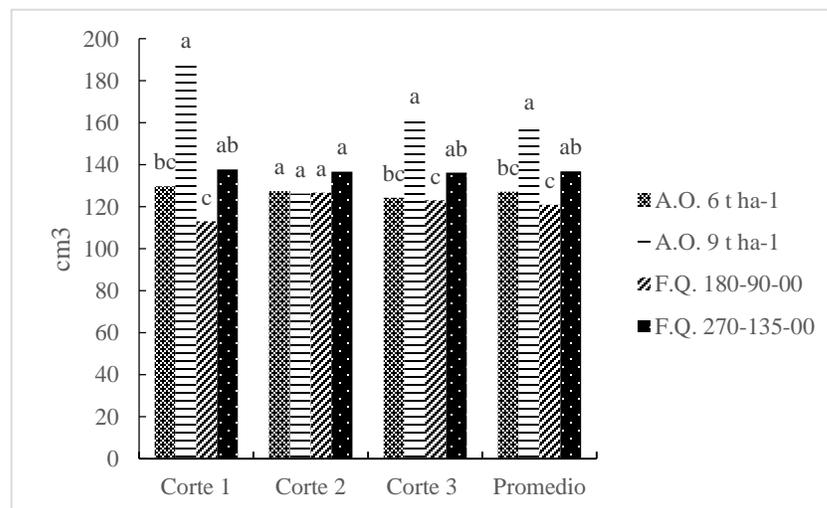


Figura 4. Volumen de fruto de tomate en cm^3 . Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Unidades SPAD

En la comparación de medias para la variable de Unidades SPAD, se encontró que no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos (figura 5). Dado que el valor de las unidades SPAD están directamente relacionado con la clorofila y el nitrógeno total, los resultados nos muestran que los tratamientos con fertilización orgánica pueden proveer el nitrógeno a las plantas para crecer y obtener producción similar a los materiales convencionales.

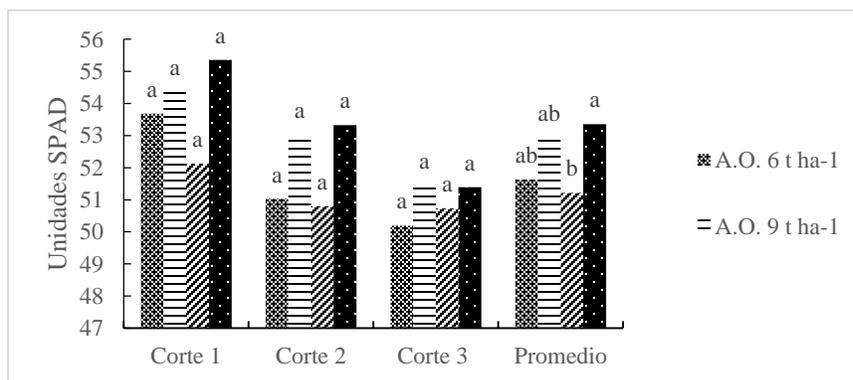


Figura 5. Unidades SPAD de la planta de tomate. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Firmeza

Esta variable es importante debido a que se relaciona a una mayor vida poscosecha, indispensable en la comercialización. Los valores obtenidos son promedio a los obtenidos por otros estudios y variedades de tomate. En el análisis estadístico no existe una diferencia entre tratamientos ni tampoco entre cortes (figura 6). Sin embargo, el tratamiento orgánico 9 t ha^{-1} obtuvo una firmeza de 2.5 kg cm^2 , siendo superior al resto de los tratamientos.

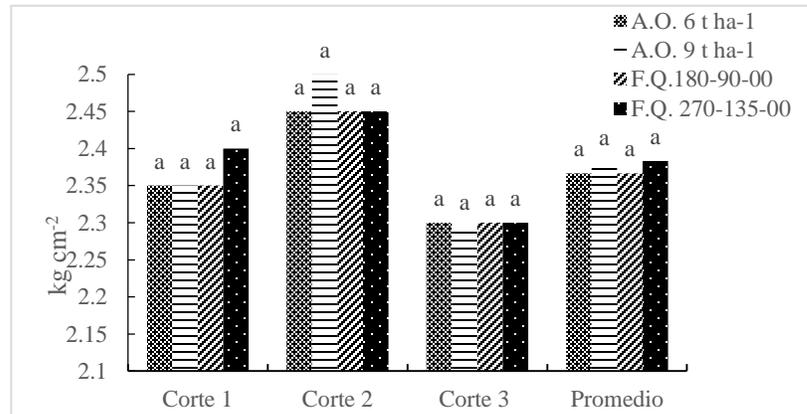


Figura 6. Firmeza de tomate en kg cm². Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey p<0.05).

Sólidos solubles totales

Esta variable es importante ya que mide el nivel de sólidos solubles que a su vez se relaciona al grado de sabor de los frutos. En la comparación de medias para la variable de °Brix, hubo una diferencia significativa en el 3er corte (figura 7), en donde el tratamiento de fertilización química 180-90-00 fue estadísticamente mayor al resto de los tratamientos(p<0.05).

El tratamiento con mayor °Brix fue el que menor peso y volumen de peso de frutos obtuvo en este estudio, lo que se puede explicar por un efecto de dilución de los sólidos solubles.

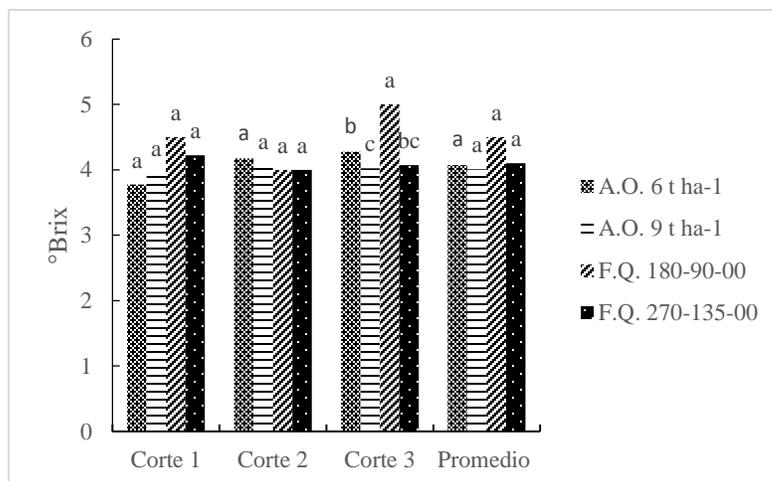


Figura 7. Grados Brix en tomate. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Acidez titulable

En la comparación de medias para la variable de acidez titulable, se encontró que no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos (figura 8). Sin embargo, en el promedio general, el tratamiento químico de 180-90-00, resulto ser menor al resto, teniendo un porcentaje de acidez de $< 4\%$.

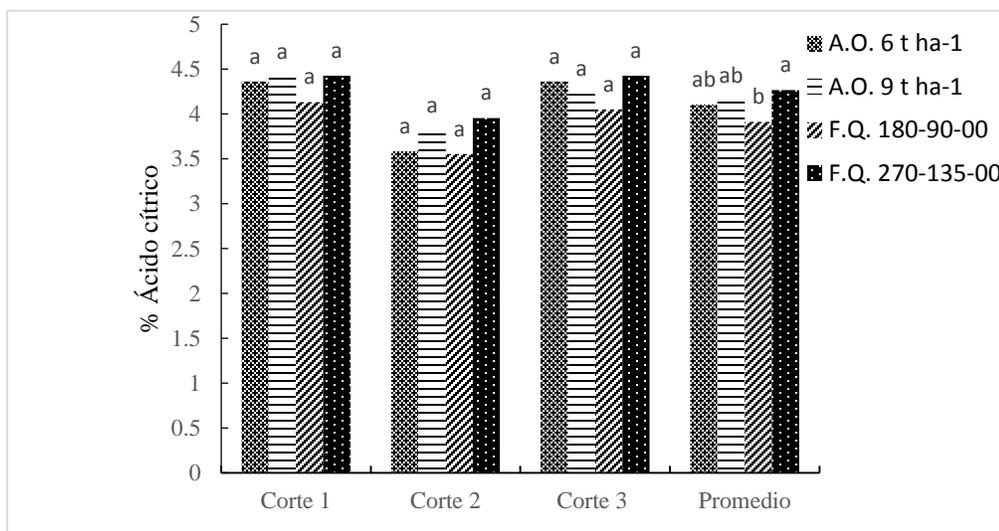


Figura 8. Acidez titulable en tomate en % de ácido cítrico. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Fenoles totales

En la comparación de medias para la variable de fenoles totales, hubo una diferencia significativa en el 1er, 3er corte y promedio (figura 9). El tratamiento de 180-90-00 fue menor a los demás.

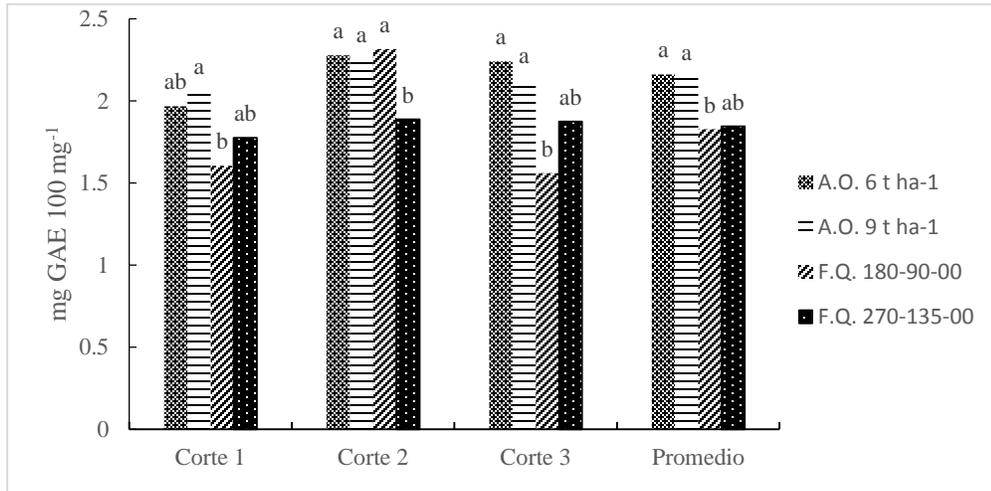


Figura 9. Fenoles totales en tomate en mg GAE 100 mg⁻¹. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son

Capacidad antioxidante

En la comparación de medias para la variable de capacidad antioxidante, hubo una diferencia significativa entre los tratamientos y muestreos (figura 10). El tratamiento 6 t ha⁻¹, se destaca de los demás tratamientos.

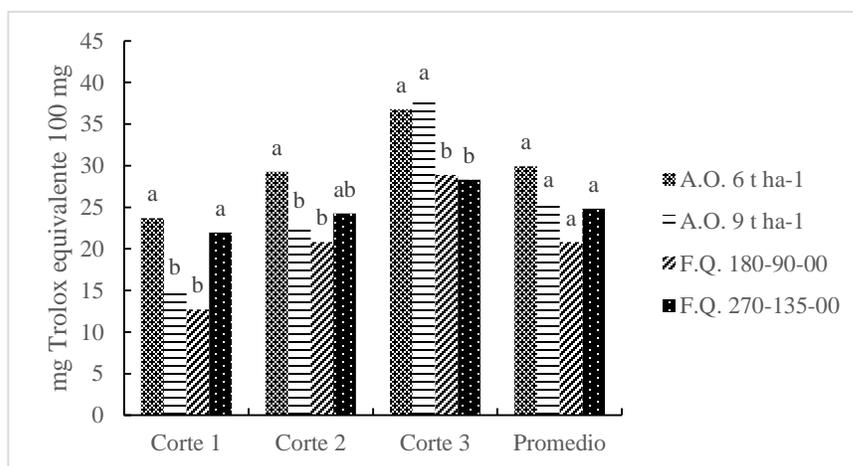


Figura 10. Capacidad antioxidante en tomate en mg TECA 100 mg⁻¹. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey

Resultados de la Comparaciones Ortogonales

Tres comparaciones fueron propuestas para estudiar mediante prueba de comparaciones ortogonales:

C1: Fertilización orgánica (F.O.) vs Fertilización convencional (F.C.).

C2: Fertilización orgánica 6 t ha⁻¹ vs Fertilización orgánica 9 t ha⁻¹.

C3: Fertilización convencional 180-90-00 vs Fertilización convencional 270-135-00.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los tres contrastes estudiados.

En el C1, se encontraron 3 variables con diferencia significativa (ds): V1, V2, V9, y una variable con una diferencia altamente significativa: V3. En el C2, solo se encontró una ds en la V5. En el C3 se encontraron 3 variables con ds: V1, V2 y V3, y dos variables con una diferencia altamente significativa: V5 y V8.

Tabla 3. Significancia de los contrastes ortogonales en el primer experimento.

	Descripción	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
C1	F.O. vs F. C.	*	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
C2	F.O. 6 t ha ⁻¹ vs F.O. 9 t ha ⁻¹	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
C3	F.C. 180-90-00 vs F.C. 270-135-00	*	*	*	ns	**	ns	ns	**	ns	ns

** Diferencia altamente significativa. * Diferencia significativa. ns, No existe diferencia significativa

F.O = Fertilización orgánica

F. Q= Fertilización convencional

V1= Rendimiento (t ha⁻¹)

V2= Peso de fruto (g)

V3= Diámetro de fruto (cm)

V4= Volumen de fruto (cm³)

V5= unidades SPAD

V6= Firmeza (kg cm³)

V7= Brix°

V8= Acidez titulable (% ácido cítrico)

V9= Fenoles totales (mg GAE 100 mg⁻¹)

V10= Capacidad Antioxidantes (mg Trolox 100 mg⁻¹)

Rendimiento

En la variable de rendimiento, se obtuvo una diferencia significativa en el primer contraste (figura 11), donde los tratamientos de fertilización orgánica fueron estadísticamente mayores ($p < 0.05$), que los tratamientos de fertilización química.

En el contraste 3 (figura 12) de la variable rendimiento, se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0.05$), entre las dosis de fertilización química 180-90-00 y 270-135-00, respectivamente. Donde la dosis más alta de fertilización fue superior estadísticamente, con respecto a la dosis más baja.

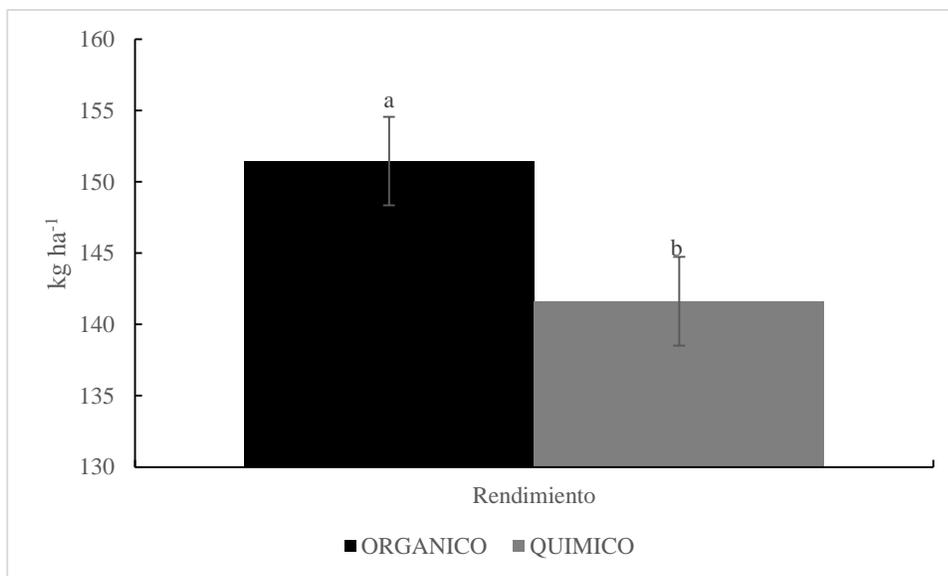


Figura 11. Contraste 1, rendimiento. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

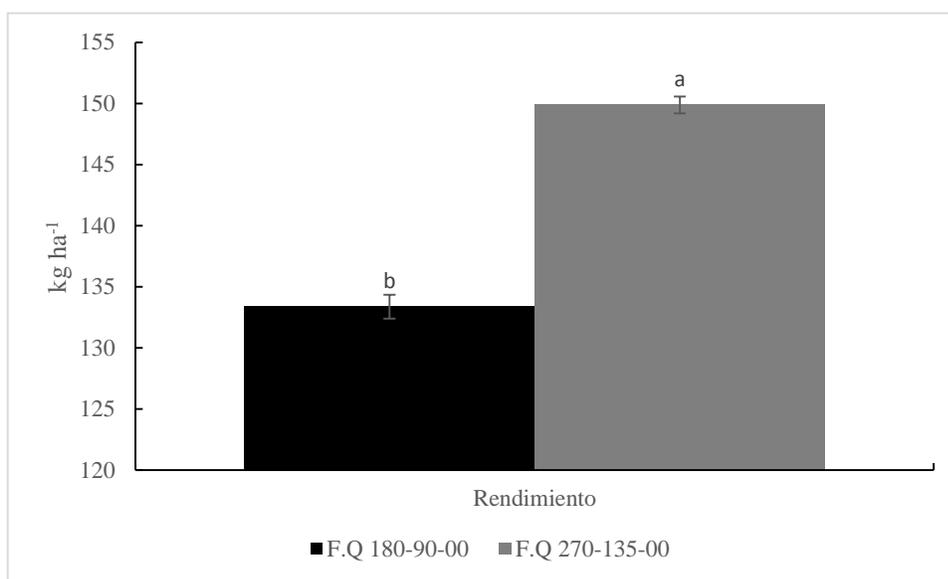


Figura 12. Contraste 3, rendimiento. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Peso promedio de fruto

En la variable de peso de fruto, en el análisis de contrastes, se encontró una diferencia significativa en el contraste 1 (figura 13), en donde los tratamientos de fertilización orgánica resulto ser mayor estadísticamente ($p < 0.05$).

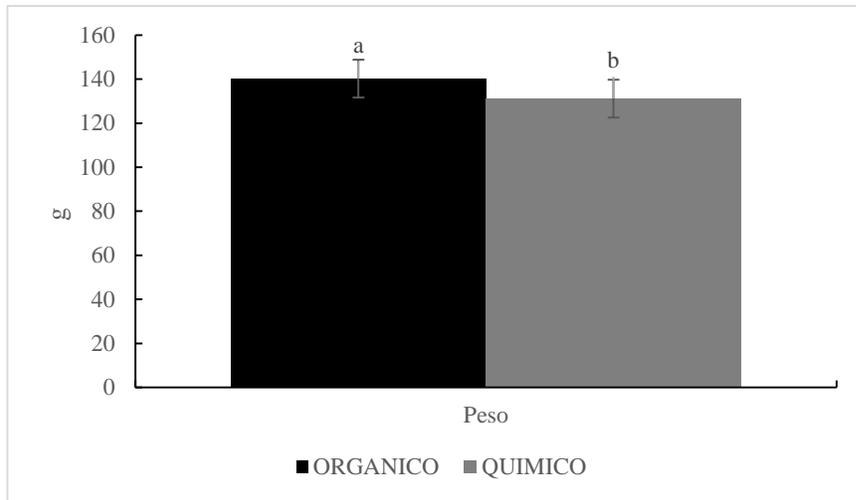


Figura 13. Contraste 1, peso promedio de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

En el contraste 3 de la variable peso de fruto (figura 14), se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos de fertilización química, en donde la dosis de más alta de fertilización química, resulto ser mayor estadísticamente que la dosis de 180-90-00, teniendo un peso promedio de 138.77 g.

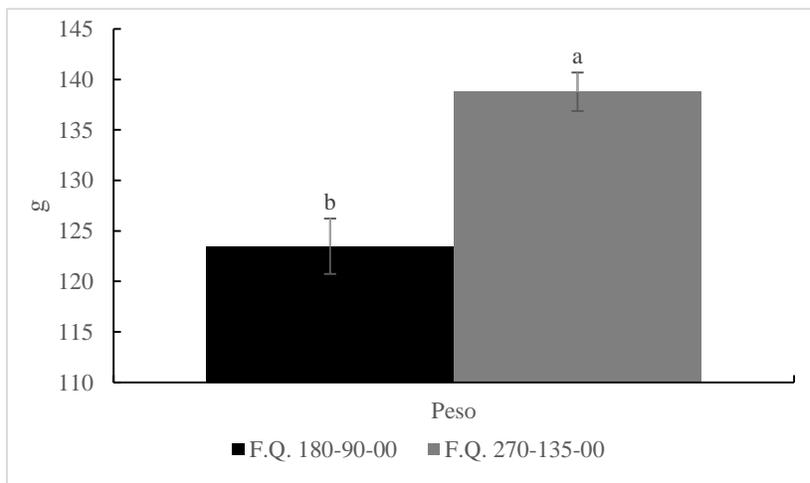


Figura 14. Contraste 3, peso promedio de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Diámetro de fruto

En las comparaciones ortogonales de la variable diámetro, se encontró en el contraste 1 (figura 15), una diferencia altamente significativa entre los tratamientos orgánicos vs los tratamientos químicos, en donde los tratamientos orgánicos fueron superiores estadísticamente ($p < 0.05$), donde tuvieron en promedio un diámetro de 19.79 cm, en comparación a la fertilización química que tuvieron 19.22 cm.

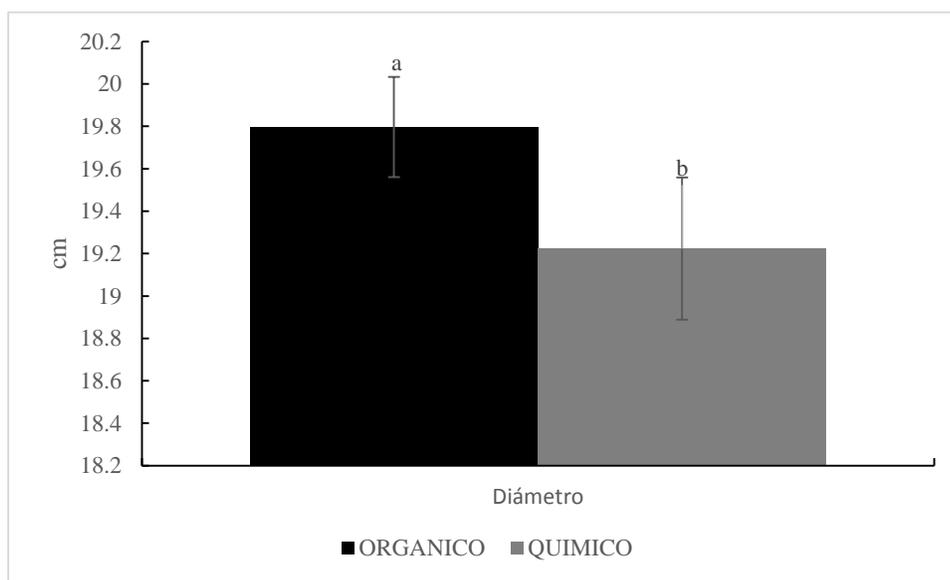


Figura 15. Contraste 1, diámetro de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

En el contraste 3, de la variable diámetro se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos químicos (figura 16), en donde el tratamiento 270-135-00 fue mayor estadísticamente ($p < 0.05$), en comparación al tratamiento 180-90-00, teniendo en promedio 19.48 cm en comparación a 18.96 cm.

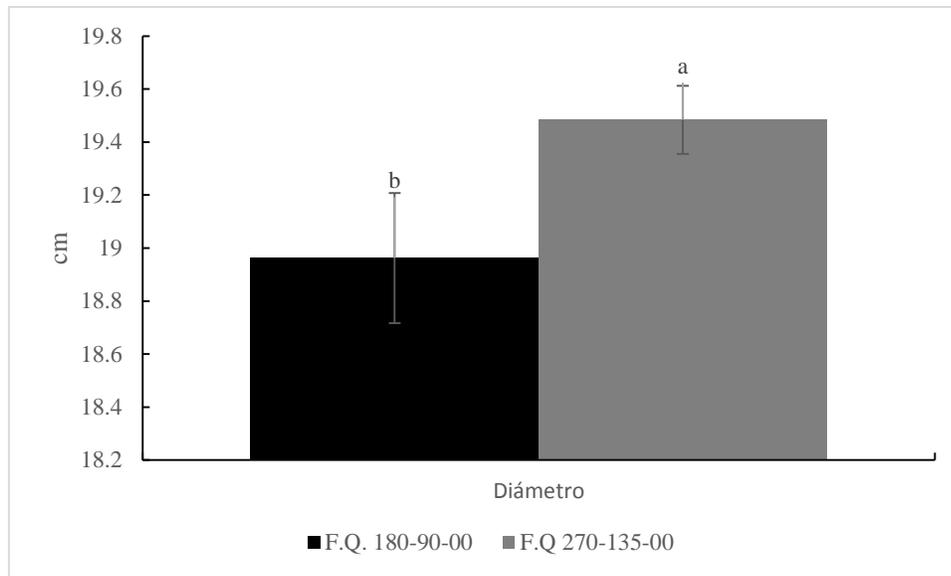


Figura 16. Contraste 3, diámetro de fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Unidades SPAD

En las comparaciones ortogonales de la variable unidades SPAD, se encontró una diferencia significativa en el contraste 2 (figura 17), en donde la dosis de fertilización orgánica de 9 t ha^{-1} , resulto ser mayor estadísticamente ($p < 0.05$), en comparación a la dosis de fertilización orgánica 6 t ha^{-1} .

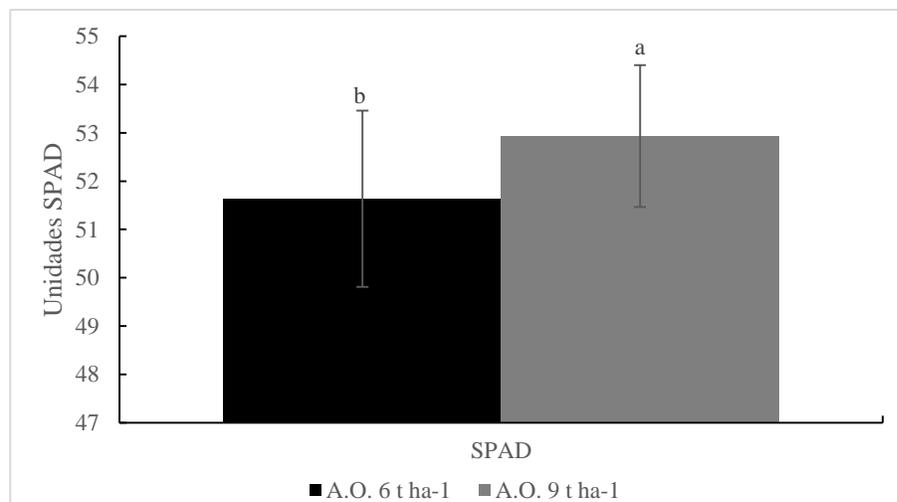


Figura 17. Contraste 2, unidades SPAD. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

En el contraste 3 de la variable fisiológica SPAD, se encontró una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, en donde el tratamiento de fertilización química 270-135-00 (figura 18), resulto ser mayor estadísticamente ($p < 0.05$) en comparación al tratamiento de fertilización química 180-90-00. Teniendo en promedio 53.35 unidades SPAD siendo 10 % mayor que tratamiento químico 180-90-00.

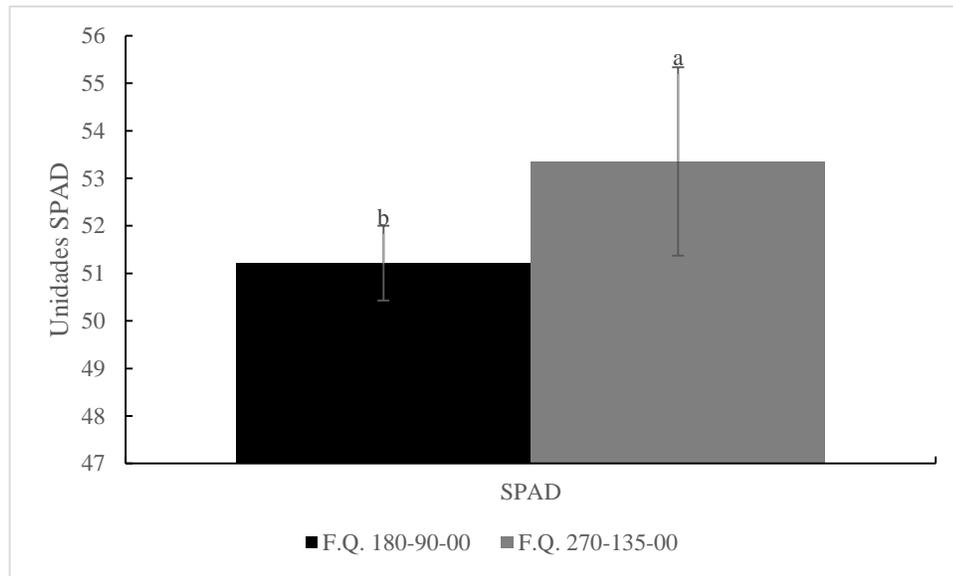


Figura 18. Contraste 3, unidades SPAD. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Acidez titulable

En las comparaciones ortogonales de la variable Acidez titulable, se encontró una diferencia en el contraste 3 (figura 19), donde el tratamiento de fertilización química 270-135-00, resulto ser mayor estadísticamente ($p < 0.05$), en comparación al tratamiento de fertilización química 180-90-00.

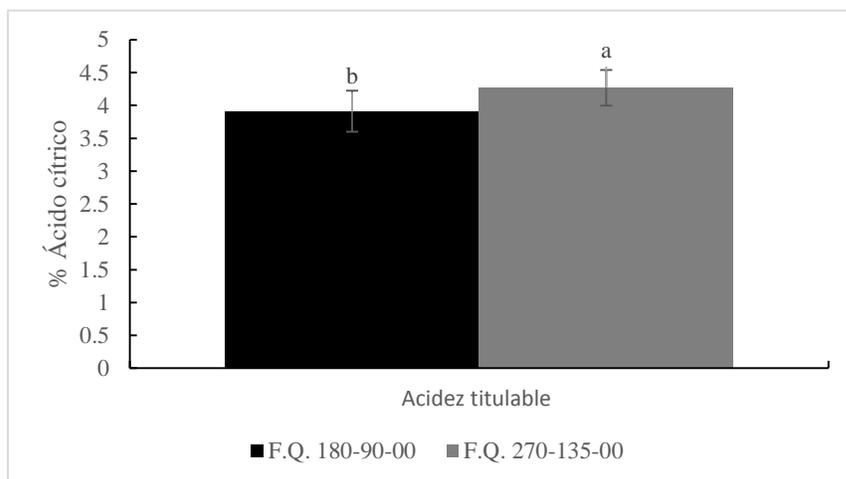


Figura 19. Contraste 3, acidez titulable en fruto. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Fenoles totales

En las comparaciones ortogonales de la variable de fenoles totales, se encontró una diferencia significativa en el contraste 1 (figura 20). En donde los tratamientos de fertilización orgánica resultaron ser mayor estadísticamente ($p < 0.05$) en comparación a los tratamientos de fertilización química. Teniendo en promedio 2.15 mg GAE 100 mg^{-1} , siendo 20% mayor que los tratamientos de fertilización química.

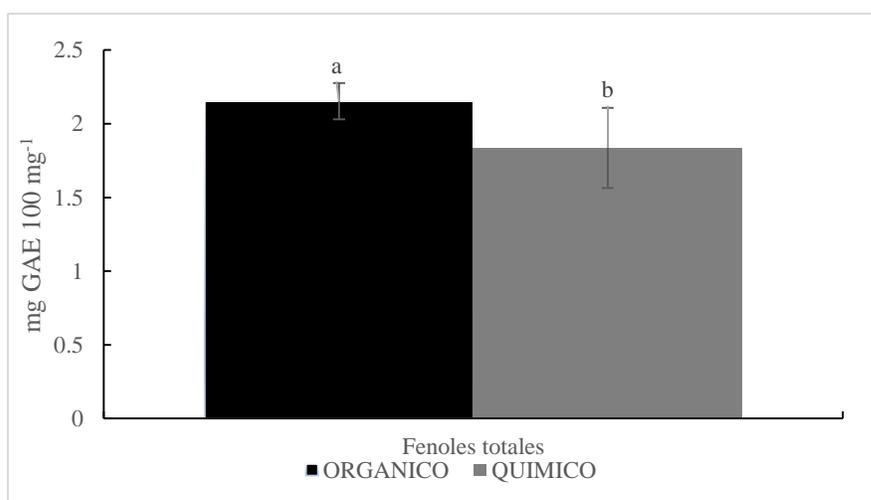


Figura 20. Contraste 1, fenoles totales. Medias seguidas con misma letra en cada columna, son significativamente iguales (Tukey $p < 0.05$).

Cantidades de Macronutrientes Aplicados

Las cantidades de nutrientes (NPK) aplicado al suelo, se presentan en la tabla 4. Las diferencias son muy notorias entre las dos formas de fertilización. En la fertilización orgánica se aplica mucho más nutrientes, considerando que solo una parte es disponible en corto tiempo, y el resto será mineralizado en el mediano plazo.

Tabla 4. Cantidad de nutrientes aplicados por tipo de fertilización.

Tratamiento	Nitrógeno			Fósforo			Potasio		
	Sólido	Té	Total	Sólido	Té	Total	Sólido	Té	Total
	(kg ha ⁻¹)								
1 6 t ha ⁻¹	120	110	230	132	34	166	150	397	547
2 9 t ha ⁻¹	180	165	345	198	51	249	225	596	820
3 180-90-00	-	-	180	-	-	90	-	-	0
4 270-135-00	-	-	270	-	-	135	-	-	0

Macronutrientes Disponibles en Suelo

En la tabla 5 se observa que los cuatro tratamientos tuvieron efectos similares con respecto al nitrógeno inorgánico del suelo, y que ninguno alcanzo un nivel aún bajo, según la norma (DOF, 2002). La diferencia en el nitrógeno inicial, es de 0.5 a 1 mg kg⁻¹, la cual se obtuvo con las dosis altas de ambas formas de fertilización.

El fósforo se observa una diferencia muy importante, los tratamientos de fertilización orgánica fueron mayores en casi el doble de contenido en el suelo que la fertilización convencional, se refleja un mayor incremento en la dosis más alta de abono orgánico (9 t ha⁻¹), la cual casi duplica el contenido inicial de fósforo en el suelo.

En potasio se observa que la fertilización orgánica incrementó los niveles de potasio inicial y fueron mayores a la fertilización convencional entre un 40 y 50%.

Tabla 5. Macronutrientes disponibles en suelo por tratamiento en tres muestreos dentro de la etapa fenológica de producción y valor de referencia.

Tratamiento	Nitrógeno Inorgánico (mg kg ⁻¹)			Fósforo Aprovechable (mg kg ⁻¹)			Potasio Intercambiable (Cmol ⁺ kg ⁻¹)			
	M	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
1	6 t ha ⁻¹	4.5	5	4.5	10.5	9	10	1.15	1.25	1.15
2	9 t ha ⁻¹	5	5.5	4.5	11	10	11	1.25	1.40	1.2
3	180-90-00	4.8	4.8	4.5	4	4	4	0.90	0.90	0.95
4	270-135-00	5	5	4.8	5	5	5	0.93	0.98	1
N. R. bajo*		10-20			<5.5			0.2-0.3		
N. R. medio		20-40			5.5>11			0.3-0.6		
N. R. alto		>40			>11			>0.6		

*N. R. = Nivel de referencia según NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). M = muestreo.

pH y Conductividad Eléctrica en Suelo

Pequeñas diferencias entre los tratamientos se pueden apreciar en pH y conductividad eléctrica (Tabla 6). En general, la fertilización convencional propició en el suelo menores valores de pH y más conductividad eléctrica. Sin embargo, no consideramos que estas diferencias puedan tener efectos significativos en el rendimiento del cultivo de tomate, así como en la calidad comercial y nutracéutica de los frutos.

Tabla 6. Conductividad eléctrica y pH en el suelo.

Muestreo		Fertilización orgánica		Fertilización convencional	
		T1 6 t ha ⁻¹	T2 9 t ha ⁻¹	T3 180-90-00	T4 270-135-00
Inicial	pH	7.87	7.87	7.87	7.87
	CE	1.65	1.65	1.65	1.65
1	pH	7.91	8	7.90	7.91
	CE	1.70	1.72	1.67	1.69
2	pH	8.20	8.22	8.00	8.10
	CE	1.72	1.77	1.69	1.70
3	pH	8.20	8.22	8.00	8.10
	CE	1.75	1.78	1.70	1.73
4	pH	8.22	8.30	8.13	8.16
	CE	1.77	1.82	1.73	1.75

Resultados del Análisis de Componentes Principales

Con el fin de establecer la variación entre los cuatro tratamientos y determinar la relación entre estos, se realizó una prueba de componentes principales (PCA) del conjunto de datos. El PCA nos permite visualizar la disposición original de los cuatro tratamientos en un espacio tridimensional, identificando las direcciones en las que se retiene la mayor parte de la información. La grafica de puntuaciones se creó con el fin de definir diferentes grupos como se muestra en la figura 21. Las muestras se agrupan de acuerdo con las diferentes dosis de fertilización ya sea orgánica no química. Dos componentes (PC1 y PC2) representaron el 60% de la variabilidad de los datos originales. El primer componente (eje X) explicó el 55% de la variación total del conjunto de datos. Este componente a punta a la diferencia entre los tratamientos orgánicos y químicos. El grupo de las dosis de fertilización orgánica está situada a lado derecho de la gráfica que se divide en dos subgrupos (T1 y T2). En contrates la fertilización química está situada en el lado izquierdo de la gráfica, que se divide en dos grupos diferentes (T3 y T4).

Para establecer la variación entre los tratamientos orgánicos determinar la relación entre estos, se realizó una prueba de componentes principales (PCA) del conjunto de datos. La grafica de puntuaciones se creó con el fin de definir diferentes grupos como se muestra en la figura 22. Las muestras se agrupan de acuerdo con las diferentes dosis de fertilización orgánica 6 t ha^{-1} y 9 t ha^{-1} . Dos componentes (PC1 y PC2) representaron el 65% de la variabilidad de los datos originales. El primer componente (eje X) explico el 25% de la variación total del conjunto de datos. Este componente a punta a la diferencia entre los tratamientos orgánicos. El grupo de las dosis de fertilización orgánica 9 t ha^{-1} está situada a lado derecho de la gráfica. En contrates la fertilización orgánica de 6 t ha^{-1} está situada en el lado izquierdo de la gráfica. Lo cual no señala que existe una gran variación entre las dosis de fertilización orgánica, ya que los puntos se encuentran dispersos en la gráfica y en ningún momento se unen.

La variación entre los tratamientos químicos se determinó en un análisis de componente principal que no ayuda a observar la relación entre estos, se realizó una prueba de componentes principales (PCA) del conjunto de datos. La grafica de puntuaciones se creó con el fin de definir diferentes grupos como se muestra en la figura 23. Las muestras se agrupan de acuerdo con las diferentes dosis de fertilización química 180-90-00 y 270-135-00. Dos componentes (PC1 y PC2) representaron el 63% de la variabilidad de los datos originales. El primer componente (eje X) explico el 23% de la variación total del conjunto de datos. Este componente a punta a la diferencia entre los tratamientos químicos. El grupo de las dosis de fertilización química 270-135-00 está situada a lado derecho de la gráfica. En contrates la fertilización química de 180-90-00 está situada en el lado izquierdo de la gráfica. Lo cual no señala que existe una gran variación entre las dosis de fertilización química, ya que los puntos se encuentran dispersos en la gráfica y en ningún momento se unen.

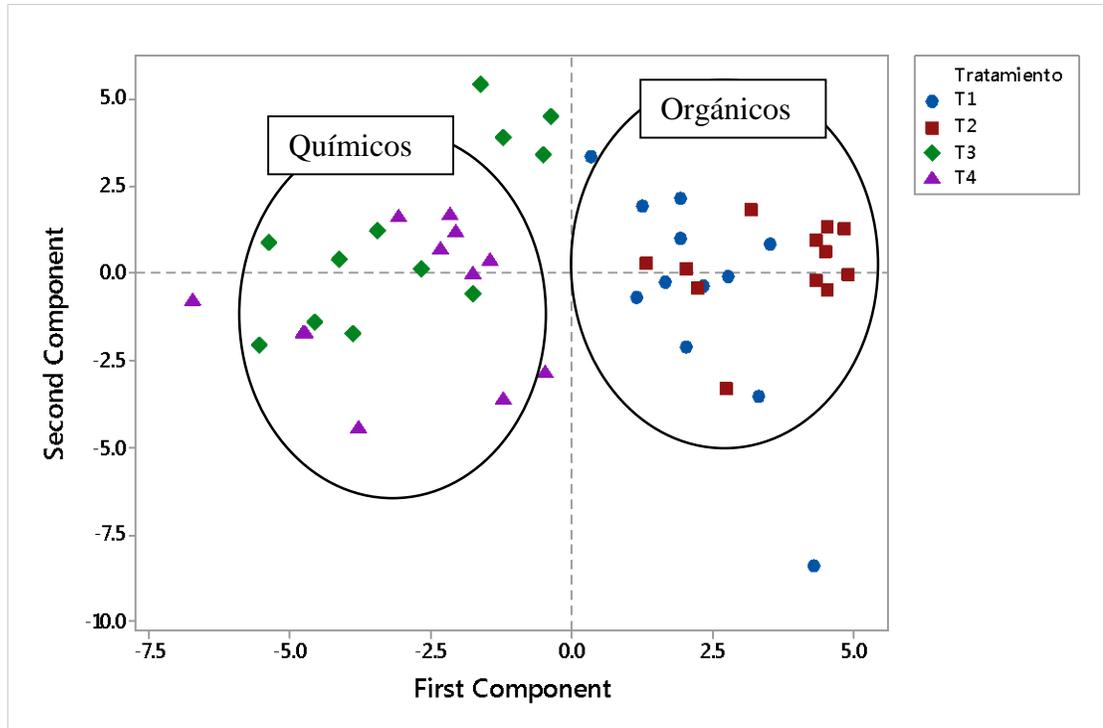


Figura 21. Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización orgánica y química.

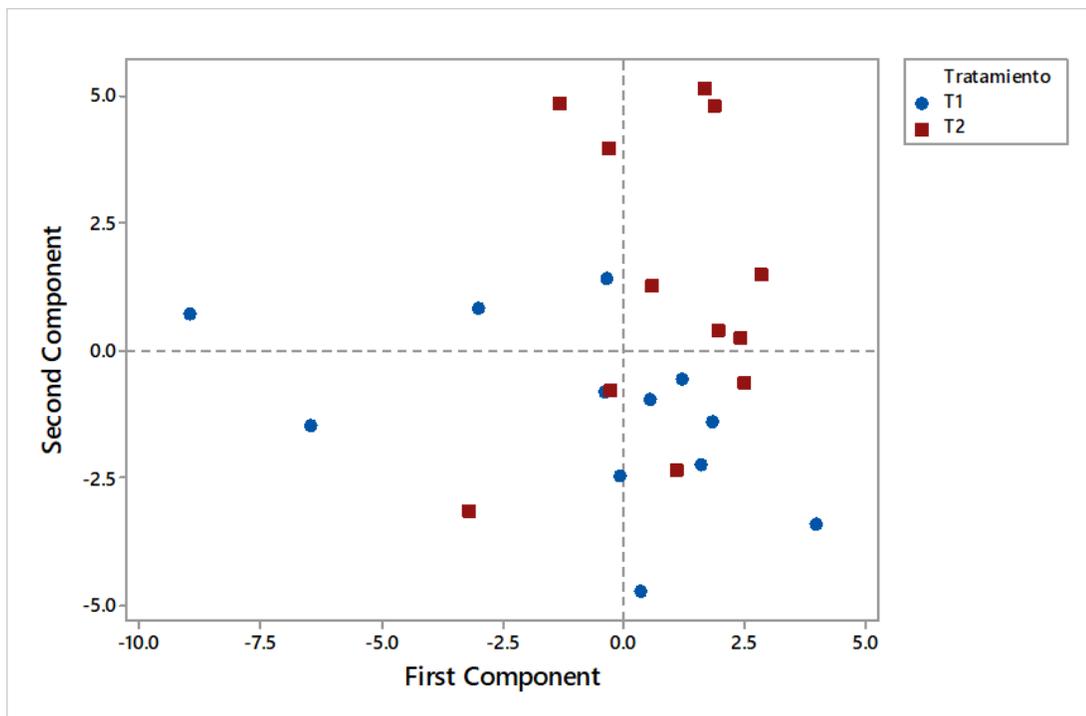


Figura 22. Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización orgánica.

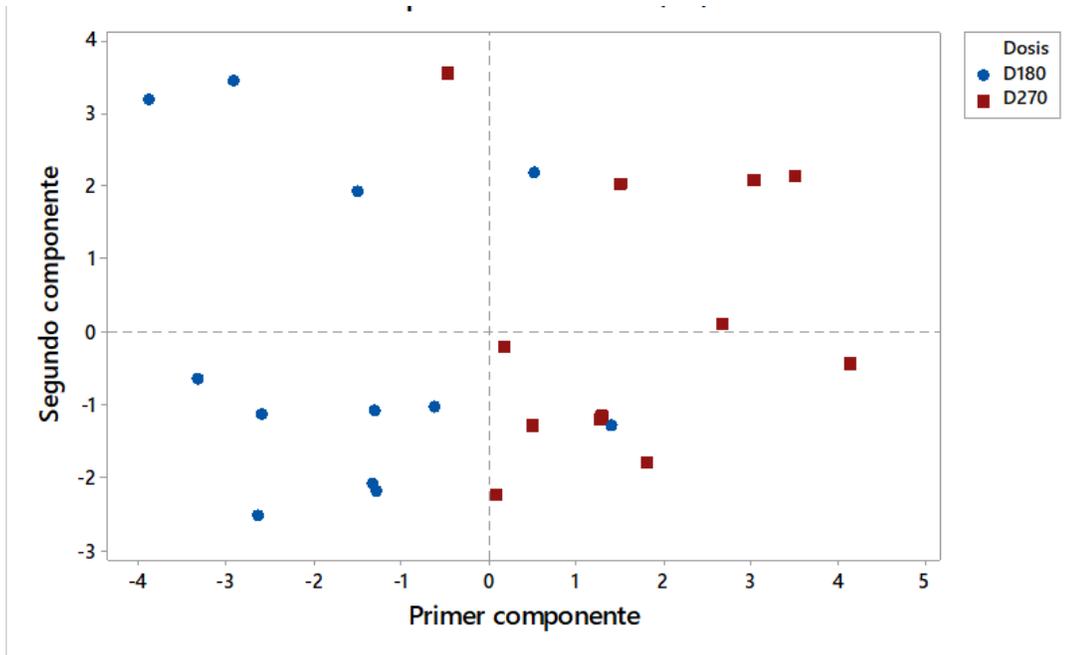


Figura 23. Distribución de los componentes principales de los tratamientos con fertilización química.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el experimento, analizados por contrastes ortogonales y componentes principales, revelan que existe una diferencia significativa entre los tratamientos orgánicos y convencionales, y que es aceptada la hipótesis en el sentido de que la fertilización orgánica (bajo la metodología propia del ensayo) induce un mayor rendimiento en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y fenoles totales en frutos en comparación con la fertilización convencional, excepto en calidad comercial.

En cuanto a la calidad comercial, estos resultados concuerdan con Salas *et al.*, (2016) y Preciado *et al.*, (2011), quienes encontraron que los tomates producidos en sistemas orgánicos y sistemas convencionales no difieren en cuanto a su firmeza, contenido de sólidos solubles y su acidez, lo que indica que los sistemas orgánicos están proporcionando los nutrientes necesarios para obtener buenos resultados en la calidad comercial de tomate.

En relación a la calidad nutracéutica, en específico, el contenido de fenoles totales, los resultados son parecidos a los reportados por Sereme *et al.*, (2016), quienes mencionan que la biosíntesis de los polifenoles está influenciada por la aplicación de la fertilización orgánica. Sin embargo, Riahi y Hdider (2013), no encontraron diferencias en el contenido de fenoles entre los tratamientos con fertilización orgánica y química. Mencionan que el papel de las fuentes de nutrientes orgánicos aun no es claro en la producción de fenoles, y sugieren que otros factores distintos a la nutrición pueden estar involucrados principalmente a factores ambientales de estrés como la presión de patógenos.

La capacidad antioxidante, estimada por la cantidad de trolox en los frutos, no fue diferente entre las formas de fertilización, aun cuando se obtuvo diferencias en fenoles totales. Por lo general, al haber mayor cantidad de compuestos fenólicos, habrá mayor capacidad antioxidante. Sin embargo, existen otros factores que influyen en la capacidad antioxidante como el genotipo y el estado nutricional (que puede ser muy variable).

La diferencia entre las dosis de macronutrientes aplicados, entre ambas formas de fertilización, pueden ser la causa de las diferencias encontradas en el rendimiento y contenido de fenoles totales de los frutos de tomate. La fertilización orgánica aporta más macronutrientes que la fertilización convencional, aunque no necesariamente se vio reflejado en el suelo.

En el caso del nitrógeno, ambas formas de fertilización no fueron capaces de proveer las cantidades suficientes al suelo para una apropiada nutrición de las plantas (DOF, 2002). Salas *et al.*, (2016) mencionan que la variación en el contenido de antioxidantes en fruto está influenciada por la baja disponibilidad de N. Las plantas responden al suministro de nitrógeno, cuando se satisface los requisitos de este elemento, se producirán compuestos como aminoácidos, proteínas y alcaloides (Hallman y Rembialkowska, 2012). En cambio, las plantas que crecen en condiciones con deficiencia de nitrógeno producirán azúcares simples y complejos, ácidos orgánicos, vitaminas y metabolitos secundarios (Niguyen y Niemmeye, 2008).

La deficiencia de N causa estrés oxidativo en las plantas de tomate, con lo que resulta una mayor actividad anti-oxidativa del superóxido dismutasa y, por lo tanto, una mayor capacidad antioxidante y contenido fenólico en frutas (Oliveira *et al.*, 2013).

En este experimento hubo una deficiencia en el contenido de nitrógeno en el suelo, pero fue por igual en ambas formas de fertilización. Por lo que hace pensar que otro factor pudo tener más influencia en los resultados de calidad tanto comercial y nutraceuticos que se obtuvieron.

Respecto a fósforo, existe una diferencia clara en lo aportado y lo disponible en el suelo entre la fertilización orgánica y convencional, siendo mayor la primera. En cuanto a lo aportado, la fertilización orgánica añadió un 84% más fósforo; y en la biodisponibilidad, en el suelo, fue más del doble. Esta condición es la más probable causa de los resultados encontrados a favor de la fertilización orgánica tanto en rendimiento, calidad comercial y nutraceutica de frutos de tomate. También se observa que la dosis de 9 t ha⁻¹ (fertilización orgánica), incrementó el rendimiento con respecto a la dosis de 6 t ha⁻¹, así como algunas variables de calidad. Lo anterior indica que existe una relación que entre a mayor fósforo aplicado, mayor fósforo disponible en el suelo y

mayor rendimiento y calidad de frutos de tomate. Ahn *et al.*, (2005) sugieren que las actividades enzimáticas antioxidantes pueden estar influenciadas por la disponibilidad de fósforo, pero están sujetas a variaciones considerables dependiendo de la etapa de desarrollo y la temporada.

En cuanto a potasio, las diferencias son grandes entre ambas formas de fertilización y, por lo tanto, es una posible causa de los resultados obtenidos a favor de la fertilización orgánica. Esta última aportó entre 547 y 820 kg ha⁻¹ más que la fertilización convencional, lo que se reflejó en un mayor contenido de potasio disponible en el suelo, hasta en un 30%. Es importante mencionar, que potasio es un elemento que se encuentra en cantidades suficientes de manera disponible en el suelo (DOF, 2002), y que aparentemente, no necesitaría aportación externa de este elemento para nutrir a las plantas y padecer deficiencias por este elemento; sin embargo, la aportación extra que se tuvo por parte de la fertilización orgánica, es probable que fue la causa de incrementar la calidad de los frutos de tomate. La síntesis de proteínas requiere una alta concentración de K celular, > 120 mM, para el proceso de transcripción y para la unión del ARNt a los ribosomas (Wyn Jones y Pollard, 1983).

Otras funciones del potasio en las plantas debieron colaborar en los resultados obtenidos a favor de la fertilización orgánica, tanto en el rendimiento como en la calidad comercial, principalmente e indirectamente en la calidad nutracéutica: aumenta el crecimiento de la raíz, mejora la resistencia a la sequía, activa muchos sistemas enzimáticos (se tienen al menos 60 enzimas diferentes involucradas en el crecimiento de la planta.), mantiene turgor, reduce la pérdida de agua y la marchitez, ayuda en la fotosíntesis (activa enzimas que producen trifosfato de adenosina, ATP), formación de alimentos, reduce la respiración (previniendo las pérdidas de energía), mejora la translocación de azúcares y almidón, aumenta el contenido proteico de las plantas (IPNI, 1998).

Recientes estudios han relacionado altos niveles de fertilización de potasio con un incremento en el rendimiento, la calidad comercial y nutracéutica en diversas hortalizas, como albahaca (López *et al.*, 2017) y pepino (Díaz *et al.*, 2018). En tomate también se han reportado tales relaciones. Taber *et al.*, (2008), encontraron un efecto positivo de la

fertilidad de K en carotenoides de tomate con el grado de respuesta dependiente del genotipo. Señalan, que al igual que en otros estudios, la concentración de licopeno en la fruta de cultivares con una concentración promedio de licopeno no parece verse afectada por la aplicación de K en exceso de las tasas recomendadas. Sin embargo, los tipos de tomate con alto contenido de licopeno pueden responder de manera positiva a la aplicación adicional de K.

Azfal, *et al.*, (2015), evaluaron aplicaciones foliares de K en plantas de tomate al 0,6%, esta dosis mejoró significativamente la altura de la planta, el contenido de licopeno, el potasio, el peso y el diámetro de la fruta. Señalan que, debido a la correlación positiva entre la nutrición K y los atributos de calidad de la fruta, la aplicación exógena de un nivel apropiado de K puede contribuir a un mayor rendimiento y una mejor calidad de los frutos de tomate. Entre todos los niveles de potasio, 0.5–0.7% K mejoró al máximo el rendimiento de las plantas de tomate.

Es importante analizar, en futuros estudios, la eficiencia en el uso de los nutrientes en la fertilización orgánica, así como sus implicaciones ambientales. En este ensayo se logró un incremento de peso de fruto, rendimiento por hectárea y fenoles de 7%, 7% y 17% respectivamente, mayor en comparación con la fertilización convencional; para lo cual fue necesario aplicar cantidades extras de N, P y K, hasta 75, 114 y 820 kg ha⁻¹, respectivamente.

CONCLUSIONES

La fertilización orgánica de tomate con abono sólido de gallinaza aplicada al suelo, complementado con té del mismo material orgánico, genera un mayor rendimiento y contenido de fenoles totales en frutos de tomate en comparación con la fertilización convencional. En cuanto a calidad comercial de frutos no se tuvo diferencias.

La fertilización orgánica aporta más cantidad de N, P y K que la convencional, lo que se reflejó en un mayor nivel de P y K disponibles en el suelo, no así en N.

Las dosis altas, tanto de fertilización orgánica como convencional, generaron mayor rendimiento, calidad comercial y nutracéutica de frutos de tomate.

El estado de N deficiente y altos contenidos de P y K en el suelo, que generó la fertilización orgánica, pueden ser la causa de los resultados obtenidos a favor de esta forma de fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Afzal, I., Bilal Hussain, Shahzad Maqsood Ahmed Basra, Sultan Habib Ullah, Qamar Shakeel and Muhammad Kamran. 2015. Foliar application of potassium improves fruit quality and yield of tomato plants. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 14 (1) 2015, 3-13.
- Ahn, T., Oke, M., Schofield, A. and Paliyath, G. 2005. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on antioxidant enzyme activities in tomato fruits. *Agric. Food Chem.* 2005, 53, 5, 1539-1545.
- Al-Dahmani, J. H., P. A. Abbasi, S. A. Miller, and H. A. J. Hoitink. 2003. Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions. *Plant Dis.* 87: 913-919.
- Ashwell M. 2005. Conceptos sobre alimentos funcionales. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press.
- Choudhary, R. and Walters, S. A. 2013. Tomato antioxidant content as influenced by conventional and organic production methods and post-harvest management. In: *Tomatoes. Cultivation, varieties and nutrition.* Editor by Tadahisa Higashide. Edited by Nova Science Publishers, Inc. 139-150 p.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Consultado el 11/01/2015. 85 p.
- Díaz, M. H., Preciado, R., Sánchez, C., Esparza, R., Fortis, H. and Álvarez, R. 2018. El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *REMEXCA*, vol. especial, número 20: 4245-4250.
- IFOAM. 2019. Definition of agricultura organic. Disponible en: <https://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture>.
- González, S. 2019. La agricultura orgánica en México. Disponible en: <https://www.mexicampo.com.mx/la-agricultura-organica-en-mexico-2/>
- Guerreo, J.C., Ciampi, L.P., Castilla, A.C., Medel, F.S., Schalchli, H.S., Hormazabal, E.U., Bensch, E.T., Alberdi, M.L. 2010. Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile. *Chil. J. Agric. Res.* 70: 537-544.
- Hallman, E. & Rembalkowska, E. 2012. Characterisation of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2409-2415.
- Jasso, C. C. y Martínez, G. M. 2014. Fertirrigación en jitomate en el altiplano y zona media de San Luis Potosí. *Memorias del curso: Fertigación, uso y manejo del agua.* UASLP, Facultad de Agronomía, México.

- Lester, G. E. and Crosby, K. 2002. Ascorbic acid, folic acid, and potassium content in postharvest green fleshhoneydew muskmelons: influence of cultivar, fruit size, soil type, and year. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (5): 843:847.
- López, M., Salas, P. L., Valenzuela, S. R., Borroel, G. R., Preciado, R. P. y Ramírez, S. A. 2017. Effect of potassium on the phenolic content and antioxidant capacity of *Ocimum basilicum* L. *REMEXCA* Vol.8, Núm. 1, p. 133-145.
- Martí, R., Leiva, B. M, Lahoz, I., Campillo, C., Cebolla, C.J., Rosello, S. 2017. Polyphenol and L-ascorbic acid content in tomato as influenced by high lycopene genotypes and organic farming at different environments. *Food Chemistry*, 239 (2018): 148-156.
- Mohamed, N. 2011. Organic Vs Chemical Fertilization of Medicinal Plants: A Concise Review of researches. *Advances in Environmental Biology*, 5(2): 394-40.
- Nieto G. A., Murillo A. B., Troyo D. E. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *INCI* 27 (8): 417-42.
- Nieto-Garibay, Bernardo Murillo-Amador, Enrique Troyo-Diéguez, Alfredo Beltrán-Morales, Francisco Higinio Ruíz-Espinoza, José Luis García-Hernández. 2010. Recycling Organic Wastes of Animal, Plant and Domestic Development and Use of Compost in Organic Agriculture. *In: Agricultura Orgánica, tercera parte.*
- Nguyen, P. M. and Niemeyer, E. D. 2008. Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56 (18), 8685-8691.
- Oliveira, A. B., Moura, C., Gomes-Filho, E., Marco, C. A., Urban, L. and Miranda, M. R. 2013. The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *PLoS ONE* 8(2): e56354. doi: 10.1371/journal.pone.0056354.
- Omar, N.F, S.A. Hassan, U.K Yusoff, N.A. Abdullah, P.E. Wahab, U. Sinniah. 2012. Phenolics, flavonoids, antioxidant activity and cyanogenic glycosides of organic and mineral-base fertilized cassava tubers. *Molecules* 17: 2378-2387.
- Ozgen, M., Neil, R.R., Tulio Jr, A.Z., Scheerens, J.C., Miller, R. 2006. Modified 2, 2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid (ABTS) Method to Measure Antioxidant Capacity of Selected Small Fruits and Comparison to Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) and 2, 2 ϕ -Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 1151-1157.
- Preciado-Rangel, Sánchez-Bernal, F., Velazco-Velazco, Frías-Pizano, J., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J., Omar-Rueda, E. y Márquez Hernández, C. 2010. Soluciones Nutritivas Preparadas con Fuentes Orgánicas de Fertilización. *In: Agricultura Orgánica, tercera parte.*

- Parr, A.J y G.P. Bolwell. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content and profile. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture* 80: 985-1012.
- Rekika, D., S. Khanizadeh., M. Deschenes., A. Levasseur., M.T. Charles. 2005. Antioxidant capacity and phenolic content of selected strawberry genotypes. *HortScience*. 40: 1777–1781.
- Riahi, A. and Hdider, C. 2013. Bioactive compounds and antioxidant activity of organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars as affected by fertilization. *Scientiae horticultrae*, vol. 151, 90-96.
- Roginsky V., Lissi E.A. (2005). Review of methods to determine chainbreaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92 (2): 235-254.
- SAGARPA. 2017. Comunicado de prensa: Aumento a 35 por ciento producción de jitomate Hecho en Mexico. Ciudad de Mexico, 10 de febrero de 2017. URL: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC_0055_10.PDF (Junio 24, 2018).
- Salas, P.L, González, F. J. A, García, C. M, Sifuentes, I. E, Parra, T. S, Preciado, R. P. 2016. Calidad biofísica y nutraceutica de frutos de tomate producido con sustratos organicos. *Nova Scientia*, 8(17): 310-325.
- Sánchez, H.D.J, Fortis, H.M, Esparza, R.J.R, Rodriguez, O.J.C, de la Cruz, L.E, Sanchez, C.E, Preciado, R.P. (2016). Empleo de Vermicopost en la Produccion de Frutos de Melon y su Calidad Nutraceutica. *Interciencia*, 41(3): 213-217.
- Sereme, A., Dabire. C., Koala, M., Somda, M.K., Traore, A.S. (2016). Influence of organic and mineral fertilizers on the antioxidants and total phenolic compounds level in tomato (*Solanum lycopersicum*) var. Mongal f. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4 (IV): 414-420.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela, R. R. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*. Vol. 299, 152-178.
- Taber, H., Penelope Perkins-Veazie, Shanshan Lil, Wendy White and Steven Rodermel and Yang Xu. 2008. Enhancement of Tomato Fruit Lycopene by Potassium Is Cultivar Dependent. *Hortscience* 43(1):159–165.
- Waliszewski, K.N & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud pública de México*, 52(3): 254-265.
- Willcox, J.K., Ash, S.L., Catignani, G.L. (2004). Antioxidants and prevetion of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 275–295.
- Willer, H. and J. Lernoud. 2017. *The World of Organic Agricultures. Statistics and Emerging Trends 2017*. FiBL and IFOAM, Versión 1.3.

Wyn Jones, R.G. and A. Pollard. 1983. Proteins, enzymes and inorganic ions. p. 528–562. *In*: A. Lauchli and R.L. Bielecki (Eds.). Inorganic plant nutrition. Springer-Verlag, Berlin.