



## **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

### **INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**

Evaluación de los cambios de las características fisicoquímicas y actividad antioxidante de jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) cultivado en suelo adicionados con zeolita

#### **TESIS**

Para obtener el título de Licenciada en Nutrición

#### **PRESENTA**

P. L. Nutric. Ramirez Tellez Jessica Lizbeth  
No. cuenta: 325801

Bajo la dirección de:  
Dra. Esther Ramírez Moreno

Codirectores  
Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino  
Dr. Edgar Arturo Chávez Urbiola

San Agustín Tlaxiaca Hgo., septiembre 2021





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



De acuerdo con el artículo 40 y 43 del Reglamento de Titulación vigente, el jurado de examen recepcional designado, autoriza para su impresión el trabajo de la Tesis titulada:

**"Evaluación de los cambios de las características fisicoquímicas y actividad antioxidante de jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) cultivado en suelo adicionados con zeolita"**

Que para obtener el Título de Licenciada de Nutrición en la modalidad "Elaboración de tesis mediante examen recepcional" sustenta la Pasante

**C. Jessica Lizbeth Ramirez Tellez**

**ATENTAMENTE**  
**Pachuca de Soto, Hidalgo, 4 de octubre de 2021**  
**"Amor, Orden y Progreso"**

PRESIDENTE:	DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
SECRETARIO:	DRA. ESTHER RAMÍREZ MORENO
PRIMER VOCAL:	DR. EDGAR ARTURO CHÁVEZ URBIO
SUPLENTE	DRA. QUINATZIN YADIRA ZAFRA ROJAS



*[Firma manuscrita]*  
*[Firma manuscrita]*  
*[Firma manuscrita]*  
*[Firma manuscrita]*

## Agradecimientos

Esta tesis está dedicada a:

Dra. Esther no existe manera de poder agradecer todo lo que me brindó durante este largo trayecto desde risas, regaños, conocimientos y apoyo en aquellos momentos difíciles. El haber trabajado con usted me dejó una de las mejores experiencias académicas, tiene mi completa admiración, no solo como profesional sino como mujer, como madre, hija, compañera y amiga.

A todo el equipo de cuarta etapa en especial a mi codirectora la Dra Nelly, que siempre está dispuesta a apoyarnos y también hacernos ver nuestros errores con el fin de ser mejores.

Al Dr. Arturo que junto a todos los integrantes del ICBI (El Dr. Felipe, Dra. Nallely, Damián, Demetrio, Miguel, Nelly, Eduardo y Alexander) logramos crear un gran equipo de trabajo, haciendo que el tiempo en el invernadero, laboratorios y fuera de lo académico, realmente fuera reconfortante.

Al Ingeniero Gamaliel y su familia, porque no solo nos brindó espacio para realizar gran parte experimental, sino también por toda la hospitalidad, confianza y apoyo, lo cual fue pieza clave para realizar este proyecto.

A Eli que no solo me brindaste conocimientos, sino también una gran confianza y una amistad sincera, aprendí mucho de ti en diversos aspectos, me permitiste conocerte no solo como maestra si no como amiga, gracias por siempre ser tan comprensiva.

A Iris ya que fuiste y serás un apoyo incondicional, tu compañía, amor y sinceridad es algo que agradeceré infinitamente, gracias por abrirme las puertas de tu casa y tu corazón. Te abrazo con el alma.

A mis compañeras de cubículo Ale, Pao's, Majo y Karen, con las cuales forme un equipo extraordinario, donde las risas y buenos momentos no faltaron, gracias por aparecer en mi vida.

A mis compañeros de laboratorio Mariel, Lis, Betty, José Luis Jiménez, Traspaña, en especial a Andrea, con la que inicié este gran camino de tesis y de quien aprendí a luchar y no rendirme para salir adelante.

Carla, Ada, Jeynie y Pablo, no puedo dejarlos atrás por que ustedes estuvieron presentes en toda mi formación profesional, en aquellos momentos donde necesite apoyo y ustedes siempre estuvieron presentes, los amo con todo mi corazón.

A mi familia con todo mi cariño y amor, de manera especial a mis padres que han sido un pilar fundamental en toda mi vida, me han demostrado que, con esfuerzo, dedicación y trabajo los sueños se cumplen.

A mis hermanos Abril y David que siempre estuvieron apoyándome y creyendo en mí.

A Romy que has estado presente en toda mi vida, tratando de que día a día seamos mejores y a creer firmemente en lo que queremos, siempre tratando de que hagamos lo correcto y cuando nos equivocamos aprender de ello.

A Tere, mi mejor amiga, porque durante más de 12 años siempre has estado presente para cosas buenas y malas, te llevo conmigo siempre.

Y no podría dejar atrás a Roger por el apoyo en todo momento, haciendo de mi vida un poquito más feliz.

## **ÍNDICE**

<b>1 RESUMEN</b>	1
<b>2 ABSTRACT</b>	2
<b>3 MARCO TEÓRICO</b>	3
3.1 Importancia comercial del jitomate	3
3.2 Características y fenología de la planta del jitomate	4
3.3 Características de la producción del fruto de jitomate	6
3.4 Características fisicoquímicas del jitomate	9
3.5 Composición nutricional del jitomate	11
3.6 Antioxidantes en el jitomate.	13
3.7 Condiciones de crecimiento de la planta de jitomate	13
3.8 Utilización de diferentes prácticas de cultivo	16
<b>4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	20
<b>5 JUSTIFICACIÓN</b>	21
<b>6 OBJETIVOS</b>	22
6.1 Objetivo General	22
6.2 Objetivos Específicos	22
<b>7 METODOLOGÍA</b>	23
7.1 Diseño metodológico	23
7.2 Rendimiento	26
7.3 Características físicas del jitomate	26
7.3.1 Peso	26
7.3.2 Tamaño	26
7.3.3 Firmeza	27
7.3.4 Color	27
7.4. Características fisicoquímicas del fruto	27
7.4.1 pH	28
7.4.2 Acidez titulable	28
7.4.3 Sólidos solubles totales	28
7.4.4 Índice de madurez	29
7.5 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.	29
7.5.1 Extracción acuosa-orgánica	29
7.5.2 Fenoles totales	29
7.5.3 Actividad antioxidante	30
7.5.3.1 ABTS	30
7.5.3.2 DPPH	31
7.5.3.3 FRAP	32

7.6	Análisis estadístico	32
<b>8</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>33</b>
8.1	Características físicas del jitomate	33
8.1.1	Rendimiento	33
8.1.2	Peso y tamaño	35
8.1.3	Firmeza	37
8.1.4	Color	39
8.2	Características fisicoquímicas del fruto	42
8.2.1	pH, acidez titulable y sólidos solubles totales	42
8.2.2	Índice de Madurez (IM)	45
8.3	Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante	46
8.3.1	Compuestos fenólicos totales	46
8.3.2	Capacidad antioxidante	48
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>PERSPECTIVAS</b>	<b>51</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>52</b>

<b>ÍNDICE TABLAS</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Características fenológicas de la planta de jitomate.	5
<b>Tabla 2.</b> Tipos de jitomate de acuerdo con su forma.	7
<b>Tabla 3.</b> Etapas de maduración de jitomate.	9
<b>Tabla 4.</b> Composición Nutricional de Jitomate (en 100 g bf).	12
<b>Tabla 5.</b> Cantidad de minerales utilizada para fertilización de 1 tonelada de jitomate.	14
<b>Tabla 6.</b> Estudios relacionados sobre cambio en compuestos activos en jitomates con diferentes prácticas de cultivo.	18
<b>Tabla 7.</b> Tratamientos de zeolita.	25
<b>Tabla 8.</b> Clasificación por tamaño de acuerdo al diámetro ecuatorial.	26
<b>Tabla 9.</b> Peso y tamaño de jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.	36
<b>Tabla 10.</b> Resultados de firmeza en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.	38
<b>Tabla 11.</b> Resultados de color en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.	41
<b>Tabla 12.</b> Resultados de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.	44
<b>Tabla 13.</b> Resultados de índice de madurez en jitomates con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.	47
<b>Tabla 14.</b> Contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de jitomate cultivado con y sin zeolita (100 g bs).	49

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Flor de jitomate (a), planta (b) y fruto en invernadero (c)	5
<b>Figura 2.</b> Morfología del fruto de jitomate	6
<b>Figura 3.</b> Biogénesis de carotenoide	11
<b>Figura 4.</b> Yacimiento volcánico de zeolita y su estructura	16
<b>Figura 5.</b> Proceso cultivo de las plantas de jitomate	24
<b>Figura 6.</b> Diagrama de diseño metodológico	26
<b>Figura 7.</b> Resultados de rendimiento de jitomate	35
<b>Figura 8.</b> Coordenadas de todos los tratamientos y la muestra control en cuadrante CIE $L^* a^* b^*$	40
<b>Figura 9.</b> Resultados de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes	43



## ABREVIATURAS

<b>°Bx</b>	Grados Brix
<b>ABTS</b>	Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico
<b>AOAC</b>	Métodos Oficiales de Análisis
<b>Ca</b>	Calcio
<b>DPPH</b>	1,1-difenil-1-picrilhidrazilo
<b>FRAP</b>	Poder antioxidante de la reducción férrica
<b>GGPP</b>	Geranil geranil pirofosfato
<b>K</b>	Potasio
<b>Mg</b>	Magnesio
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>Na</b>	Sodio
<b>NaCl</b>	Cloruro de Sodio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>NMX</b>	Norma Mexicana
<b>PDS</b>	Fitoeno desaturasa
<b>pH</b>	potencial de Hidrógeno
<b>PSY</b>	Fitoeno Sintasa
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>SST</b>	Sólidos Solubles Totales
<b>TPTZ</b>	(2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina)
<b>ZDS</b>	ζ-caroteno desaturasa
<b>ZISO</b>	ζ-caroteno isomerasa

## 1 RESUMEN

El jitomate es una fuente importante de micronutrientes y antioxidantes naturales, por lo que para su producción debe ser controlado los factores climáticos y condiciones ambientales. Los estudios de los últimos años han demostrado que la adición de zeolitas naturales en el suelo se practica con el propósito de mejorar la productividad del cultivo. Por lo que el objetivo del proyecto fue evaluar las características fisicoquímicas y capacidad antioxidante del jitomate saladette (*Solanum lycopersicum*) con madurez comercial, cultivados con diferentes concentraciones de zeolita. Los jitomates fueron cultivados en un invernadero particular situado en Mineral de Chico, Hgo, México, efectuándose 4 tratamientos (1, 3, 5 y 7 kg de zeolita). La cosecha fue iniciada a partir junio a noviembre de 2019, en donde fue evaluado: rendimiento, peso, tamaño, firmeza y color del fruto, características fisicoquímicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles) e índice de madurez. Los frutos de jitomate tuvieron un mejor rendimiento en el tratamiento T3 (5 kg de zeolita/planta), sin afectación en características físicas como el peso (104 a 169 g), tamaño (5.16 a 6.20 cm), firmeza (1.19 a 2.27 N), manteniendo estándares comerciales del producto por lo que fue elegido para determinar la actividad antioxidante. El color de los frutos tratados mantuvo su color característico, con excepción del T3 que presentó una ligera tendencia a colores rojos más tenues. Estos frutos presentaron igual contenido de compuestos fenólicos (3.29 a 3.62 mg EAG/100 g bs), sin embargo, el tratamiento T3 presentó aumento de actividad antioxidante por DPPH durante los meses de cosecha (10.84  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$ ). La incorporación de zeolita en los cultivos puede tener efectos positivos en la calidad de los frutos sin embargo se requieren de más estudios para corroborar los efectos y sobre todo en la vida de anaquel.

**Palabras clave:** Jitomate, zeolita, antioxidantes, invernadero, fisicoquímicas, fenología.

## 2 ABSTRACT

The tomato is an important source of micronutrients and natural antioxidants, so for its production the climatic factors and environmental conditions must be controlled. Studies in recent years have shown that the addition of natural zeolites in the soil is practiced for the purpose of improving crop productivity. Therefore, the objective of the project was to evaluate the physicochemical characteristics and antioxidant capacity of the saladette tomato (*Solanum lycopersicum*) with commercial maturity, grown with different concentrations of zeolite. The tomatoes were grown in a private greenhouse located in Mineral de Chico, Hgo, Mexico, performing 4 treatments (1, 3, 5 and 7 kg of zeolite). The harvest was started from June to November 2019, where it was evaluated: yield, weight, size, firmness and color of the fruit, physicochemical characteristics (pH, titratable acidity, soluble solids) and maturity index. The tomato fruits had a better performance in the T3 treatment (5 kg of zeolite / plant), without affecting physical characteristics such as weight (104 to 169 g), size (5.16 to 6.20 cm), firmness (1.19 to 2.27 N), maintaining commercial standards of the product so it was chosen to determine the antioxidant activity. The color of the treated fruits maintained its characteristic color, with the exception of T3 which presented a slight tendency to fainter red colors. These fruits had the same content of phenolic compounds (3.29 to 3.62 mg EAG/100 g bs), however, the T3 treatment presented increased antioxidant activity by DPPH during the harvest months (10.84  $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g bs}$ ). The incorporation of zeolite in crops can have positive effects on the quality of the fruits, however more studies are required to corroborate the effects and especially in shelf life.

Keywords: Tomato, zeolite, antioxidants, greenhouse, physicochemical, phenology

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Importancia comercial del jitomate

El jitomate es uno de los vegetales más importantes en todo el mundo debido a su diversidad culinaria, en su estado de maduración es consumido de forma fresca y su consumo puede ser por cocción en productos como salsa de tomate y frutas enteras enlatadas, mientras que aquellos frutos verdes no maduros se utilizan para encurtidos, conservas o deshidratados para obtener pasta o polvo que se utilizará en diferentes productos como pizzas, concentrados de caldo o sazónadores (Salim, Rashid, Hossain, y Zakaria, 2018).

Para la cosecha de este fruto se consideran dos periodos importantes durante el año, el primero que va de febrero hasta abril perteneciendo al ciclo y el segundo donde la producción es mayor siendo de octubre a noviembre, relacionando las variaciones de precio con la estacionalidad de la producción tanto nacional como internacional (FIRA, 2019).

El jitomate ha logrado ser considerado como una de las hortalizas de mayor consumo, con una producción de 130 millones de toneladas anuales mundialmente, (Salas et al., 2016). Dentro de los principales productores se encuentran China, Estados Unidos, India, Egipto, Turquía, Italia, Irán, Brasil y México, marcando tendencia en consumo y precio los tres primeros países (Montenegro, Mares, Ruvalcaba, Sarabia, y Terán, 2016). A nivel mundial, México se posiciona en el décimo lugar aportando 1.63 % de la producción mundial, del total de su producción anual el 62% corresponde a jitomate saladette (FIRA, 2019; Morales, 2017). Durante el año 2017, el consumo nacional del jitomate se registró en 1.88 millones de toneladas lo que representa el 54.2 % de toda la producción nacional, con un consumo *per cápita* de 16 kg anualmente (FIRA, 2019). Los principales productores de jitomate en México son los Estados de Sinaloa, Michoacán, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco y Baja California (Flores, 2018).

El estado de Hidalgo no figura dentro de los principales productores de jitomate saladette a nivel nacional, ya que su actividad agrícola es el cultivo de maíz, frijol, cebada, ciruela, durazno y manzana, sin embargo, se reporta que en el año 2018 se cosecharon alrededor de 681.93 hectáreas de jitomate, correspondiendo al 1.3 % a

nivel nacional, teniendo como principales productores a los municipios de Tecozautla, Metepec San Agustín Tlaxiaca y Metztlán, desarrollando el cultivo principalmente bajo condiciones de invernadero (Bautista-Martinez, 2005; Cortés, Torres y Cruz, 2017; Ortíz-Suárez, 2011).

En el caso específico en la localidad de San Juan Tilcuautla, perteneciente a San Agustín Tlaxiaca, la producción de jitomate bajo condiciones de invernadero comenzó en el año 2010 con la ayuda de capacitaciones constantes por parte de productores, convirtiéndose en una actividad productiva en esta región. La actividad agrícola tradicional se presentaba en completo abandono debido al tipo de suelo arcilloso, aumento de la población y urbanización, y cambio en el uso del suelo debido al establecimiento de centros educativos en dicha zona. El cultivo de jitomate en invernadero en esta zona se realiza en el ciclo de marzo-diciembre de cada año con un buen rendimiento del producto siendo alternativas rentables (Terrones, 2019).

### 3.2 Características y fenología de la planta del jitomate

La planta del jitomate pertenece a la familia de las *solanáceas* constituidas por un tallo grueso, anguloso, de color verde, que mide entre 2 y 4 cm de ancho, siendo más delgado en la parte superior (Marín, 2016; Perveen et al., 2015), con un sistema radicular que puede llegar a una profundidad de más de 1.25 metros. Se estima que el 75% de sus raíces se sitúan a no más de 50 cm, cuenta con un crecimiento simpodial (ramas laterales que se desarrollan más que el eje principal) y en la hoja posee un número impar de folíolos verdes, dependiendo de la variedad (FAO, 2002).

Las flores se agrupan en inflorescencias simples o ramificadas, siendo presentadas entre 5 a 12 unidades, constituidas por 6-8 sépalos verdes, 5-8 pétalos amarillos y 5-8 estambres verdes unidos a un cono que recubre el pistilo (Figura 1a) (Blancard, 2011; FAO, 2002). La planta completa puede llegar a medir más de 1.5 m, como se visualiza en la Figura b y c.

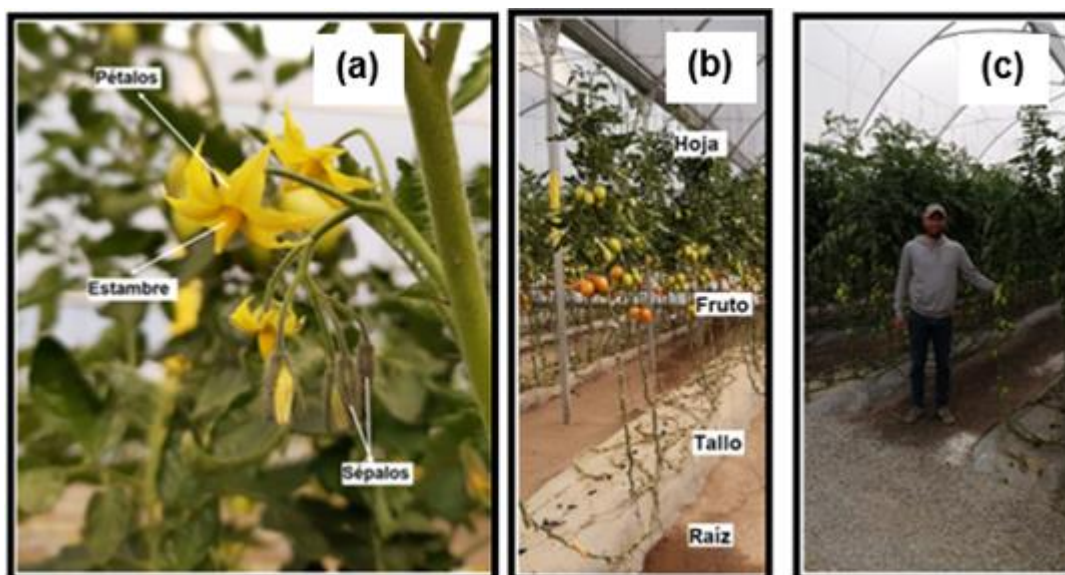


Figura 1. Flor de jitomate (a), planta (b) y fruto en invernadero (c)

En la tabla 1 se muestran las principales fenologías que se monitorean en el cultivo de jitomate. Dichas características son referenciadas a los cambios que se llevan a cabo durante las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas (Fuentes Fiallo et al., 2001).

**Tabla 1.** Características fenológicas de la planta de jitomate

Característica	Descripción
	Indeterminado
Tipos de crecimiento	La planta puede producir entre 7-10 hojas y una inflorescencia, después 3 hojas y una segunda inflorescencia, repitiendo el ciclo.
	Determinado
Cuello del fruto	La planta produce 2-5 inflorescencias y posterior a ello detiene su desarrollo.
	El cuello se encuentra en coloración verde oscuro antes de la madurez, cambiando el color a rojo cuando llega el punto de cosecha.
Forma y tamaño del fruto	Pueden presentar una morfología y tamaño diferente en función a la variedad, pueden ser gruesos, ligeramente aplanados, aplanados, redondos, rectangulares, cilíndricos, ovalados, en forma de pera e incluso lisos.
Color de los frutos	La coloración varía desde: crema, amarillos, naranjas, rosas, rojos, pardos y rayados, según sea la variedad.

Fuente:Blancard, 2011

### 3.3 Características de la producción del fruto de jitomate

El periodo de crecimiento del fruto de jitomate es de seis a ocho semanas, posterior a la floración (Blancard, 2011). El jitomate es una baya carnosa bilocular o plurilocular dependiendo de la variedad (Gorini, 2018). El peso de los diferentes tipos de jitomate varía desde un mínimo de 7 g con un promedio de 150 g. La forma que suelen presentar es globosa o alargada. El fruto está constituido principalmente por el pericarpio, tejidos placentarios y semillas (Marín, 2016) como se muestra en la Figura 2.

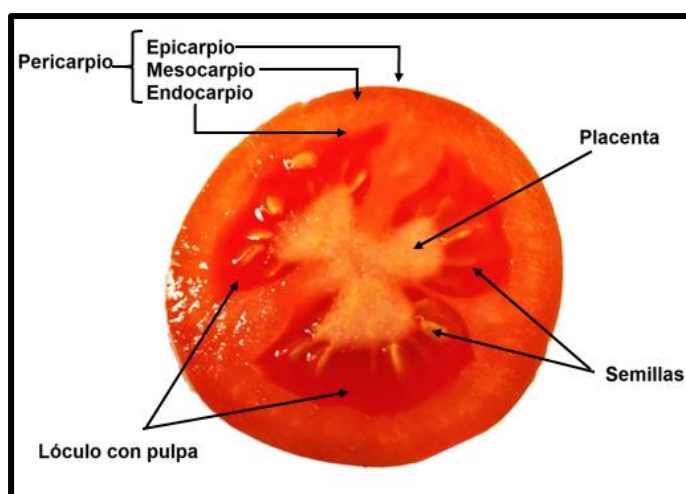


Figura 2. Morfología del fruto de jitomate


El fruto de jitomate es considerado como un fruto climatérico, ya que pueden madurar no sólo adheridos a la planta, sino también después de la cosecha, acompañada con aumento de respiración y producción de etileno (Domínguez, Lafuente, Hernández-Muñoz, y Gavara, 2016; Martínez-González, 2017). La maduración del fruto incluye varios cambios tanto bioquímicos, estructurales y fisiológicos, incluyendo la producción de metabolitos secundarios que influyen directamente en el sabor, aroma, textura y apariencia (Saini, Zamany, y Keum, 2017).

La alta demanda del jitomate ha provocado la diversificación de esta hortaliza para satisfacer las demandas de los consumidores, por lo que actualmente existe una amplia gama de tipos y variedades (INTAGRI, 2017).

Existen 3 maneras de clasificar el jitomate, según su forma, madurez y color (Inforural,

2012). La clasificación más utilizada es por su forma se presenta en la tabla 2 se presentan las variedades más comunes. Uno de los mayores atractivos de cualquier producto para el consumidor es su diversidad, dentro de las cuales se encuentran variedades para exportación y producción de salsas, purés y jugos enlatados como en el caso del tomate bola, para consumo individual o como acompañamiento de ensaladas como el jitomate cherry o tipo Cocktail, o para su utilización en preparaciones como sopas, caldillos como es el jitomate saladette y roma (Prado y Santaella, 2002).

**Tabla 2.** Tipos de jitomate de acuerdo con su forma.

Variedad	Descripción
 <p data-bbox="331 858 574 919">(Agriculturers, 2014) Cherry</p>	<p data-bbox="786 690 1331 783">Son de tamaño pequeño con un peso entre 10-30 g, se agrupan en racimos de 15 a 50 frutos, su coloración va de amarillo a rojo.</p>
 <p data-bbox="331 1142 542 1203">Imagen original Saladette (Roma)</p>	<p data-bbox="786 919 1331 1012">Tienen forma de pera, tamaño homogéneo, es bi o trilobular, con pulpa abundante, con un peso promedio de 150 g.</p>
 <p data-bbox="331 1421 615 1482">(Seminis, 2018) Bola, Redondo o Beef</p>	<p data-bbox="786 1230 1331 1297">Son de forma redonda, grandes, con un peso de 160 a 180 g y con pulpa abundante.</p>
 <p data-bbox="331 1675 532 1728">(INTAGRI, 2017) Tipo Cocktail</p>	<p data-bbox="786 1484 1331 1551">Frutos redondos o aperados con un peso entre 30 y 50 gramos.</p>





(INTAGRI, 2017)  
Uva o Grape

Frutos aperados, con un tamaño intermedio y un peso entre 7-14 g.



(Acosta, 2018)  
Roma

Cuentan con un peso promedio de 120-150 g y tienen forma alargada.

---

Fuente: Tabla modificada de Group, (2011); Inforural, (2012); INTAGRI, (2017)

---

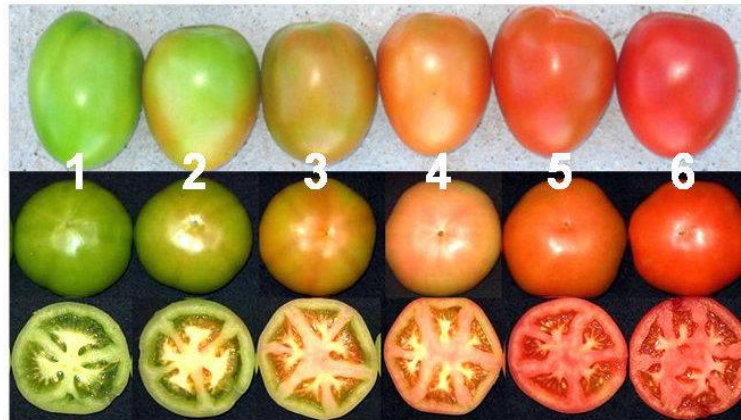
En cuanto a la forma debe ser acorde a la variedad, como ya se mencionó anteriormente en la tabla 2 (forma redonda, aperada, alargada, etc.). El color debe ser uniforme (naranja-rojo), en tanto la apariencia debe incluir una cicatriz pequeña y suave en forma de flor en el extremo del tallo que corresponde con la abscisión del tallo (Cantwell, 1997).

Por otra parte, estos frutos también se clasifican considerando los estados de madurez. Una de las características más importantes para determinar el índice de madurez y la vida postcosecha son el color y la firmeza del fruto, lo cual también es utilizado para establecer una clasificación (Bernedo y Cahuina, 2013). De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-031-1997, se definen 6 grados de madurez o estadios de maduración las cuales se muestran en la tabla 3.

---

**Tabla 3.** Etapas de maduración de jitomate

---



(Vellsam, 2017)

Grado de madurez	Descripción de la coloración de la epidermis
1. Verde	Verde claro a verde oscuro en su totalidad
2. Quebrado (verde-rosa)	Verde hasta amarillo, rosa o rojo en menos del 10 %
3. Rayado	Entre 10 y 30 % color verde o mezcla hasta amarillo, rosado o rojo.
4. Rosa	Del 30 al 60 % tono rosado-rojo.
5. Rojo claro	Rosado/rojo o rojo cubriendo entre 60 y 90 %
6. Rojo	Más del 90 % es color rojo.

---

Generalmente la cosecha de este fruto se lleva a cabo con grado de madurez verde, ya que el fruto tenga el tamaño suficiente para su distribución (grado de madurez 1). Durante el tiempo de distribución se madura y el consumidor adquiere el producto para su consumo ya se en el estadio 5 o 6 de madurez (fruto totalmente rojo), poco antes del ablandamiento excesivo (Saini et al., 2017).

### 3.4 Características fisicoquímicas del jitomate

Las características fisicoquímicas se definen como las propiedades que intervienen durante el procesamiento, conservación y control de calidad de los productos alimenticios (Sanez, 2012).

La calidad del jitomate para el consumo fresco está relacionada con la presencia de

características físicas como la ausencia de defectos y daños superficiales, tamaño, peso, firmeza, sólidos solubles y la acidez. Otra característica que debe evaluarse es la composición nutricional del fruto (Ponce-Valadez et al., 2016; Rodica, Apahidean, Apahidean, y Măniuțiu, 2015).

Un fruto maduro de jitomate presenta un porcentaje de sólidos solubles totales entre 4.0 a 4.5 °Bx, lo cual corresponde a un producto con buen sabor, debido a que al mismo tiempo desciende la acidez con valores de pH entre 4.0 y 4.5 (Monge y Loría, 2019).

Otra de las características organolépticas más importantes del fruto de jitomate es el color, debido a que es clave para la determinación del punto de maduración, vida poscosecha y elección por parte del consumidor (Mendoza-Perez et al., 2018). En esta característica cobran gran importancia los carotenoides, ya que son los pigmentos responsables del color rojo característico del jitomate y son sintetizados durante su estado de maduración. El fruto comienza con un cambio de color de verde debido a la síntesis de licopeno con la simultánea degradación de la clorofila (Perveen et al., 2015) y formación de componentes que dan como resultado colores rojizos.

La ruta de biogénesis de carotenoides comienza con la condensación de dos moléculas de geranil geranil pirofosfato (GGPP), catalizada por la enzima fitoeno sintasa (PSY) dando lugar al fitoeno. Cuatro desaturaciones sucesivas de este compuesto son catalizadas por las enzimas fitoeno desaturasa (PDS),  $\zeta$ -caroteno isomerasa (ZISO) y  $\zeta$ -caroteno desaturasa (ZDS) dando lugar al licopeno (cuya coloración es roja), cuya molécula es ciclada para formar  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno por acción de licopeno  $\epsilon$ -ciclase y licopeno  $\beta$ -ciclase respectivamente, como se visualiza en la Figura 3 (Arias, 2019).

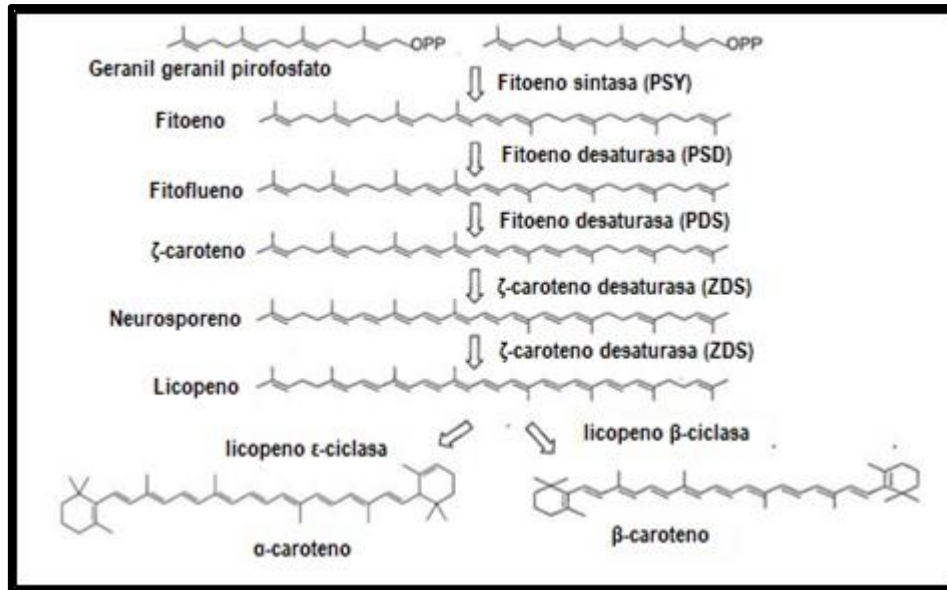


Figura 3. Biogénesis de carotenoide (figura original)

### 3.5 Composición nutricional del jitomate

La composición de este tipo de fruto puede variar con base en el cultivo, la técnica agrícola, el manejo y las condiciones de almacenamiento (Pinela et al., 2019).

El jitomate es un fruto con una escasa cantidad de calorías, siendo su peso en mayor parte agua (94 %) y el restante es una mezcla de compuestos donde predominan azúcares totales y ácidos orgánicos, y en menor cantidad fibra, proteína y lípidos. Una pieza de fruto de jitomate de 100 g proporciona aproximadamente entre el 20 y 40 % de la ingesta diaria recomendada de vitamina A y C, respectivamente (Ochoa-Velasco et al., 2016) como se puede ver en la tabla 4.

**Tabla 4.** Composición Nutricional de Jitomate (en 100 g bf)

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Agua	94.52*
Energía	18 Kca*
Proteína	0.88*
Lípidos totales	0.2*
Ceniza	0.5*
Carbohidratos totales	
Fibra dietética total	1.2*
Glucosa	1.25*
Fructosa	1.37*
<b>Minerales</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Calcio (Ca)	10*
Magnesio (Mg)	8**
Fósforo (P)	29**
Potasio (K)	212**
Sodio (Na)	42**
Zinc (Zn)	0.14**
Manganeso (Mn)	0.088**
<b>Vitaminas</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Vitamina A	1133 UI***
Tiamina	0.06*
Riboflavina	0.05***
Niacina	0.60**
Ácido ascórbico	24.0*
Vitamina B6	0.05*
<b>Ácidos orgánicos</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Cítrico	0.43***
Málico	0.08***
<b>Compuestos antioxidantes</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Compuestos fenólicos (EAG)	10 a 50***
<b>Carotenoides</b>	
Licopeno	0.72 a 20***
β-caroteno	0.79 a 14.6***

Fuente: Tabla modificada de (Chaudhary, Sharma, Singh, y Nagpal, 2018\*; Perveen et al., 2015\*\*; Montenegro et al., 2016\*\*\*), bf=base fresca

### 3.6 Antioxidantes en el jitomate.

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas (Figueroa, Tamayo, González, y Vargas, 2011). Por lo que dietas altas en antioxidantes o la suplementación con moléculas bioactivas como vitaminas, carotenoides y taninos pueden proporcionar protección contra el daño oxidativo (Perveen et al., 2015; Pinela et al., 2019, Oxilia, 2010, Liguori et al., 2018).

Se estima que, dentro de los compuestos antioxidantes presentes en el jitomate, la vitamina C es la más abundante en el fruto con un rango promedio de 22-48 mg/100 g bf (Luna y Delgado, 2014). Entre el 90 y 95% del contenido de antioxidantes en el jitomate maduro son carotenos (200 mg/kg bf) (Flores-Sánchez, 2015). El  $\beta$ -caroteno, representa el 10.7% del contenido total de carotenoides, la concentración de  $\beta$ -caroteno en el jitomate varía de 0.79 a 14.6 mg/kg. En cuanto al licopeno, se reporta que puede variar entre 0.72 a 20 mg/100 g bf (Navarro y Periago, 2016; Waliszewski y Blasco, 2010), mientras que los compuestos fenólicos totales en jitomate fresco y productos derivados en la industria alimentaria varía entre 10 y 50 mg EAG/100 g bf (Kamiglu et al., 2014).

El contenido de compuestos fenólicos en frutos de jitomate se ve influenciado por la variación estacional, lugar de cultivo, tipo de cultivo (cielo abierto o invernadero), luz, fertilización y factores bióticos (condiciones adversas, infección de la planta) y abióticos (problemas ambientales) (Hernandez, Razo y Martínez, 2017; Montoliu, 2010), lo cual es considerado como episodios de estrés para la planta. Este estrés cumple una función de regulación, la respuesta que se obtiene provoca un incremento de biosíntesis de compuestos fenólicos (especialmente ácido clorogénico). Sin embargo, tras constantes episodios de estrés, se produce una oxidación de compuestos fenólicos y con ello una disminución en el contenido total del fruto (Coyago, 2017).

### 3.7 Condiciones de crecimiento de la planta de jitomate

La producción y cultivo de jitomate se genera de dos formas diferentes ya sea a campo abierto o en sistema protegido. La agricultura protegida comprende tecnologías de

vanguardia como lo son los invernaderos. Estas estructuras permiten controlar factores ambientales, ofrecen protección contra condiciones adversas con lo que se permite obtener niveles elevados de calidad y rendimiento, dando excelentes resultados con producciones muy superiores a las obtenidas a campo abierto (De la Rosa Rodríguez et al., 2016). En el país existen alrededor de 20 mil hectáreas bajo agricultura protegida, de las cuales aproximadamente 12 mil son de invernadero y las otras 8 mil corresponden a malla sombra y macro túnel (Hernández, 2017).

Para la producción del fruto de jitomate la temperatura óptima es de 22 a 26 °C (Mariani et al., 2016). Por eso, es deseable la utilización de los invernaderos, ya que con ello se establecen barreras entre el cultivo y el ambiente externo, generando una atmósfera controlada permitiendo proteger al cultivo de condiciones adversas (Juárez-Maldonado, Romenus, González, Ramírez, y Mendoza, 2015).

En cuanto a las condiciones del suelo, el jitomate se cultiva a una profundidad de 1 metro o más, con texturas medias, lo cual permitirá una adecuada permeabilidad a la humedad, con una temperatura entre 15 y 25 °C y un pH de 5.5-6.8 (Escalona, Alvarado, Monardes, Urbina y Martin, 2009). Otro factor importante para la producción del fruto es la fertilización mineral, ya que esta mantiene la nutrición del suelo, el rendimiento de los cultivos y mejora considerablemente el valor alimenticio de los frutos (Koleška et al., 2017). La concentración de minerales depende de la región por las variantes de suelo, clima y sistema de riego, sin embargo, existen cantidades establecidas de minerales que se requieren para la producción de 1 tonelada de jitomate (FAO, 2002) como se muestra a continuación en la tabla 5.

**Tabla 5.** Cantidad de minerales utilizada para fertilización de 1 tonelada de jitomate

Mineral	Cantidad (kg)
Nitrógeno (N)	2.2-2.7
Fósforo (P)	0.3-0.4
Potasio (K)	2.5-3.2
Calcio (Ca)	3.6-4.3
Magnesio (Mg)	0.3-0.6

Fuente: (FAO, 2002)

Los minerales presentes en el suelo son de gran importancia por las funciones que tienen en el crecimiento de las plantas y el fruto. El nitrógeno en forma de nitrato y amonio es necesario para la síntesis de ácidos nucleicos, el fósforo es componente de moléculas celulares, esencial en el mantenimiento estructural, almacenamiento de energía y metabolismo, mientras que el potasio funciona como un cofactor para las reacciones enzimáticas y el transporte de metabolitos (Sung et al., 2015). El calcio es considerado un elemento estructural, ya que forma parte de las membranas y paredes del tejido del fruto influyendo en la estabilización de la pared celular y participando en la extensión, división y el equilibrio iónico de las células (Vaca-Tubón, 2019).

Por lo que el uso de sustratos sólidos para la obtención de productos hortícolas es común en todo el mundo, en especial para hortalizas frutales como el jitomate. Se estima que el 95 % de las hortalizas de invernadero se producen con el uso de concentrados de minerales (Xiong, Tian, Wang, Liu, y Chen, 2017), dentro de los más utilizados se encuentran la lana de roca, vermiculita, perlita, zeolita y ceramista. El origen de los sustratos varía, mientras unos son obtenidos de forma natural en yacimientos volcánicos (figura 4a), otros se producen artificialmente (Asaduzzaman, 2015). Uno de los sustratos más utilizados son las zeolitas (figura 4b), considerados como sustratos naturales. Dicho sustrato está constituido por aluminosilicatos hidratados principalmente de N, K, Mg y/o Ca, que se caracterizan por poseer una alta capacidad de intercambio catiónico, así como por absorber humedad sin tener tantas variaciones en su estructura cristalina (Bonavetti, Rahhal, Locati, Irassar, Marfil, y Maiza, 2018). Diversos estudios muestran que el uso de zeolita tiene beneficios en el crecimiento y rendimiento de cultivos, debido a su estructura tridimensional, su forma porosa tipo panel, favorece el uso eficiente del agua y soluciones nutritivas, ya que la retiene y libera de forma lenta debido a su microestructura (Figura 4c) (Días y Núñez, 2017; Méndez y Lira, 2019; Soca y Daza-Torres, 2016; Gholamhoseini, Habibzadeh, Ataei, Hemmati, y Ebrahimian, 2018).



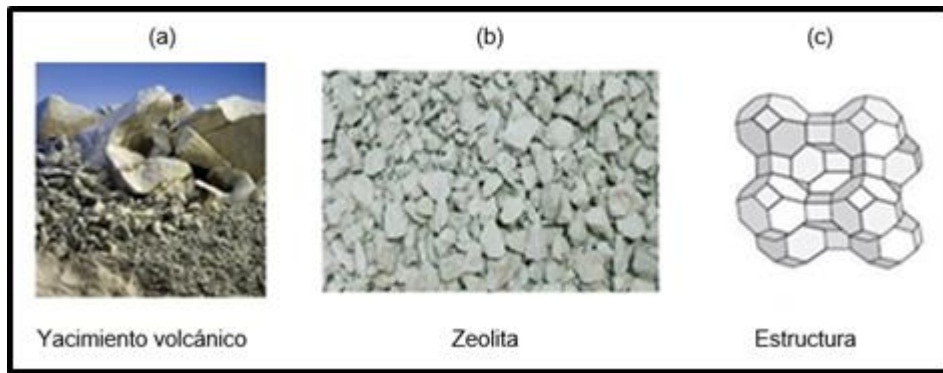


Figura 4. Yacimiento volcánico de zeolita y su estructura (Modificado de Francisco, 2019)

Los estudios de los últimos años han demostrado que la adición de zeolitas naturales en el suelo se practica con el propósito de mejorar la productividad de los cultivos agrícolas (Eprikashvili et al., 2016). Por lo que su empleo ha ido en aumento después de ser consideradas como “no tóxicas” por la Agency for Research on Cancer y seguras para el consumo humano por la Food and Drug Administration, además de ser reconocida por la Comisión del Codex Alimentarius como sustancia aprobada para la protección de las plantas, así como para la producción de alimentos orgánicos (Eroglu, Emekci, y Athanassiou, 2017).

### 3.8 Utilización de diferentes prácticas de cultivo

Las condiciones de cultivo son parámetros importantes que definen la calidad final de los frutos, donde si estas condiciones sufren alteraciones, la planta presenta lo que se conoce como estrés fisiológico. El estrés en la fisiología vegetal es definido como factor externo provoca afectaciones en la planta, dividiéndose en biótico (condiciones adversas, infección de la planta) y abióticos (problemas ambientales) (Montoliu, 2010). El estrés salino es un ejemplo, la acumulación de sales en los suelos proveniente de agua de riego con cloruro de sodio (NaCl), uso inadecuado de fertilizantes o de carácter geológico pueden perjudicar el crecimiento, procesos metabólicos y la capacidad fotosintética, sin embargo, la respuesta que tiene la planta y los frutos dependerá de la especie vegetal (Chez, y Rayo, 2018).

Las plantas con una escasa cantidad de agua y/o alta concentración de sales en el

suelo dificultan la absorción radicular de agua y produce estrés en las raíces, las respuestas metabólicas de las plantas a la deshidratación son variadas y complejas, incluyendo acumulación de sustancias que no son constituyentes normales de las células (Meco, 2015; Tomalá, 2015).

De acuerdo con los resultados recabados de los diferentes estudios que se muestran en la tabla 6, los frutos de jitomate que se encuentran en situaciones de estrés tanto mineral, hídrico y de cultivos orgánicos, suelen aumentar su contenido en compuestos antioxidantes. Los compuestos bioactivos que suelen ser afectados por las condiciones de cultivo en mayor proporción son los  $\beta$ -carotenos en especial el licopeno, ya que según algunos estudios pueden incrementarse hasta en un 47 %. De acuerdo con Morales, (2019) los compuestos que también pueden incrementar en frutos de jitomate saladette (*Solanum Lycopersicum*), son los compuestos fenólicos (12 %) en donde se han referenciado los flavonoides (con incrementos del 38 %), en tanto a lo encontrado para jitomate saladette (*Solanum Lycopersicum*) y de tipo redondo, la vitamina C tiene un incremento entre el 8 y 30 % (Moya et al., 2017; Vinha et al., 2014).

Debido a la síntesis de estos componentes la respuesta de la planta es el incremento de la capacidad antioxidante hasta en un 11.1% (Moya et al., 2017). Como anteriormente se describió, todos estos cambios se relacionan con las situaciones de estrés a las que se enfrentan estos cultivos, generando como respuesta mecanismos de defensa con el aumento de compuestos bioactivos en estas situaciones (Petropoulos et al., 2017). Sin embargo, los estudios con implementación de zeolita en cultivos de hortalizas siguen siendo escasos y los pocos que se encuentran no refiere cambios en la producción de estos compuestos.

**Tabla 6. Estudios relacionados sobre cambio en compuestos activos en jitomates con diferentes prácticas de cultivo**

Cultivo utilizado	Tratamiento	Contenido de compuestos bioactivos (mg/100 g)					Resultados	
			Licopeno	Vit. C	CFT (mg GAE/100 g)	AAT (mmol/Kg)		FL(mg CE/100 g)
1. Ailsa Craig (Ac),	Soluciones minerales con diferentes concentraciones de salinidad (SN)	Control	399.9				91.05	Incremento de 2 a 3 veces el licopeno y $\beta$ -caroteno
2. Tipo de fruta antocianina (Aft),		Salinidad	792.8				123.8	(Borghesi, et al., 2011),
3. Atroviolaceum (At) 4. Sun Black (Sb)								
<i>Solanum Lycopersicum L.</i>	Soluciones minerales con conductividad eléctrica: Control 2.2 dS · m <sup>-1</sup> (decisiemens por metro)	Control	19.8	522	60.9	1.52		Incremento de licopeno (6.3%), vitamina C (8.8%), contenido fenólico total (8.3%) y actividad antioxidante (11.1%).  (Moya, et al., 2017)
		T1	20.2	569	60.6	1.53		
		T2	21	572	66.2	1.70		
	$T_1 = 3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$							
	$T_2 = 4.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$							
<i>Solanum Lycopersicum L.</i>	Diferentes tipos de fertilización: control (C), fertilización	Control	9.01				6.43	Sin cambios  (Petropoulos, et al., 2020)

	convencional (CF), fertilizante de nitrógeno de liberación lenta (SR), fertilización convencional + zeolita (CFZ) y abono de ovejas compostado (M)	Fertilización	5.71			4.46	
Saladette <i>Solanum Lycopersicum L.</i>	Biofortificación con selenio (0, 2, 4, 6 y 8 mg L-1) aplicado a las soluciones de minerales.	Control	32	490	150		Aumento en el contenido de compuestos fenólicos (CF) (12.19%), flavonoides (FL) (38%) y licopeno (L) (47%) con respecto al control.
		Biofortificación	55	540	205		(Morales, 2019)
Incas (I), Marmande (M), Scoresby Dwarf (SD) y Window Box Red (WBR)	Fertilizante de liberación lenta con alto contenido de NPK y estrés hídrico (EH)	Control	20.5	35.8			Aumento del licopeno, contenido fenólico (Klunklin y Savage 2017)
		Fertilizante	45.9	36.4			
Jitomate de tipo redondo	Sistemas de control orgánicos y convencionales	Convencional	1.76	27.9	149	40.4	Aumento de licopeno (+20%), vitamina C (+30%), fenólicos totales (+24%) y flavonoides (+21%) con mayor actividad antioxidante (+6%)
		Orgánico	2.19	40	196	51.4	(Vinha, et al., 2014)
Licopeno (L) Vitamina C (Vit. C) Compuestos fenólicos totales (CFT) Actividad Antioxidante Total (AAT) Flavonoides (FL) β-caroteno (βC),							

#### 4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, el cultivo de jitomate se desarrolla mayoritariamente bajo condiciones de invernadero debido a incrementos en el rendimiento y adaptación a diferentes esquemas de producción, sobre todo en regiones como el Valle del Mezquital en Hidalgo caracterizado por una región semiárida, con inadecuado uso de prácticas de manejo agrícola y aguas residuales.

En el cultivo de jitomate se ha buscado optimizar las técnicas de producción, por lo que diferentes técnicas agronómicas permiten obtener mejoras notables de calidad y rendimiento en los productos vegetales, como es el uso de invernaderos que permite monitorizar factores internos y externos que pudiesen afectar la producción del fruto, en combinación con sustratos artificiales.

El uso de nuevos sustratos como la zeolita aún es un tema un tanto desconocido para los productores, a pesar de ser reconocida como sustancia aprobada para la protección de plantas y para la producción de alimentos orgánicos, su bajo costo, así como su capacidad de intercambio catiónico, lo convierte como una opción para elaboración de fertilizantes de liberación lenta. Los estudios que se han efectuado sobre el uso de zeolitas en la producción de jitomate son en específico sobre la fenología de la planta y poca información sobre el rendimiento, características fisicoquímicas y cambios en la actividad antioxidante del fruto de jitomate.

Por lo que la pregunta de investigación es la siguiente:

¿La utilización de zeolita para el cultivo de la planta *Solanum Lycopersicum* modifica las características físicas, fisicoquímicas y características antioxidantes en la producción del jitomate saladette?

## 5 JUSTIFICACIÓN

El jitomate es valorado no solo por su diversidad culinaria si no por sus propiedades nutricionales en especial la alta cantidad de antioxidantes, destacando el contenido de licopeno y ácido ascórbico.

La demanda de jitomate influye directamente en la búsqueda de alternativas para la producción de este fruto centrándose en las prácticas de cultivo, donde se pueden realizar cambios en aplicaciones en el suelo, pudiendo tener no solo un aumento en la producción sino también frutos con mejoras en su composición nutricional y la presencia de compuestos bioactivos.

La zeolita es un mineral de bajo costo que se puede encontrar en muchos yacimientos en toda la república mexicana, y se han estudiado aplicaciones para el uso como control de plagas, manejo de fertilizantes y suelos.

Debido a que es limitado el trabajo de investigación respecto a la composición nutricional de frutos producidos bajo alternativas de sustratos naturales como las zeolitas en México, este trabajo podrá ofrecer información sobre los cambios que pueden surgir con estas nuevas prácticas.

## 6 OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo General

Determinar los cambios en las características fisicoquímicas y antioxidantes de frutos de jitomate saladette (*Solanum Lycopersicum*) con madurez comercial cultivados con diferentes concentraciones de zeolita en suelo (1, 3, 5 y 7/ kg planta) considerando seis meses de producción.

### 6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto en el rendimiento del cultivo de la adición de zeolita en el suelo para la producción del jitomate saladette durante los meses de producción del fruto.
- Determinar los cambios en las características físicas (peso, tamaño, firmeza y color), fisicoquímicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles e índice de madurez) del jitomate saladette en condiciones de cultivo con zeolita durante los meses de producción del fruto.
- Determinar los cambios en el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) de jitomate saladette obtenidas en condiciones de cultivo del tratamiento de zeolita con mejores características fisicoquímicas y rendimiento.

## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 Diseño metodológico

Esta investigación fue de tipo experimental, descriptivo y cuantitativo, debido a que se evaluó las características fisicoquímicas de jitomate cultivadas con diferentes tratamientos de zeolita en suelo, así como la actividad antioxidante de compuestos antioxidantes del fruto de jitomate.

La zeolita “Bothá”, que se utilizó en los tratamientos fue proporcionada por investigadores del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El material fue obtenido del municipio de Bothá, perteneciente a la región Nanhú de la Sierra Gorda, en el Estado de Hidalgo, México. Como antecedente, por parte de los investigadores del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería realizaron diferentes estudios (Fluorescencia de rayos x, difracción de rayos X, superficies específicas (BET), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y análisis termogravimétrico (TGA) con la finalidad de caracterizar la zeolita y determinar la cantidad adecuada a utilizar en los cultivos.

El jitomate estudiado fue producido en un invernadero particular (Figura 5a), ubicado en Mineral de Chico, Hidalgo, México, donde se llevó a cabo la producción y cosecha del fruto. La variedad utilizada en el presente estudio fue una variedad comercial *Solanum Lycopersicum* con una maduración comercial (etapa 4).

Para iniciar con el proceso de cosecha, en el mes de febrero la tierra fue removida y mezclada con las diferentes concentraciones de zeolita (Figura 5b), un mes después (9 de marzo de 2019) se hizo el trasplante de las plántulas de jitomate (Figura 5c).



Figura 5. Proceso cultivo de las plantas de jitomate

Para el cultivo se destinaron 3 surcos, el primero para el control (74 plantas), el segundo dividido para los tratamientos 1 y 2 (37 plantas c/u) al igual que el tercer



surco destinado al tratamiento 3 y 4 (37 plantas c/u) (Figura 5d). Cada uno de los tratamientos estaban compuestos por diferentes cantidades de zeolita administradas (1 a 7 kg/planta) como se muestra en la tabla 7, mientras que el control únicamente se le administró la solución de minerales Steiner ( $H_2PO_4^-$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), sulfato ( $SO_4^-$ ), potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{++}$ ) y magnesio ( $Mg^{++}$ ) recomendada para los cultivos. Todos los tratamientos y el control tuvieron el mismo esquema de riego por captación de lluvia y aspersión.

Tratamiento	Zeolita por planta (kg)
Control	0
1	1
2	3
3	5
4	7

La muestra de estudio fue obtenida cosechando el fruto en estado de madurez comercial (Figura 5e) mensualmente, tomando 1 kg de fruto de cada uno de los tratamientos y el control, iniciando el día 25 de junio de 2019 y concluyó hasta el día 23 de noviembre de 2019. Las determinaciones de rendimiento y propiedades físicas (peso, tamaño, firmeza, color), se llevaron a cabo en el Laboratorio de fisicoquímica de alimentos 1 del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías (ICBI), mientras que las determinaciones fisicoquímicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles) y capacidad antioxidante se llevaron a cabo en el Laboratorio Tecnofuncionalidad de Alimentos y el Laboratorio de Alimentos Funcionales y Nutracéuticos del Centro de Investigación Interdisciplinario, del Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Todas las determinaciones se hicieron en el fruto fresco, con excepción de las propiedades antioxidantes que se llevó a cabo en la muestra liofilizada.

En la figura 6 se describe el diseño metodológico del presente trabajo.

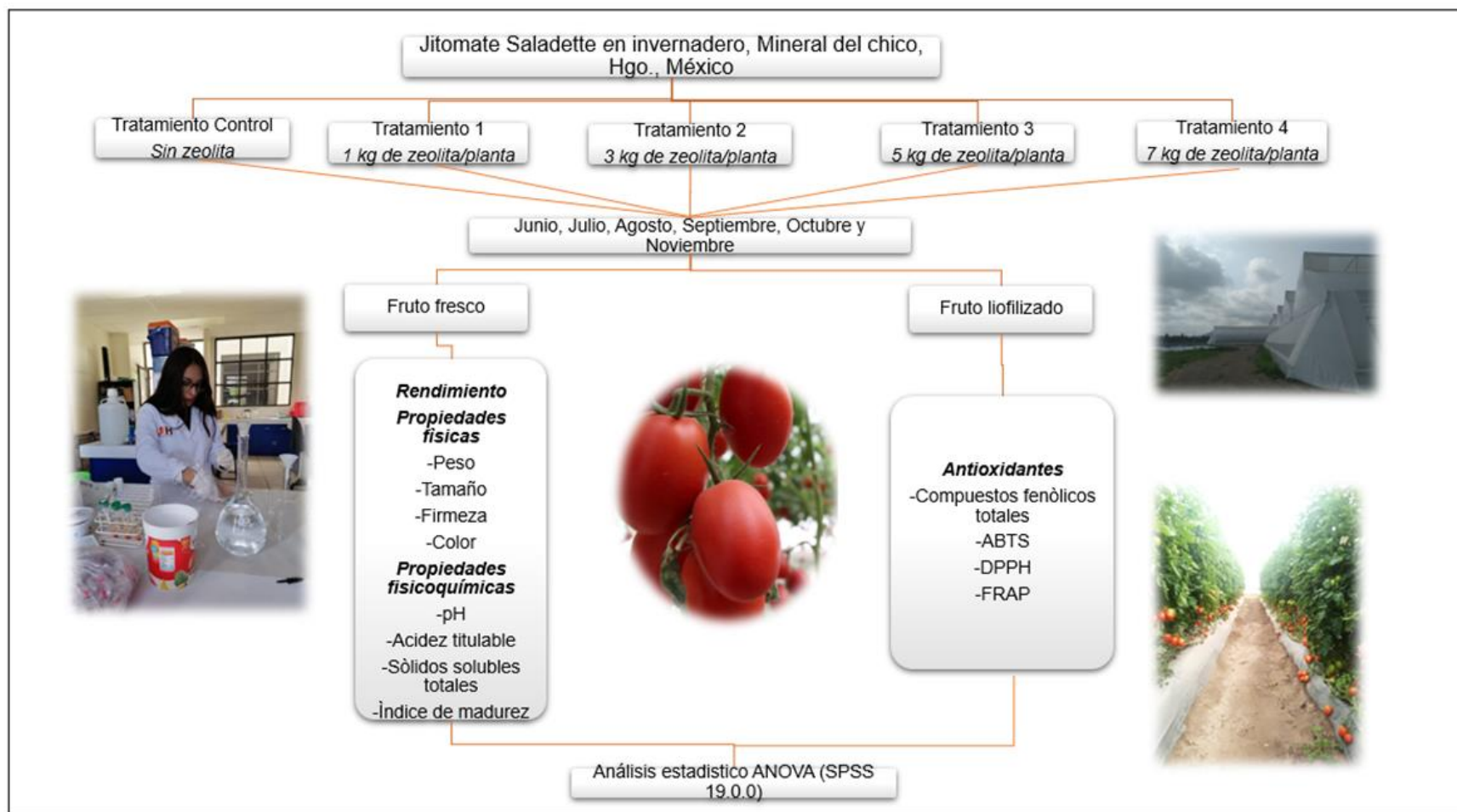


Figura 6. Diagrama de diseño metodológico

A continuación, se describen las metodologías para la determinación de las propiedades fisicoquímicas en el fruto fresco y antioxidantes de la muestra del fruto de jitomate liofilizado, como se mencionó anteriormente.

## 7.2 Rendimiento

A partir de la primera cosecha, se pesó el total de los frutos recolectados de cada uno de los tratamientos por cada surco. Dicha producción fue determinada cada 10 días, a partir del primer corte durante los meses de producción del vegetal en estudio. Con estos datos se obtuvo un promedio mensual hasta la última producción de la planta.

## 7.3 Características físicas del jitomate

### 7.3.1 Peso

Para la determinación del peso de jitomate se utilizó 1 kg de fruto fresco de cada uno de los tratamientos y el control, se pesó (g) cada pieza usando una balanza analítica (Ohaus, Explore Pro WEP64C, NJ USA).

### 7.3.2 Tamaño

El tamaño se realizó con base a su diámetro ecuatorial utilizando la Norma Oficial Mexicana NMX FF 009 (1982), empleando un calibrador con vernier Garant (ABS CALIPER). La lectura fue tomada directamente en la escala del vernier y fue especificado conforme al diámetro mínimo y máximo expresado en milímetros, de acuerdo con la tabla 8.

**Tabla 8.** Clasificación por tamaño de acuerdo al diámetro ecuatorial

Tamaño	Diámetro en mm	
	Mínimo	Máximo
Chico	38	52
Mediano	51	60
Grande	59	71
Extragrande	70	>71

Fuente: Norma Oficial Mexicana NMX FF 009 (1982)

### 7.3.3 Firmeza

La firmeza se determinó en 3 lados diferentes de cada fruto (3 frutos por cada tratamiento y control) en diámetro ecuatorial, usando un texturómetro (TA.XTPlus Tipo 2, 2012, España), con la función de la fuerza máxima requerida para producir una penetración con una punta de punción de 8 mm a una profundidad de 6 mm expresada en Newton (N), observando una curva típica de fuerza-distancia, tomando los valores máximos los cuales corresponden a la fuerza para fracturar la piel a una distancia de ruptura (Esquivel, 2017).

### 7.3.4 Color

Para llevar a cabo la evaluación colorimétrica, se tomaron 3 jitomates completos de la muestra control y de cada uno de los tratamientos; el análisis se realizó con un equipo de colorimetría (Minolta CM-80, 50 SM-508D, Japón). El instrumento fue calibrado de acuerdo a las instrucciones del fabricante y los valores de color se expresaron considerando la escala de CIE LAB, donde  $L^*$  corresponde a la luminosidad con valores de (0 negro a 100 blanco) y las coordenadas  $a^*$  (+ rojo a -verde) y  $b^*$  (-azul a +amarillo). *Hue* que corresponde a la tonalidad o tono, se obtuvo a partir de la ecuación 1, y se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , representando el tono rojo ( $0^\circ$ ), amarillo ( $90^\circ$ ), verde ( $180^\circ$ ) y azul ( $270^\circ$ ). *Croma* se refiere a la saturación o intensidad de color (Wrolstad, et al., 2005) y se calculó de acuerdo con la ecuación 2.

$$h^{\circ}_{ab} = \arctan (a/b) \quad (1)$$

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (2)$$

## 7.4 7.4. Características fisicoquímicas del fruto

El jitomate se obtuvo de un invernadero particular, ubicado en Mineral de Chico, Hidalgo, México, cosechando los frutos en madurez comercial (etapa 4). Se lavaron con agua y fueron desinfectados en condiciones asépticas con un desinfectante comercial (Microdyn®) para eliminación de agentes patógenos.

#### 7.4.1 pH

La determinación de pH se realizó conforme a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-317-S-1978, se utilizó un potenciómetro digital (HANNA, PH210, Rumania) previamente calibrado con soluciones reguladoras de pH 4, 7, y 10. Se procedió a homogeneizar la muestra en una licuadora (NutriBullet, 600W, USA). Se tomaron 100 g de muestra (3 jitomates de cada tratamiento y control), en un vaso de precipitado de 250 mL y se añadió 20 mL de agua. La temperatura de la solución se ajustó a  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y posteriormente se colocó en agitación en una parrilla, con un agitador magnético, se sumergió el electrodo en la muestra sin entrar en contacto con las paredes del recipiente y se tomó la lectura.

#### 7.4.2 Acidez titulable

La acidez titulable, es representada por los ácidos orgánicos libres. Se empleó el método de Official Methods of Analysis (AOAC) (1975) mediante la titulación de la muestra con una solución de NaOH (Hidróxido de Sodio) al 0.1 N. Se colocaron 10 g de jitomate previamente homogenizado, 50 mL de agua destilada y un agitador magnético en un matraz Erlenmeyer, llevando en agitación en una parrilla por un minuto. Posteriormente, se llevó a cabo un filtrado y de este se tomó una alícuota de 20 mL y 4 gotas de indicador de fenolftaleína en un vaso de precipitado, y se tituló con una solución de NaOH al 0.1 N hasta que la muestra presentó el vire ligeramente rosado. El porcentaje de acidez titulable fue calculado con la ecuación 3 registrando los mL de NaOH gastados y expresando los resultados en porcentaje de ácido cítrico.

Donde:

A: acidez en g de ácido cítrico

$$A = \frac{(0.006404 \times V)}{G} \times 100$$

V: volumen de NaOH 0.1 N

G: cantidad de muestra en g

(3)

#### 7.4.3 Sólidos solubles totales

La medición se llevó a cabo de acuerdo con el método de la AOAC, (1975). Se utilizó un refractómetro (Trading Co, Brix, ATC-F-G, China) donde se colocó unas gotas del

extracto de jitomate previamente homogeneizado en una licuadora (NutriBullet, 600W, USA) y se tomó lectura, y el valor se expresó como °Brix.

#### 7.4.4 Índice de madurez

El índice de madurez (IM) en frutos climatéricos, se da cuando alcanzan la tasa respiratoria máxima y desdoblan rápidamente sus reservas (ácidos orgánicos) como respuesta al incremento de su metabolismo y, en consecuencia, IM se incrementa (Pizón, Fischer y Corredor, 2007).

El índice de madurez se determinó considerando la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable (ecuación 4) (Torres et al., 2013).

$$\text{Índice de madurez} = (\text{Sólidos solubles totales}/\text{Acidez titulable}) \quad (4)$$

### 7.5 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

#### 7.5.1 Extracción acuosa-orgánica

Para la realización de la extracción acuosa-orgánica de los compuestos antioxidantes se llevó a cabo de acuerdo con Saura-Calixto et al., (2007). Se pesaron 250 mg de muestra liofilizadas (7753020, LABCONCO, USA) de jitomate, se añadieron 10 mL de metanol/agua (50:50 v/v) y se mantuvieron en agitación (300 rpm por 30 min) con una agitadora orbital (LSI-3016A, LabTech, Korea). Posteriormente, se centrifugó (V6500, Hamilton Bell Vanguardia, USA) por 20 min a 3400 rpm.

El sobrenadante se reservó y al precipitado se le agregaron 10 mL de acetona/agua (70:30 v/v), y se siguió el mismo procedimiento antes descrito. Los sobrenadantes obtenidos se combinaron y aforaron en un matraz volumétrico de 25mL con la mezcla de metanol/agua y acetona/agua (50:50 v/v). La extracción obtenida fue para cuantificar compuestos fenólicos totales y medir su capacidad antioxidante.

#### 7.5.2 Fenoles totales

Para determinar los compuestos fenólicos totales se utilizó la metodología según Stintzing et al., (2005), el cual utilizó el reactivo Folin-Ciocalteu. Este reactivo es una

mezcla de ácido fosfotúngstico y fosfomolibdico, siendo reducido a óxidos azules de tungsteno y molibdeno durante la oxidación fenólica que ocurre en condiciones alcalinas. La condición azul refleja la cantidad total de polifenoles presentes en la muestra. Se realizó utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, aplicando una solución de 1 mL de Folin aforado 10 mL con agua desionizada, solución de carbonato de sodio (7.5 g en 100 mL de agua desionizada), solución de ácido gálico (15 mg en 500 mL, de agua desionizada). Se construyó una curva estándar de ácido gálico de 0, 100, 200 y 300 mg/L (ácido gálico/agua desionizada). La concentración se determinó por espectrofotometría ( Power Wave XS UV - Biotek,USA) y la absorbancia se midió a 765 nm utilizando como blanco agua desionizada. En un vial Eppendorf se colocaron 100 µL de muestra y se adicionaron 500 µL de la solución de Folin-Ciocalteu y 400 µL de carbonato de sodio y se agitó en un Vortex (Vortex- Genie 2, Scientific Industries, Inc., NY, USA), dejando reposar por 30 minutos a temperatura ambiente, posteriormente se realizó la lectura de absorbancia en el lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, USA) a 765 nm. El análisis de las muestras se realizó por triplicado, expresando los resultados como miligramos equivalentes de ácido gálico en 100 gramos en base seca (mg EAG/100 g bs).

### 7.5.3 Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante del jitomate fue evaluada por las determinaciones de capacidad de captación de los radicales libres ABTS, DPPH y por reducción del hierro a través de un complejo férrico conocido como FRAP.

#### 7.5.3.1 ABTS

El ABTS (*Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico*) es un radical libre que reacciona con compuestos hidrófilos y lipófilos, su actividad está fundamentada en su decoloración ante un agente antioxidante (Quintanar y Calderón, 2009). La determinación se manejó de acuerdo con Kuskoski et al., (2005). El ABTS es un radical que presenta un color azul-verde, cuando este catión es reducido por un antioxidante presenta una pérdida de color. Se preparó la solución de ABTS al 7 mM (76.8 mg en

20 mL de agua destilada), se agregó persulfato de potasio al 2.45 mM (6.6 mg en 10 mL de agua destilada), y se dejó reposar por 16 horas en oscuridad. Se preparó una dilución en agua destilada hasta obtener una lectura de absorbancia de  $0.7 \pm 0.1$  a 754 nm. Se elaboró una curva estándar en concentraciones 0, 5, 10, 20, 30, 40 y 50  $\mu\text{mol/L}$  con una solución de ácido ascórbico (3 mg en 10 mL de agua destilada). Para su lectura espectrométrica se utilizó un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, USA) utilizando como blanco agua destilada.

Se tomaron 20  $\mu\text{L}$  de la muestra de jitomate y 980  $\mu\text{L}$  de ABTS, se dejaron reposar por 7 min, se realizó la lectura en el lector de microplacas a una longitud de onda de 754 nm y se expresaron como miligramos equivalentes de ácido ascórbico por 100 gramos en base seca (mg EAA/100 g bs).

#### 7.5.3.2 DPPH

La capacidad antioxidante con el radical libre conocido como DPPH (*2,2-difenil-1-picrilhidrazilo*), es un método caracterizado por la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante (Londoño, 2012), fue determinada de acuerdo con la metodología reportada por Morales y Jiménez-Pérez (2001). El reactivo DPPH en solución etanólica presenta una coloración violeta y después de su reducción con un agente antioxidante de la muestra presenta una decoloración hasta lograr un color amarillo.

La solución con 7.4 mg de DPPH se preparó aforando a 100 mL de etanol. Se utilizó la solución para realizar una curva estándar con Trolox (3.75 mg en 50 mL de etanol) con las concentraciones 0, 50, 100, 200 y 300  $\mu\text{mol ET/L}$ . El cambio de absorbancia fue medido con la realización de una lectura en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, USA).

Se colocaron 100  $\mu\text{L}$  de muestra y 500  $\mu\text{L}$  de la solución DPPH, se dejó reposar por 60 min y se midió a una longitud de onda de 520 nm. La actividad antioxidante se expresó en micromoles equivalentes de Trolox en 100 gramos de base seca ( $\mu\text{mol ET/100 g bs}$ ).



### 7.5.3.3 FRAP

Por sus siglas en inglés FRAP (ferric-reducing antioxidant power), esta determinación mide la capacidad para reducir el hierro a través de un complejo férrico, desarrollando un color azul intenso (Huet, 2017). Se realizó mediante metodología de Pérez-Jiménez, et al., (2008). La técnica se llevó a cabo preparando el reactivo FRAP en una concentración 10:1:1 con 100 mL de solución amortiguadora (0.3 M a pH de 3.6), 10 mL de TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) (10 Mm en ácido clorhídrico) y 10 mL de FeCl<sub>3</sub> (20 mM en agua). Se elaboró una curva estándar de sulfato ferroso con las siguientes concentraciones de Fe (II): 0, 20, 30, 40 y 50 µM Fe (II)/L. Posteriormente en un vial se colocaron 30 µL de muestra, 90 µL de agua desionizada y 900 µL de FRAP, las muestras se agitaron en Vortex (Vortex- Genie 2, Scientific Industries, Inc., NY, USA) y se dejaron reposar en baño de agua a 37°C durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo la absorbancia que se generó en las muestras de estudio fue determinada mediante un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, USA) a 593 nm. Expresando los resultados de la capacidad antioxidante como micromoles de hierro (II) por 100 gramos en base seca (µmol Fe (II)/100 g bs).

## 7.6 Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Para establecer la diferencia en las respuestas presentadas entre los variables determinadas entre los 4 tratamientos de zeolita y entre los meses de producción de cada tratamiento, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía utilizando la prueba de Duncan con un nivel de confiabilidad del 95% ( $p < 0.05$ ), mientras que para la comparación en las determinaciones de antioxidantes se utilizó la prueba T-Student, con el paquete estadístico SPSS versión 19 Windows (SPSS Inc. Chicago, Illinois).

## 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Características físicas del jitomate

#### 8.1.1 Rendimiento

En la figura 7, se puede visualizar los valores que determinan el rendimiento de las muestras evaluadas. En el inicio, la producción de jitomate fue alrededor de 83 y 117 kg/surco. En el presente estudio el tratamiento 3 (5 kg de zeolita) presentó una mayor producción total del fruto durante los meses evaluados (junio a noviembre) a comparación del control (1676.42 kg vs 1416.48 kg totales). La cantidad y calidad de la producción agrícola se ven influenciadas por la disponibilidad de nutrientes en el suelo y otras condicionantes como la temperatura. Un suministro adecuado de nutrientes como el nitrógeno y fósforo es indispensable para mantener la fertilidad de las plantas e incrementar el rendimiento de los diferentes cultivos (Arguello, Ricardo y Reyes, 2016). De acuerdo con Ramesh y Reddy, (2011), la incorporación de zeolita en el suelo de los cultivos aumenta el rendimiento y promueve la eficiencia del uso de nutrientes, debido a su estructura dando como resultado la retención de agua y una distribución uniforme de los mismos. Kromann y Cuasapaz (2017) encontraron que la aplicación de zeolita en diferentes concentraciones incrementó un mejor rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.).

Sin embargo, de manera general, la producción del fruto en todos los tratamientos presentó una disminución, posiblemente por un proceso de adaptación que sufre la planta a las condiciones del cultivo y ambientales, el cual incluye variaciones estructurales del organismo, en el funcionamiento y comportamiento para poder habituarse al nuevo ambiente (Cacoango, 2018). Posterior a la disminución encontrada, en la cosecha, el mes de agosto se incrementó en todos los tratamientos siendo el tratamiento 3 (146 kg), el que registró un mayor rendimiento y finalmente en los siguientes meses el comportamiento de todos los tratamientos tuvo una tendencia a disminuir. Las variaciones en el rendimiento de los cultivos mes con mes, se encuentran relacionados con la estacionalidad, de acuerdo con García (2010), quien menciona que las condiciones climáticas (luz, temperaturas máximas y mínimas, luminosidad, etc.) presentes durante el año, son factores que van a condicionar el

desarrollo de los cultivos. Los resultados arrojados se podrían relacionar con las variaciones con las temperaturas, ya que para la producción de fruto de jitomate se requiere de condiciones óptimas de 22 a 26°C, sin embargo, en Mineral del Chico en los meses de agosto se manejan valores de 9 a 21°C y los meses subsecuentes comienza un decremento de temperatura que fluctúa de 4 y 12°C (Mariani et al., 2016) y aunque la producción de estos vegetales es en invernadero, la variación en la temperatura, incluso de 2 grados, afecta la producción del fruto.

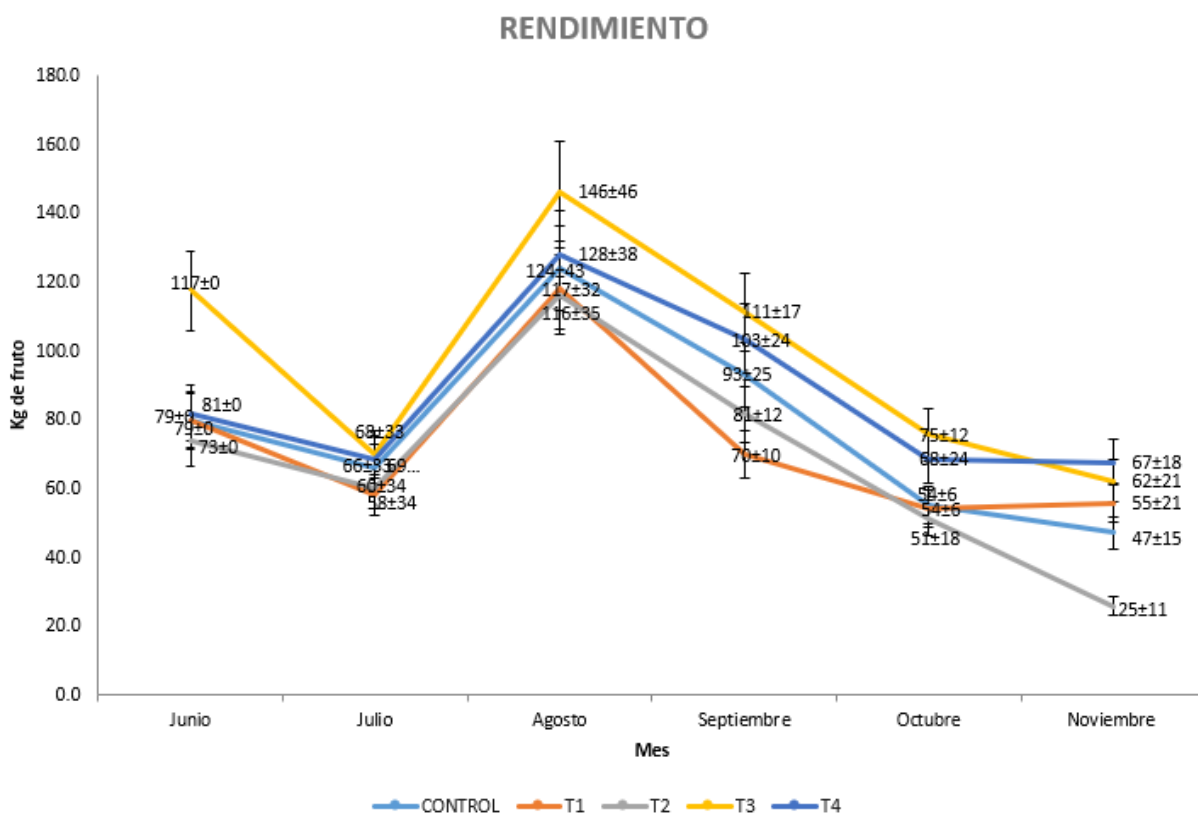


Figura 7. Resultados de rendimiento en la producción de jitomate.

### 8.1.2 Peso y tamaño

Los resultados obtenidos para el peso y tamaño del jitomate saladette comparando los tratamientos y los meses de producción se pueden observar en la tabla 9. De acuerdo con diferentes estudios (Marin, 2016; Tierrablanca, Pérez-Mendoza, López-Ramírez, y Raya-Pérez, 2019), la variedad de jitomate saladette puede alcanzar pesos alrededor de 150 g, y alcanzar hasta 600 g de peso. En los resultados de este estudio el peso varió entre 148 y 169 g entre los tratamientos y no hubo diferencias entre ellos. Sin embargo, durante el almacenamiento los tratamientos presentaron una tendencia a disminuir significativamente hasta en un 21 % de peso, finalizando en el mes de noviembre con valores de 107 a 122 g.

**Tabla 9.** Peso y tamaño de jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.

	Peso				
	CONTROL	T1	T2	T3	T4
Junio	148.04±13.82 <sup>aV</sup>	139.86±7.99 <sup>bcV</sup>	151.94±7.99 <sup>bV</sup>	151.05±10.19 <sup>bcV</sup>	169.39±16.24 <sup>bV</sup>
Julio	142.82±25.16 <sup>aV</sup>	144.77±32.31 <sup>bcV</sup>	136.68±32.31 <sup>bV</sup>	131.01±18.32 <sup>abcV</sup>	157.29±23.99 <sup>bV</sup>
Agosto	147.37±18.52 <sup>aV</sup>	160.34±19.98 <sup>cV</sup>	149.58±19.08 <sup>abV</sup>	156.55±26.53 <sup>bcV</sup>	150.28±38.57 <sup>bV</sup>
Septiembre	145.83±35.1 <sup>aV</sup>	104.74±25.52 <sup>aV</sup>	139.98±19.08 <sup>abV</sup>	158.55±21.12 <sup>cV</sup>	137.66±19.86 <sup>abV</sup>
Octubre	130.83±15.26 <sup>aV</sup>	120.54±10.84 <sup>abV</sup>	119.65±25.52 <sup>abV</sup>	119.30±29.69 <sup>abV</sup>	108.88±11.08 <sup>aV</sup>
Noviembre	118.80±3.28 <sup>aV</sup>	107.41±14.21 <sup>aV</sup>	119.51±14.21 <sup>aV</sup>	113.02±30.29 <sup>aV</sup>	122.65±12.55 <sup>abV</sup>
	Tamaño				
Junio	5.82±0.30 <sup>aV</sup>	5.91±0.40 <sup>abV</sup>	5.85±0.40 <sup>aV</sup>	5.75±0.34 <sup>abcV</sup>	5.90±0.50 <sup>aV</sup>
Julio	5.90±0.23 <sup>aV</sup>	5.61±0.34 <sup>abV</sup>	5.68±0.34 <sup>aV</sup>	5.70±0.22 <sup>abcV</sup>	5.93±0.46 <sup>aV</sup>
Agosto	6.11±0.30 <sup>aV</sup>	6.11±0.15 <sup>bV</sup>	5.92±0.16 <sup>aV</sup>	5.93±0.23 <sup>bcV</sup>	5.87±0.40 <sup>aV</sup>
Septiembre	5.64±0.42 <sup>aV</sup>	5.63±0.38 <sup>abV</sup>	5.73±0.38 <sup>aV</sup>	6.20±0.15 <sup>cV</sup>	5.83±0.39 <sup>aV</sup>
Octubre	5.58±0.32 <sup>aV</sup>	5.35±0.23 <sup>aV</sup>	5.25±0.23 <sup>aV</sup>	5.24±0.30 <sup>aV</sup>	5.16±0.34 <sup>aV</sup>
Noviembre	5.44±0.14 <sup>aV</sup>	5.36±0.31 <sup>aV</sup>	5.62±0.31 <sup>aV</sup>	5.33±0.43 <sup>abV</sup>	5.33±0.31 <sup>aV</sup>

Los valores son la media ± DE (n = 9)

<sup>a-e</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.

<sup>v-yz</sup> Las diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre las muestras en el mismo mes

Tratamiento 1 (T1) (1 kg de zeolita), Tratamiento 2 (T2) (3 kg de zeolita) Tratamiento 3 (T3) (5 kg de zeolita) Tratamiento 4 (T4) (7 kg de zeolita)

Para la determinación del tamaño de jitomate se llevó a cabo la medición del diámetro ecuatorial. Independientemente del tratamiento, todos los jitomates evaluados arrojaron valores entre 5.82 y 5.91 cm de diámetro ecuatorial, y estos valores se mantuvieron estables durante el transcurso de los meses de producción. Por lo que, de acuerdo a los valores establecidos por la NMX-FF-031-199 (5.1 a 6.0 cm), estos se consideran como frutos de tamaño mediano. Los valores de este estudio fueron mayores a los reportados por Salas et al. (2016), quien señaló diámetros ecuatoriales de 4 a 4.9 cm en frutos de jitomate producidos en invernadero con sustratos orgánicos. La variabilidad en cuanto a peso y tamaño está relacionada a la genética, suelo,

nutrientes administrados al suelo, hasta incluso con la posición del fruto en los racimos, que a medida que aumenta el número de frutos, aumenta la competencia de absorción de nutrientes, para su óptimo desarrollo y con ello las variaciones en el tamaño y peso (Yeshiwas, Belew, y Tolessa, 2016).

### 8.1.3 Firmeza

La firmeza del jitomate se ha empleado como parámetro de calidad del fruto, ya que se correlaciona con la frescura y apariencia del producto contribuyendo a la aceptación y preferencia del consumidor (de Oliveira, Corrêa, Botelho y de Oliveria, 2015). El comportamiento de la firmeza es el resultado de procesos bioquímicos de la maduración, entre mayor sea el estadio de maduración estará relacionado con una menor firmeza (Navarro, 2012; Rupel, Petropoulos, Cardarelli y Colla, 2018).

En la tabla 10, se observan los resultados de firmeza (determinado como fuerza a la penetración del fruto por el texturómetro) con valores de entre 1.19 a 1.45 N en los jitomates evaluados, no se presentaron cambios a excepción del tratamiento 2 en el mes de octubre. Por otro lado, considerando los cambios durante el transcurso de los meses estos valores se presentan estables sin cambios significativos, lo cual es recomendable, ya que este parámetro establece una mayor vida útil en comparación con productos comercializados en el mercado. De acuerdo a otros estudios, los frutos de jitomate 100% comercializables deben tener una firmeza por arriba de 1.45 N (muy firmes) y en etapa de consumo se recomienda que se encuentren por lo menos alrededor de 1.22 (ligeramente blandas) (Batu, 2004; San Martín-Hernández, et al., 2012).

**Tabla 10.** Resultados de firmeza en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.

	FIRMEZA (N)					
	CONTROL	T1	T2	T3	T4	
Junio	1.45 ± 0.11 <sup>abV</sup>	1.43±0.14 <sup>abV</sup>	1.36±0.26 <sup>abV</sup>	1.19±0.26 <sup>aV</sup>	1.30±0.24 <sup>aV</sup>	
Julio	1.67 ± 0.39 <sup>abV</sup>	2.12±0.59 <sup>bV</sup>	1.70±0.15 <sup>abV</sup>	2.27±0.89 <sup>bV</sup>	1.82±0.51 <sup>aV</sup>	
Agosto	1.56 ± 0.21 <sup>abV</sup>	1.95±0.31 <sup>abV</sup>	1.65±0.14 <sup>abV</sup>	1.70±0.08 <sup>abV</sup>	1.72±0.18 <sup>aV</sup>	
Septiembre	1.44 ± 0.17 <sup>aV</sup>	1.34±0.25 <sup>aV</sup>	1.33±0.15 <sup>aV</sup>	1.47±0.15 <sup>abV</sup>	1.72±0.30 <sup>aV</sup>	
Octubre	1.95±0.34 <sup>abV</sup>	2.08±0.37 <sup>abV</sup>	1.82±0.33 <sup>bW</sup>	2.14±0.33 <sup>abV</sup>	1.73±0.37 <sup>aV</sup>	
Noviembre	2.07± 0.29 <sup>bV</sup>	1.94± 0.85 <sup>abVW</sup>	1.77±0.05 <sup>abVW</sup>	1.66±0.14 <sup>abV</sup>	1.85±0.04 <sup>aV</sup>	W

Los valores son la media ± DE (n = 9)

<sup>a-e</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.

<sup>v-z</sup> Las diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre las muestras en el mismo mes

Tratamiento 1 (T1) (1 kg de zeolita), Tratamiento 2 (T2) (3 kg de zeolita) Tratamiento 3 (T3) (5 kg de zeolita)

Tratamiento 4 (T4) (7 kg de zeolita)

La pérdida de firmeza en el producto maduro podría deberse al ablandamiento ocasionado una mayor actividad de enzimas, que participan en la modulación de la modificación de la pared celular primaria, estos cambios incluyen, una

despolimerización de hemicelulosas y polimerización de poliuronidos por la poligalacturonasa u otras enzimas hidrolíticas, ocasionando la pérdida de la integridad de la pared celular y por tanto la disminución de la firmeza del fruto (Martínez-González et al., 2017).

### 8.1.4 Color

El color es uno de los atributos de calidad más importantes en los frutos de jitomate, lo cual se debe en gran medida a la presencia de carotenoides. La concentración de carotenoides está determinada por la constitución genética y las condiciones de cultivo, que nos aporta una gran variabilidad en las especies cultivadas de este fruto (Tadesse, Ibrahim, y Abtew, 2015).

A continuación, se indican en la tabla 11 los resultados de color en los jitomates evaluados con los diferentes tratamientos. Donde las muestras obtuvieron rangos de luminosidad ( $L^*$  de entre 30 y 48, sin diferencias entre las muestras y el control. Las muestras arrojaron valores para las coordenadas de  $a^*$  de 24 a 34 y  $b^*$  en un rango de 24 a 37. Por lo que las muestras se ubicaron en el cuadrante rojo-amarillo de la escala CIELab (figura 8). En el mes de octubre, todos los tratamientos con zeolita exponen rangos mayores con respecto al control, mientras que para la coordenada  $b^*$  el tratamiento 3 en el mes de octubre y noviembre presentó valores más altos (con una tendencia a colores rojos más tenues).

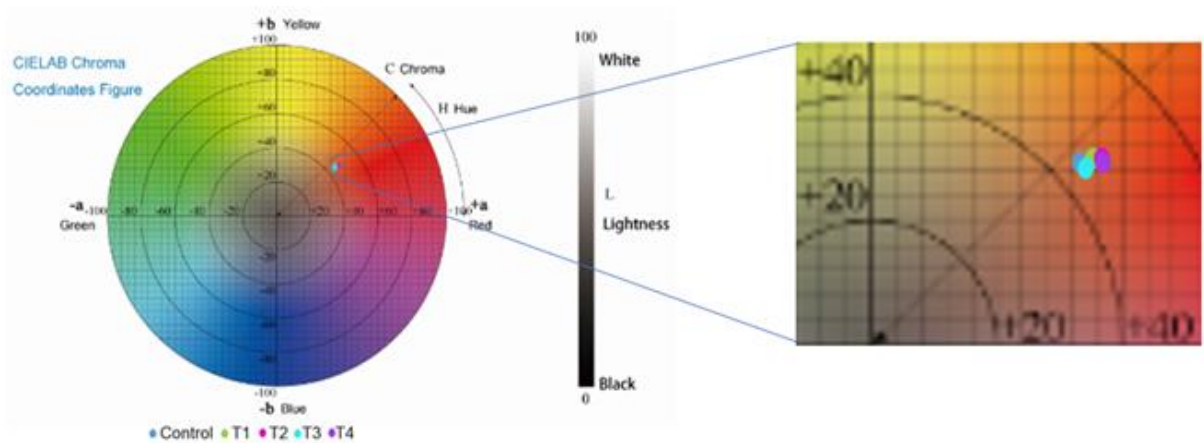


Figura 8. Coordenadas de todos los tratamientos y la muestra control en cuadrante CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (Modificado de Technology, 2017)



Para el parámetro de Hue los resultados fueron de 40 a 53 siendo superiores respecto a los intervalos propuestos por Cantwell *et al.* (2007) de 35 a 40, indicando un buen color rojo. Sin embargo, en todos los tratamientos en el mes de noviembre este valor ligeramente se incrementó, indicando la tendencia hacia tonalidades amarillas (parámetro Croma) entre 32 y 48 de saturación. Durante los meses de cosecha no se encontraron diferencias en el parámetro de Croma, a excepción del mes de octubre, este parámetro fue mayor en comparación con el control.

Las diferencias de color durante la maduración del fruto de jitomate son atribuidas a la concentración de licopeno (color rojo) y  $\beta$ -caroteno (color naranja), lo cual en principio depende del genotipo, pero también puede deberse a la técnica agrícola utilizada, especialmente para el licopeno según lo informado por Araujo y Telhado (2015). Montañez (2017) menciona, que, durante la maduración del jitomate, inicialmente se sintetiza fitoeno (precursor incoloro) a caroteno (amarillo claro), licopeno (rojo),  $\beta$ -caroteno (naranja), xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillo) dando variación en los parámetros de color. Además, es muy importante mencionar que para la síntesis de los compuestos es necesaria la presencia de luz, la cual se pierde durante los últimos meses del año (Enríquez, 2018).

**Tabla 11.** Resultados de color en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.

	COLOR				
	CONTROL	T1	T2	T3	T4
	L*				
Junio	35.52±3.32 <sup>aV</sup>	39.80±2.85 <sup>bcV</sup>	39.39±1.85 <sup>bV</sup>	39.85±1.53 <sup>bV</sup>	39.66±1.13 <sup>bV</sup>
Julio	34.96±1.49 <sup>aV</sup>	33.98±1.77 <sup>abV</sup>	33.35±0.83 <sup>aV</sup>	32.03±3.58 <sup>aV</sup>	31.09±3.61 <sup>aV</sup>
Agosto	33.84±4.99 <sup>aV</sup>	30.84±5.00 <sup>aV</sup>	33.61±3.97 <sup>aV</sup>	39.90±3.68 <sup>bV</sup>	37.83±3.69 <sup>bV</sup>
Septiembre	43.95±2.26 <sup>bV</sup>	44.26±2.29 <sup>cdV</sup>	42.88±2.54 <sup>bcV</sup>	41.99±3.15 <sup>bcV</sup>	42.26±1.11 <sup>bcV</sup>
Octubre	46.89±0.89 <sup>bV</sup>	46.70±0.36 <sup>dV</sup>	45.77±2.31 <sup>cV</sup>	48.24±2.15 <sup>cV</sup>	45.40±1.99 <sup>cV</sup>
Noviembre	47.14±2.66 <sup>bV</sup>	46.98±0.76 <sup>dV</sup>	46.81±1.42 <sup>cV</sup>	46.84±2.77 <sup>cV</sup>	47.06±1.16 <sup>cV</sup>
	a*				
Junio	29.63±0.26 <sup>abV</sup>	29.89±0.81 <sup>bcV</sup>	31.46±1.82 <sup>abV</sup>	29.96±1.01 <sup>abV</sup>	30.53±0.91 <sup>abcV</sup>
Julio	26.24±2.15 <sup>aV</sup>	26.37±2.22 <sup>abV</sup>	27.65±1.85 <sup>abV</sup>	26.70±2.63 <sup>aV</sup>	24.77±2.23 <sup>aV</sup>
Agosto	25.19±1.37 <sup>aV</sup>	23.24±1.41 <sup>aV</sup>	26.06±0.82 <sup>aV</sup>	26.61±1.76 <sup>aV</sup>	26.18±2.09 <sup>abV</sup>
Septiembre	33.13±3.27 <sup>bV</sup>	33.77±1.40 <sup>cV</sup>	32.90±3.28 <sup>bV</sup>	34.10±0.57 <sup>bV</sup>	34.65±2.15 <sup>cV</sup>
Octubre	24.08±3.55 <sup>aV</sup>	30.45±4.01 <sup>bcW</sup>	29.85±1.79 <sup>abVW</sup>	26.40±1.80 <sup>VW</sup>	29.90±2.35 <sup>abcVW</sup>
Noviembre	29.63±4.04 <sup>abV</sup>	29.46±0.61 <sup>bcV</sup>	28.46±4.35 <sup>abV</sup>	28.54±4.62 <sup>aV</sup>	31.71±5.11 <sup>bcV</sup>
	b*				
Junio	25.64±1.00 <sup>aV</sup>	26.31±0.81 <sup>aV</sup>	26.52±1.75 <sup>aV</sup>	27.07±0.97 <sup>abV</sup>	26.61±0.29 <sup>aV</sup>
Julio	25.98±2.56 <sup>aV</sup>	25.07±2.49 <sup>aV</sup>	25.95±3.06 <sup>aV</sup>	25.99±3.49 <sup>aV</sup>	28.25±1.45 <sup>aV</sup>
Agosto	24.64±2.04 <sup>aV</sup>	25.52±1.29 <sup>aV</sup>	26.59±1.22 <sup>aV</sup>	26.89±1.11 <sup>abV</sup>	28.08±2.42 <sup>aV</sup>
Septiembre	33.49±1.80 <sup>bV</sup>	33.90±1.49 <sup>bV</sup>	34.36±2.50 <sup>bV</sup>	32.19±0.82 <sup>bcV</sup>	32.78±0.92 <sup>abV</sup>
Octubre	32.74±1.43 <sup>bV</sup>	35.26±2.12 <sup>bV</sup>	35.61±1.83 <sup>bV</sup>	33.54±2.73 <sup>cdV</sup>	32.38±1.52 <sup>abV</sup>
Noviembre	34.30±2.04 <sup>bV</sup>	37.06±1.25 <sup>bV</sup>	36.89±1.17 <sup>bV</sup>	33.54±3.34 <sup>dV</sup>	36.04±6.18 <sup>bV</sup>
	HUE				
Junio	40.87±1.09 <sup>aV</sup>	41.35±1.62 <sup>aV</sup>	40.10±0.52 <sup>aV</sup>	42.04±1.58 <sup>aV</sup>	41.08±0.73 <sup>aV</sup>
Julio	44.66±2.89 <sup>abVW</sup>	43.52±1.60 <sup>abV</sup>	43.05±1.90 <sup>abV</sup>	44.13±1.28 <sup>aV</sup>	48.65±1.60 <sup>cW</sup>
Agosto	44.31±1.12 <sup>abV</sup>	47.68±1.61 <sup>bcdV</sup>	45.55±0.55 <sup>bcV</sup>	45.32±2.00 <sup>abV</sup>	46.99±2.41 <sup>bcV</sup>
Septiembre	45.38±2.63 <sup>abV</sup>	45.10±2.20 <sup>abcV</sup>	46.29±2.49 <sup>bcV</sup>	43.34±0.57 <sup>aV</sup>	43.43±2.02 <sup>abV</sup>
Octubre	53.77±5.05 <sup>cV</sup>	48.68±3.74 <sup>cdV</sup>	50.01±3.08 <sup>cdV</sup>	51.75±2.25 <sup>bcV</sup>	47.30±3.05 <sup>bcV</sup>
Noviembre	49.81±3.25 <sup>bcV</sup>	51.50±1.08 <sup>dV</sup>	52.52±3.88 <sup>dV</sup>	53.61±6.71 <sup>cV</sup>	48.62±2.23 <sup>cV</sup>
	CROMA				
Junio	39.20±0.74 <sup>aV</sup>	39.83±0.20 <sup>aV</sup>	41.15±2.50 <sup>abV</sup>	40.39±0.90 <sup>abV</sup>	40.50±0.81 <sup>abV</sup>
Julio	35.96±2.77 <sup>aV</sup>	36.40±3.18 <sup>abV</sup>	37.94±3.35 <sup>aV</sup>	37.27±4.30 <sup>aV</sup>	37.58±2.44 <sup>aV</sup>
Agosto	32.25±2.36 <sup>aV</sup>	34.53±1.65 <sup>aV</sup>	37.23±1.42 <sup>aV</sup>	37.85±1.60 <sup>abV</sup>	38.42±2.74 <sup>aV</sup>
Septiembre	47.14±3.11 <sup>cV</sup>	47.88±0.90 <sup>cV</sup>	47.61±3.55 <sup>cV</sup>	46.89±0.88 <sup>cdV</sup>	47.72±1.61 <sup>bV</sup>
Octubre	40.76±1.27 <sup>abV</sup>	46.63±3.92 <sup>cW</sup>	46.52±0.51 <sup>bcW</sup>	42.71±2.82 <sup>bcVW</sup>	44.12±1.51 <sup>abVW</sup>
Noviembre	45.04±3.74 <sup>bcV</sup>	47.35±1.07 <sup>cV</sup>	46.67±3.21 <sup>bcV</sup>	48.34±0.75 <sup>dV</sup>	48.03±7.81 <sup>bV</sup>

Los valores son la media ± DE (n = 9)  
<sup>abcd</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.  
<sup>VW</sup> Las diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre las muestras en el mismo mes  
Tratamiento 1 (T1) (1 kg de zeolita) Tratamiento 2 (T2) (3 kg de zeolita) Tratamiento 3 (T3) (5 kg de zeolita) Tratamiento 4 (T4) (7 kg de zeolita)

Una revisión efectuada por Tilahun, Seo y Jeong (2017), sugiere que una elevada concentración de carotenos en cultivares de jitomate *Lycopersicum esculentum* Mill puede deberse, a estrés hídrico causado por un riego limitado y una mayor adición de NaCl a la solución nutrimental, ya que el estrés hídrico y salino provoca síntesis de etileno y con ello incremento de los compuestos mencionados.

## 8.2 Características fisicoquímicas del fruto

### 8.2.1 pH, acidez titulable y sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles (SST), indica el contenido de azúcares totales (glucosa, fructosa y trazas de sacarosa) presentes en el fruto, mientras que el pH y la acidez titulable reflejan el contenido de ácidos orgánicos; su cantidad y proporción influyen directamente en la calidad organoléptica, teniendo variaciones durante la maduración (Saini, Zamany, y Keum, 2017). Generalmente existe una relación inversa entre un pH alto, baja acidez titulable y una mayor concentración de sólidos solubles (Cantwell, 1997). Los resultados de pH, acidez titulable y SST son expresados en la tabla 12. El pH en frutos de jitomate está dado por la interacción de genotipo-ambiente, el rango de pH de las muestras varió de 3.68 a 4.54 durante los meses evaluados. Con el paso de los meses los tratamientos y control disminuyeron de valor. Para la industria de los alimentos de origen vegetal, el pH óptimo es de 4.4, existiendo una variación de 4.17 a 4.59 (Ramírez-Aria, 2012). De acuerdo con Monge y Loría (2019), durante la maduración de frutos la acidez disminuye y por tanto los valores de pH aumentan de 4.0 hasta 4.5.

Al igual que con los azúcares, la acidez proporcionada por la presencia de ácidos orgánicos en el fruto es crucial para el sabor y la aceptación de éste. Hay una continua variación en la acidez del fruto durante su desarrollo y maduración, aumentando con el crecimiento el fruto hasta que alcanza su máximo con el desarrollo de coloración y disminuyendo con el avance de la maduración (Kapoulas et al., 2011). Los valores que se encontraron en los frutos de jitomate fueron entre 0.10 a 0.25 % de ácido cítrico con algunas variaciones entre los meses evaluados sin mostrar diferencias significativas. Durante el transcurso del tiempo este parámetro se incrementó ligeramente manteniendo valores semejantes a los reportado en jitomates (0.14 a 0.34 % de ácido cítrico) con diferentes biorreguladores de crecimiento por Cano-Hernández et al. (2018). Hallmann (2012) observó, que los jitomates (*solanum Lycopersicum*) cultivados bajo sistemas de cultivo orgánico tenían una concentración significativamente más baja de ácidos orgánicos en comparación con los cultivados por métodos convencionales. La conversión del ácido orgánico en azúcar y sus derivados o su

utilización en la respiración podría, ser la razón de la reducción de la acidez durante la maduración (Tilahun, Park, Taye, y Jeong, 2017), como se pueden visualizar en la figura 9, donde disminuye los sólidos solubles, y se incrementa la acidez titulable. En cuanto a los SST, los frutos evaluados presentaron valores entre 2.5 y 5.0 °Bx, lo cual los clasifica como frutos con una etapa de maduración número de 4 (entre 4 y 4.5 °Bx) de acuerdo con Cantwell, (1997). Todos los tratamientos obtuvieron un comportamiento similar que el control con un ligero aumento en el mes de septiembre y octubre, a excepción del tratamiento 3, el cual mantuvo sus valores de sólidos totales hasta el mes de octubre al igual que el tratamiento 4. El incremento de SST se debe a la producción de carbohidratos durante la fotosíntesis, el contenido de potasio, la actividad de la sacarosa-fosfato sintasa (tecnologías agrícolas), o a la translocación de azúcares asimilados de hojas a frutos (Ayyar y Suganya, 2019). El tratamiento 3 fue el que presentó más altos valores de tamaño del fruto, por lo que pudiera estar correlacionado con una mayor formación de tejido celular, y, por lo tanto, con una disminución de sólidos solubles (Salas, et al., 2016).

**Tabla 12.** Resultados de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes

	pH				
	CONTROL	T1	T2	T3	T4
Junio	4.38±0.01 <sup>cW</sup>	4.31±0.0 <sup>Bv</sup>	4.32±0.00 <sup>cV</sup>	4.32±0.01 <sup>bV</sup>	4.33±0.00 <sup>bV</sup>
Julio	4.08±0.02 <sup>bW</sup>	4.04±0.02 <sup>aVW</sup>	4.04±0.02 <sup>bVW</sup>	4.03±0.01 <sup>aV</sup>	4.03±0.00 <sup>aVW</sup>
Agosto	3.99±0.01 <sup>bV</sup>	3.98±0.00 <sup>aV</sup>	4.03±0.01 <sup>bW</sup>	4.03±0.01 <sup>aW</sup>	4.03±0.00 <sup>aW</sup>
Septiembre	4.41±0.04 <sup>cV</sup>	4.49±0.01 <sup>cW</sup>	4.47±0.03 <sup>dVW</sup>	4.54±0.02 <sup>dW</sup>	4.53±0.00 <sup>cW</sup>
Octubre	4.36±0.01 <sup>cV</sup>	4.40±0.02 <sup>bcVW</sup>	4.43±0.00 <sup>dW</sup>	4.42±0.00 <sup>cW</sup>	4.38±0.01 <sup>bV</sup>
Noviembre	3.68±0.11 <sup>aV</sup>	3.98±0.08 <sup>aW</sup>	3.83±0.05 <sup>aVW</sup>	4.02±0.00 <sup>aW</sup>	4.01±0.07 <sup>aW</sup>
	Acidez Titulable				
Junio	0.24±0.04 <sup>cdW</sup>	0.23±0.04 <sup>bcVW</sup>	0.24±0.04 <sup>cW</sup>	0.18±0.02 <sup>bcVW</sup>	0.15±0.00 <sup>bV</sup>
Julio	0.26±0.00 <sup>dV</sup>	0.25±0.00 <sup>cV</sup>	0.25±0.00 <sup>cV</sup>	0.25±0.00 <sup>cV</sup>	0.25±0.00 <sup>cV</sup>
Agosto	0.12±0.01 <sup>aV</sup>	0.12±0.00 <sup>aV</sup>	0.11±0.00 <sup>aV</sup>	0.10±0.01 <sup>aV</sup>	0.11±0.01 <sup>aV</sup>
Septiembre	0.16±0.01 <sup>abV</sup>	0.18±0.01 <sup>bV</sup>	0.18±0.01 <sup>bV</sup>	0.14±0.01 <sup>abV</sup>	0.17±0.01 <sup>bV</sup>
Octubre	0.18±0.01 <sup>bcVW</sup>	0.22±0.03 <sup>bcW</sup>	0.12±0.01 <sup>aV</sup>	0.19±0.04 <sup>bcVW</sup>	0.15±0.00 <sup>bVW</sup>
Noviembre	0.31±0.00 <sup>dX</sup>	0.25±0.00 <sup>cVW</sup>	0.24±0.00 <sup>cV</sup>	0.25±0.00 <sup>cW</sup>	0.25±0.00 <sup>cW</sup>
	Sólidos solubles totales				
Junio	3.63±0.63 <sup>abV</sup>	3.86±0.15 <sup>bV</sup>	4.33±0.15 <sup>cdV</sup>	3.80±0.26 <sup>bV</sup>	3.76±0.11 <sup>bcV</sup>
Julio	3.83±0.15 <sup>abVWX</sup>	4.13±0.05 <sup>bcX</sup>	3.73±0.20 <sup>bVW</sup>	4.06±0.05 <sup>bWX</sup>	3.66±0.15 <sup>bV</sup>
Agosto	4.13±0.05 <sup>bcVW</sup>	4.56±0.32 <sup>cdW</sup>	4.20±0.10 <sup>bcVW</sup>	4.16±0.15 <sup>bVW</sup>	3.90±0.10 <sup>bcV</sup>
Septiembre	4.86±0.05 <sup>cX</sup>	5.00±0.00 <sup>dY</sup>	5.00±0.00 <sup>eY</sup>	3.93±0.05 <sup>bV</sup>	4.23±0.05 <sup>dW</sup>
Octubre	3.56±0.28 <sup>abV</sup>	4.76±0.15 <sup>dW</sup>	4.80±0.17 <sup>deW</sup>	4.00±0.10 <sup>bV</sup>	4.03±0.15 <sup>cdV</sup>
Noviembre	3.00±0.40 <sup>aW</sup>	2.50±0.00 <sup>dVW</sup>	2.50±0.26 <sup>aVW</sup>	2.46±0.15 <sup>aVW</sup>	2.30±0.00 <sup>aV</sup>

Los valores son la media ± DE (n = 9)  
<sup>abcd</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.  
<sup>vw</sup> Las diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre las muestras en el mismo mes  
 Tratamiento 1 (T1) (1 kg de zeolita), Tratamiento 2 (T2) (3 kg de zeolita) Tratamiento 3 (T3) (5 kg de zeolita)  
 Tratamiento 4 (T4) (7 kg de zeolita)

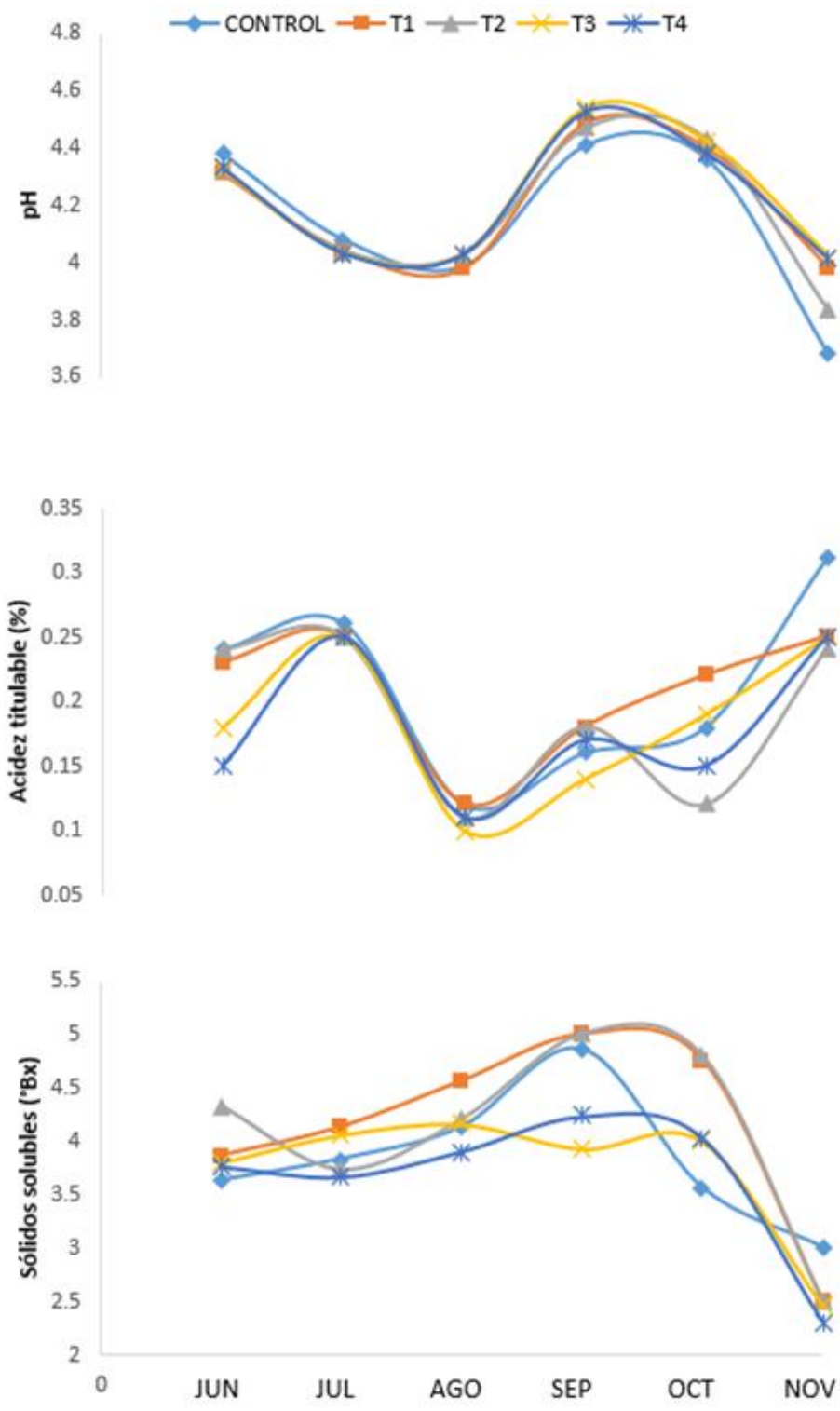


Figura 9. Resultados de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales en jitomate con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes.

## 8.2.2 Índice de Madurez (IM)

Dentro de los principales parámetros de calidad de los frutos de jitomate son los sólidos solubles, acidez titulable, pH, color y firmeza, siendo el color uno de los factores más relevantes en la decisión de compra por parte de los consumidores, ya que determina el punto de maduración y vida postcosecha (Torres, 2013). El índice de madurez fue evaluado con la relación de SST y acidez titulable. Los resultados para el índice de madurez en jitomate han sido reportados con rangos alrededor de 13.9 a 21 en jitomate saladette (*Solanum Lycopersicum*) de acuerdo con Rivera (2011). En el presente estudio se obtuvieron valores que variaron entre 8.93 y 28.33, aunque también se reportaron resultados más altos entre 35 y 42 en los meses de agosto y septiembre indicando una buena calidad, a diferencia de los meses posteriores en donde se presentó un decremento de los sólidos solubles totales y seguramente relacionado con una menor calidad sensorial (tabla 13), indicando una mayor cantidad de sólidos solubles en esta variedad evaluada.

El incremento del estado de madurez de los frutos de jitomate dio como resultado un aumento en contenido en los SST y los valores de índice de madurez, relacionado con los cambios de los componentes estructurales de la pared celular, es decir, un acercamiento a la madurez para consumo (Casierra-Posada y Avedaño, 2008; Reina, Guzmán y Sánchez, 1998; Zayas, 2013)

**Tabla 13.** Resultados de índice de madurez en jitomates con diferente tratamiento de zeolita y su seguimiento por mes

	CONTROL	T1	T2	T3	T4
Junio	15.11±2.67 <sup>abV</sup>	16.82±2.25 <sup>bcV</sup>	17.49±3.54 <sup>aV</sup>	20.49±1.71 <sup>bcVW</sup>	24.56±0.16 <sup>cW</sup>
Julio	14.06±0.65 <sup>abV</sup>	26.53±0.23 <sup>bW</sup>	14.55±1.07 <sup>aVW</sup>	16.09±0.26 <sup>abVW</sup>	14.52±0.85 <sup>bVW</sup>
Agosto	32.63±2.92 <sup>cV</sup>	26.41±1.56 <sup>eV</sup>	35.37±3.54 <sup>aV</sup>	39.16±5.04 <sup>cbV</sup>	35.14±3.68 <sup>dV</sup>
Septiembre	19.58±2.91 <sup>bV</sup>	27.58±1.62 <sup>dV</sup>	42.06±3.21 <sup>bW</sup>	26.54±3.27 <sup>cV</sup>	24.45±1.93 <sup>cV</sup>
Octubre	19.58±2.91 <sup>bV</sup>	21.22±2.25 <sup>cV</sup>	34.11±7.41 <sup>bW</sup>	22.26±3.93 <sup>bcV</sup>	25.95±1.09 <sup>cVW</sup>
Noviembre	9.58±1.27 <sup>aV</sup>	9.83±0.22 <sup>aV</sup>	10.21±1.18 <sup>V</sup>	8.93±0.68 <sup>aV</sup>	8.95±0.18 <sup>aV</sup>

Los valores son la media ± DE ( $n = 9$ )

<sup>a-e</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.

<sup>v-w</sup> Las diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre las muestras en el mismo mes

Tratamiento 1 (T1) (1 kg de zeolita), Tratamiento 2 (T2) (3 kg de zeolita) Tratamiento 3 (T3) (5 kg de zeolita) Tratamiento 4 (T4) (7 kg de zeolita)

### 8.3 Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

Las determinaciones de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) únicamente fueron realizadas en el tratamiento 3 (5 kg de zeolita) y el control, ya que fue el tratamiento que presentó más fruto cosechado a lo largo de los meses.

#### 8.3.1 Compuestos fenólicos totales

Los frutos de jitomate son caracterizados por un alto contenido de compuestos bioactivos, como antioxidantes y fibra. Dentro de estos compuestos antioxidantes se encuentra el licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos presentes en los frutos de jitomate (Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014; Gutierrez Tlahque, 2019; Vrcek et al., 2011).

El contenido de compuestos fenólicos totales de las muestras control de jitomate mostró valores de 2.77 a 3.62 mg EAG/100 g bs (tabla 14). Las muestras tratadas con zeolita presentaron valores mayores ( $p < 0.05$ ) para casi todos los meses a excepción de junio. Los valores de los compuestos bioactivos que se encontraron en este estudio son similares a los encontrados en jitomate por Kamiglu et al., (2014) y Santiago y Naturales, (2018) con valores de 0.6 a 3 mg EAG/100 g bs en frutos de jitomate. Los compuestos bioactivos de los frutos de jitomate pueden ser afectados por diferentes condiciones ambientales, la exposición a la luz y temperatura. La acumulación de estos compuestos se ve estimulada por la cantidad de luz, sufriendo degradación en condiciones de oscuridad, asimismo la cantidad se ve influenciada por las fases de maduración del fruto teniendo mayores concentraciones en la etapa 3 a 4 (entre el verde y ligeramente rojo) y disminuye cuando madura totalmente (Bravo, 2013).

Los factores climáticos que prevalecen en el campo o en invernadero afectan al cultivo, una de estas condiciones sería el incremento de minerales que actúa como un estrés para las plantas, cumpliendo la función de regulación, lo cual puede ocasionar un aumento de biosíntesis de compuestos fenólicos (Cogayo, 2017).

**Tabla 14.** Contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de jitomate cultivado con y sin zeolita (100 g bs)

	CFT* (mg EAG)		ABTS (mg EAA)		DPPH ( $\mu$ mol ET)		FRAP ( $\mu$ mol Fe(II))	
	Control	T3	Control	T3	Control	T3	Control	T3
Junio	3.29 $\pm$ 0.06 <sup>bc</sup>	3.30 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.90 $\pm$ 0.29 <sup>c</sup>	0.01 $\pm$ 0.01 <sup>a*</sup>	7.39 $\pm$ 1.43 <sup>a</sup>	5.50 $\pm$ 1.01 <sup>ab*</sup>	0.09 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.00 <sup>a*</sup>
Julio	2.77 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	3.54 $\pm$ 0.09 <sup>ab*</sup>	0.15 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>a*</sup>	5.79 $\pm$ 2.15 <sup>a</sup>	6.55 $\pm$ 1.09 <sup>bc</sup>	0.10 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	0.07 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>
Agosto	3.62 $\pm$ 0.42 <sup>c</sup>	3.40 $\pm$ 0.10 <sup>ab</sup>	0.47 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.03 $\pm$ 0.01 <sup>a*</sup>	7.77 $\pm$ 1.36 <sup>a</sup>	3.77 $\pm$ 0.98 <sup>a*</sup>	0.14 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>abc*</sup>
Septiembre	3.30 $\pm$ 0.25 <sup>bc</sup>	3.59 $\pm$ 0.16 <sup>ab*</sup>	0.31 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	0.07 $\pm$ 0.02 <sup>b*</sup>	6.53 $\pm$ 3.28 <sup>a</sup>	8.68 $\pm$ 1.03 <sup>cd</sup>	0.07 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>ab*</sup>
Octubre	3.08 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>	3.77 $\pm$ 0.46 <sup>bc*</sup>	0.35 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	0.10 $\pm$ 0.01 <sup>c*</sup>	5.70 $\pm$ 3.57 <sup>a</sup>	9.61 $\pm$ 2.24 <sup>d</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.00 <sup>abc</sup>
Noviembre	3.23 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>	4.11 $\pm$ 0.10 <sup>c*</sup>	0.48 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>bc*</sup>	8.80 $\pm$ 0.80 <sup>a</sup>	10.84 $\pm$ 0.83 <sup>d*</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>bc*</sup>

Los valores son la media  $\pm$  DE ( $n = 9$ )

<sup>a-d</sup> Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los meses de un mismo tratamiento.

\*Indica diferencias significativas entre los tratamientos en el mismo mes para cada evaluación realizada.

\*CFT: Compuestos fenólicos totales

Tratamiento 3 (T3)



### 8.3.2 Capacidad antioxidante

Las muestras de jitomate exponen valores de actividad antioxidante para ABTS de 0.90 mg EAA/100 g bs, en el mes de junio, mientras que los meses siguientes fluctuaron entre 0.15-0.48 mg EAA/100 g bs para el tratamiento control. Los resultados obtenidos son menores a los reportados por Riahi y Hdider, (2013) teniendo valores entre 7.42-9.20 mg EAA/100 g bs en jitomates (*solanum lycopersicum* L.) cultivados de forma orgánica con diferentes dosis de fertilizantes. En comparación con el tratamiento con zeolita (T3) (0.01 mg EAA/100 g) estos valores fueron más bajos (tabla 14). En el tratamiento control los valores disminuyeron al final de los meses de producción, en comparación al tratamiento zeolita que evidenció incrementos considerables, sin embargo, aunque los valores del tratamiento 3 aumentaron, no superaron a los del control.

En la capacidad antioxidante por DPPH, las muestras de jitomate expresaron valores al inicio del tratamiento, la muestra control presentó valores de 7.39  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$  mientras que el tratamiento T3 fue de 5.50  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$ . El tratamiento control no mostró cambios durante los meses de producción, mientras que el tratamiento con zeolita se incrementó considerablemente en el mes de noviembre (10.84  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$ ). Los resultados encontrados en este trabajo son menores a los reportados por Flores, et al., (2020), donde evaluaron la actividad antioxidante en jitomate saladette (*Solanum Lycopersicum*) cultivados en 3 regiones de México (83 - 94  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$ ).

La actividad antioxidante para FRAP reportada en las muestras de jitomate en este estudio fue de 0.09  $\mu\text{mol Fe (II)}/100\text{ g bs}$  para el control, y la obtenida en el tratamiento con zeolita fue menor. Durante los meses de producción (junio a noviembre) el tratamiento T3 obtuvo un incremento en el mes de julio, los demás meses en este tratamiento y el control se mantuvieron estables. Ilahy, et al. (2011) describe cambios en los valores para FRAP de jitomate (*Solanum Lycopersicum*) en diferentes etapas de maduración con variaciones de 0.46 a 2.59  $\mu\text{mol Fe (II)}/100\text{ g bs}$ .

Los métodos utilizados en el caso de ABTS puede medir la actividad de compuestos hidrofílicos y lipofílicos, por su parte el DPPH solo puede disolverse en compuestos

orgánicos por lo que mide en mayor proporción la capacidad antioxidante de compuestos lipofílicos (Mercado, et al., 2013), pudiendo relacionar los resultados más altos en DPPH obtenidos en este proyecto debido a la cantidad de licopeno que naturalmente presenta el fruto de jitomate (Luna y Delgado, 2014).

## 9 CONCLUSIONES

- El rendimiento de los frutos de jitomate a lo largo de los meses de cosecha (junio a noviembre) se vio influenciado por la adición de zeolita en especial para el tratamiento 3 donde aplico 5 kg de zeolita, teniendo un rendimiento total de 1676.42 kg en comparación con el control (1416.48 kg totales).
- La adición de zeolita no afectó en la producción de jitomate presentando valores de peso entre 107 a 122 g de peso, tamaño medido como diámetro ecuatorial entre 4 a 4.9 cm y una firmeza adecuada para comercialización. Además de un pH, acidez titulable y sólidos solubles totales sin cambios en comparación con el control.
- Los jitomates presentaron un color rojo característico, dentro del cuadrante rojo-amarillo en la escala de CIELab. Y solo el tratamiento 3 presentó algunas diferencias con el control en el parámetro b (con tendencia a colores rojos más tenues) para los últimos meses de cosecha (octubre-noviembre).
- El índice de madurez se vio influenciado por los resultados de sólidos solubles totales y la acidez titulable, si bien el aumento que presentó es dado por la madurez natural de los frutos.
- El tratamiento T3 presentó mejores características físicas por lo que fue el tratamiento que se eligió para evaluar sus propiedades antioxidantes.
- El contenido de compuestos fenólicos en los frutos del tratamiento 3 con zeolita fue similar a lo presentado en la muestra control, inclusive durante los meses de tratamiento. El mismo comportamiento fue para la actividad antioxidante con excepción de la actividad de DPPH y FRAP donde el tratamiento con zeolita presentó una mayor actividad.

## 10 PERSPECTIVAS

A partir de los resultados y discusión presentados en el presente trabajo se abren nuevas preguntas de investigación referentes a la influencia de zeolita en los cultivos de jitomate y los cambios en composición del fruto para abordar estos aspectos se plantea:

- ❖ Realizar estudios sobre los cambios en la composición nutrimental y caracterización de compuestos bioactivos.
- ❖ Determinar cambios en la concentración de minerales en el fruto.
- ❖ Estudiar la vida de anaquel de estos productos producidos con zeolita.

## 11 REFERENCIAS

- Acosta, I. (2018). Tomate roma. Recuperado de: <https://www.zonagricola.com/2018/04/13/importancia-del-tomate-roma-vf-y-su-resistencia-a-enfermedades-e-insectos/>
- AOAC. (1975). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (12th Edition). Washington, USA.
- Araujo, J., y Telhado, S. (2015). Organic Food: A comparative study of the effect of tomato cultivars and cultivation conditions on the physico-chemical properties. *Foods*, 4(4), 263–270.
- Arguello, B. M., Ricardo, H. L. S., y Reyes, I. V. (2016). Respuestas fisiológicas de plantas cultivadas en bioespacios por efecto de nanofertilizantes y zeolita. Simposio agronotecnología. 62-69
- Arias, G. D. L. (2019). Estudio del efecto de la luz sobre la acumulación de carotenoides en la raíz de reserva de *Daucus carota*. [Tesis Doctoral] Universidad de Chile.
- Asaduzzaman, M. (2015). *Soiless Culture: Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops* (B.-L. bajo Demanda, Ed.). Croacia.
- Batu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 471-475.
- Bautista Martínez, N. (2005). Producción de jitomate en invernadero. [Tesis de grado] Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Bernedo Cochon, J. L., y Cahuina Iazaro, C. A. (2013). Implementación de un laboratorio de postcosecha de frutas y hortalizas: evaluación de postcosecha en durazno (*prunus pérsica* l.), naranja (*citrus sinensis* b.) Tomate (*lycopersicum esculentum* mill) en diferentes grados de madurez en el fundo la banda huasacache–Arequipa. [Tesis de grado] Universidad Católica de Santa María.
- Blancard, D. (2011). *Enfermedades del tomate*. El tomate, la planta y su cultivo. (M.-P. Libros, Ed.). Madrid.
- Borghesi, E., González-Miret, M. L., Escudero-Gilete, M. L., Malorgio, F., Heredia, F. J., y Meléndez-Martínez, A. J. (2011). Effects of salinity stress on

carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11676-11682.

- Bravo Lozar, S. (2013). Optimización del contenido y disponibilidad del licopeno y otros compuestos bioactivos en tomate y productos elaborados con tomate. Proyecto de investigación. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia].
- Cacoango Pilco, M. A. (2018). *Estudio de la adaptación y rendimiento de 10 variedades de tomate riñón (Solanum lycopersicum L) bajo invernadero, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. [Tesis de grado] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cano-Hernández, R., Martínez-Damián, M. T., Moreno-Pérez, E. del C., Sánchez-del Castillo, F., Cruz-Álvarez, O., y Rodríguez-Roque, M. J. (2018). Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero. *Información Técnica Económica Agraria*, 115 (2), 120–133.
- Cantwell, M. y T. S. (1997). Recuperado de: Tomato: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality website: [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity Resources/Fact Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=36&ds=799](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=36&ds=799)
- Casierra-Posada, F., y Avendaño, Ó. A. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300-307.
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., y Nagpal, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2833–2849.
- Cortés, K. M. R., Torres, Y. S., & Cruz, M. C. (2017). Análisis de la comercialización de jitomate de invernadero en la región del Valle de Tulancingo, basado en el análisis de redes de vínculos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 5(9).
- Coyago Cruz, E. D. R. (2017). Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional. [Tesis de grado] Universidad de Sevilla.

- De la Rosa-Rodríguez, R., Lara-Herrera, A., Lozano-Gutiérrez, J., Padilla-Bernal, L. E., Avelar-Mejía, J. J., y Castañeda-Miranda, R. (2016). Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3439-3452.
- de Oliveira, G. H. H., Corrêa, P. C., Botelho, F. M., y de Oliveira, A. P. L. R. (2015). Mechanical properties of tomatoes subjected to an induced compression during storage. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 293-301.
- Días, N. M., y Núñez, M. S. (2017). La zeolita como alternativa para la sostenibilidad de la producción platanera. *Avances*, 19(1), 84-91..
- Domínguez, I., Lafuente, M. T., Hernández-Muñoz, P., y Gavara, R. (2016). Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209 (6), 211–219.
- Enriquez, L. J. (2018). Estudio del efecto de la calidad de luz sobre la síntesis y la acumulación de licopeno en frutos de tomate cultivados en invernadero. [Tesis de grado] Universidad Autónoma de Querétaro.
- Eprikashvili, L., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., Pirtskhalava, N., Dzaganian, M., Rubashvili, I., y Tsitsishvili, V. (2016). Intensification of bioproductivity of agricultural cultures by adding natural zeolites and brown coals into soils. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 67–71.
- Eroglu, N., Emekci, M., y Athanassiou, C. G. (2017). Applications of natural zeolites on agriculture and food production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3487–3499.
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C. y Martin, A. (2009). *Manual De Cultivo De Tomate* (N. Hortícola, Ed.). Chile.
- Esquivel Reyes, N. V. (2017). Análisis de textura en frutas. [Tesis de grado] Universidad Nacional de Trujillo.
- FAO y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo* (E. F. P. y protección vegetal 90, Ed.). Roma.
- Figueroa, R., Tamayo, J., González, S., y Moreno, G. (2011). Actividad

- antioxidante de antocianinas presentes en cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 44–50.
- FIRA. (2019). Panorama Agroalimentario: Tomate rojo. *Panorama Alimentario*, 35.
  - Flores Sánchez, R. (2015). *Efecto de los tratamientos post-cosecha tradicionales y emergentes sobre los compuestos antioxidantes en tomate (Solanum lycopersicon L.) almacenado en refrigeración* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Puebla].
  - Flores, D. (2018). *Mexico Tomato Annual Protected Agriculture Production Expanding*. (March), 1–9. Recuperado de: [https://gain.fas.usda.gov/RecentGAINPublications/TomatoAnnual\\_MexicoCity\\_Mexico\\_5-30-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/RecentGAINPublications/TomatoAnnual_MexicoCity_Mexico_5-30-2018.pdf)
  - Flores, I. R., Vásquez-Murrieta, M. S., Franco-Hernández, M. O., Márquez-Herrera, C. E., Ponce-Mendoza, A., & del Socorro López-Cortéz, M. (2021). Bioactive compounds in tomato (*Solanum lycopersicum*) variety saladette and their relationship with soil mineral content. *Food Chemistry*, 344, 128608.
  - Francisco, M. S. (2019). Zeolita. Recuperado de: <https://minasanfrancisco.com/sitio/2018/02/12/beneficios-de-la-zeolita-para-la-salud/>
  - Fuentes Fiallo, V. R., Granda, M. M., Lemes Hernández, C. M., & Rodríguez Ferradá, C. A. (2001). Estudios fenológicos en plantas medicinales XII. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 6(3), 87-92.
  - García, A. G. (2010). *Planificación de cultivos hortícolas*. Ed Cabilde Tenerife. Chile
  - Gholamhoseini, M., Habibzadeh, F., Ataei, R., Hemmati, P., & Ebrahimian, E. (2018). Zeolite and hydrogel improve yield of greenhouse cucumber in soil-less medium under water limitation. *Rhizosphere*, 6 (6), 7-10.
  - Gorini, F. (2018). *Guía completa del cultivo del tomate* (P. International, Ed.). USA.
  - Group, P. C. (2011). Productos de exportación. Recuperado de: [http://www.premierhorticultura.com/exportacion\\_premier\\_horticultura\\_group.html](http://www.premierhorticultura.com/exportacion_premier_horticultura_group.html)



- Gutiérrez Tlahque, J., Santiago Sáenz, Y. O., Hernández Fuentes, A. D., Pinedo Espinoza, J. M., López Buenabad, G., y López Palestina, C. U. (2019). Influencia de los métodos de cocción sobre la actividad antioxidante y compuestos bioactivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Nova scientia*, 11(22), 53-68.
- Hallmann, E. (2012). The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(14), 2840–2848.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., y Dalessandro, G. (2011). Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *Journal of food composition and analysis*, 24(4-5), 588-595.
- Inforural. (2012). Jitomate o tomate rojo, variedades. Recuperado de: <https://www.inforural.com.mx/jitomate-o-tomate-rojo-variedades/>
- INTAGRI. (2017). Tipos y Especialidades de Tomate. *Serie Hortalizas*, 13, 4.
- Juárez-Maldonado, A., Romenus, K. de A., González, A. Z., Ramírez, H., y Mendoza, A. B. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(May), 943–954.
- Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., y Capanoglu, E. (2014). Home processing of tomatoes (*Solanum lycopersicum*): effects on in vitro bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(11), 2225-2233.
- Kapoulas, N., Ilić, Z. S., Durovka, M., Trajković, R., y Milenković, L. (2011). Effect of organic and conventional production practices on nutritional value and antioxidant activity of tomatoes. *African Journal of Biotechnology*, 10(71), 15938–15945.
- Klunklin, W., y Savage, G. (2017). Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods*, 6(8), 56.
- Kolečka, I., Hasanagić, D., Todorović, V., Murtić, S., Klokić, I., Paradiković, N.,

- y Kukavica, B. (2017). Biostimulant prevents yield loss and reduces oxidative damage in tomato plants grown on reduced NPK nutrition. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 209–218.
- Kromann, P., y Cuasapaz, P. (2017). Libro de memorias. VII Congreso Ecuatoriano de la Papa. Adaptación al cambio climático.
  - Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., Gaetano, G., Gianluca, T., Francesco, C., Domenico, B. y Abete, P. (2018). Clinical Interventions in Aging Dovepress Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging*, 13 (4 ), 757–772.
  - Londoño Londoño, J. (2012). Cap 9: Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. *En: Desarrollo y Transversalidad Serie Lasallista Investigación y Ciencia*
  - Luna-Guevara, M. L., y Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 51-66..
  - Mariani, L., Cola, G., Bulgari, R., Ferrante, A., y Martinetti, L. (2016). Space and time variability of heating requirements for greenhouse tomato production in the Euro-Mediterranean area. *Science of the Total Environment*, 562 (12), 834–844.
  - Marín, L. M. L. (2016). *Manual Técnico del Cultivo de tomate* (I. N. de I. y T. en T. Agropecuaria, Ed.). Costa Rica.
  - Martínez-González, M. E., Balois Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., y López-Gúzman, G. G. (2017). Postcosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (19), 4075.
  - Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C., y Vargas-Orozco, A. G. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 355-366.
  - Monge Pérez, J. E., y Loría Coto, M. (2019). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica Del Sistema de Estudios de*

*Posgrado*, 17(1), 1–20.

- Montañez, J. (2017). *Guar gum as an edible coating for enhancing shelf-Life and improving postharvest quality of roma tomato (Solanum lycopersicum L)*. 2017. 6 (2), 1-9.
- Montenegro, H. M. M., Mares, V. A., Ruvalcaba, L. P., Sarabia, J. A. M., y Terán, J. A. L. (2016). Response of the Saladette tomato of growth determinate to different sources and doses of calcium in greenhouse. *Open Access Library Journal*, 03(03), 1–7.
- Montoliu Vidal, A. (2010). Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. [Tesis Doctoral] Universitat Jaume I.
- Morales, B. M. (2019). *Biofortificación con selenio en el cultivo de tomate producido en hidroponía*. [Tesis Doctoral] Instituto Tecnológico de Torreón.
- Morales, F. J. y Jiménez- Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to color and fluorescence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72 (9), 119–125.
- Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G., Flores, M. F., Urrestarazu, M., y Álvaro, J. E. (2017). Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HortScience*, 52(6), 868-87
- Navarro-González, I., y Periago, M. J. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional? *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323-335.
- Navarro-López, E. R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García-Mateos, M. D. R., y Ramírez-Arias, A. (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(3), 263-277.
- NMX FF 009. (1982). *Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. fruta fresca. determinación del tamaño con base al diámetro ecuatorial*. 12, 6–9.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4740183&fecha=10/06/1982](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4740183&fecha=10/06/1982)

- NMX-F-317-S-1978. (1978). NMX-F-317-S-1978. Determinación de ph en alimentos. Determination of ph in foods. Normas mexicanas. Dirección general de normas. *Colpos.Mx*, 3–6. Recuperado de: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-038-2002.PDF>
- Ochoa-Velasco, C. E., Valadez-Blanco, R., Salas-Coronado, R., Sustaita-Rivera, F., Hernández-Carlos, B., García-Ortega, S., y Santos-Sánchez, N. F. (2016). Effect of nitrogen fertilization and *Bacillus licheniformis* biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. Sheva). *Scientia Horticulturae*, 201 (4), 338–345.
- Ortíz Suárez, I. (2007). Estudio técnico-económico para la producción de jitomate saladett (*licopersicum esculentum*) bajo condiciones de invernadero hidropónico, en Acaxochitlán Hidalgo-México. [Tesis de grado] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz-Rubio, E., Serrano, J. y Goñi, I. (2008). Update methodology to determine antioxidant capacity in plant food, oils and beverages: extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41 (3), 274–285.
- Perveen, R., Suleria, H. A. R., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I., y Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims—A Comprehensive Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 919–929.
- Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Petrotos, K., Akoumianakis, K., y Ferreira, I. C. (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food chemistry*, 214 (14), 129-136.
- Petropoulos, S. A., Xyrafis, E., Polyzos, N., Antoniadis, V., Fernandes, Â., Barros, L., y Ferreira, I. C. (2020). The Optimization of nitrogen fertilization regulates crop performance and quality of processing tomato (*Solanum Lycopersicum* L. cv. Heinz 3402). *Agronomy*, 10(5), 715.

- Pinela, J., Montoya, C., Carvalho, A. M., Martins, V., Rocha, F., Barata, A. M., Ferreira, I. C. F. R. (2019). Phenolic composition and antioxidant properties of ex-situ conserved tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm. *Food Research International*, 125(6), 108545.
- Ponce-Valadez, M., Escalona-Buendía, H. B., Villa-Hernández, J. M., de León-Sánchez, F. D., Rivera-Cabrera, F., Alia-Tejacal, I., y Pérez-Flores, L. J. (2016). Effect of refrigerated storage (12.5°C) on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit flavor: A biochemical and sensory analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 111 (6), 6–14.
- Quintanar, E. M. A. y Caderon, S. J. V. (2009). La capacidad de antioxidante total. Base y aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 28, 80–1101.
- Ramesh, K., y Reddy, D. D. (2011). Zeolites and their potential uses in agriculture. In *Advances in agronomy* (Vol. 113, pp. 219-241). Academic Press.
- Ramírez-Aria, Navarro-López, E. R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García-Mateos, M. D. R., & Ramírez-Arias, A. (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista chapingo serie horticultura*, 18 (3), 266–277.
- Reina, C. E., Guzmán Torres, J. C., y Sánchez Peña, J. M. (1998). Manejo poscosecha y evaluación de la calidad de tomate (*Lycopersicum Esculetum* Mill) que se comercializa en la ciudad de Neiva.
- Riahi, A., y Hdider, C. (2013). Bioactive compounds and antioxidant activity of organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars as affected by fertilization. *Scientia Horticulturae*, 151 (7), 90-96.
- Rivera Castro, J. C. (2011). *Parámetros fisicoquímicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate (solanum lycopersicum)*. [Tesis de grado] Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodica, S., Apahidean, S. A., Apahidean, M., Maniutiu, D., & Paulette, L. (2008). Yield, physical and chemical characteristics of greenhouse tomato grown on soil and organic substratum. In 43rd Croatian and 3rd Int Symposium on Agric Opatija Croatia (pp. 439-443).
- SAGARPA. (1997). NMX-FF-031-1997. productos alimenticios no

industrializados para consumo humano. hortalizas frescas. tomate -. *Norma Oficial Mexicana*. Recuperado de: [http://sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos Técnicos Normalización y Marcas Colecti/Attachments/117/NMX\\_TOMATE.pdf](http://sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Técnicos%20Normalización%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/117/NMX_TOMATE.pdf)

- Saini, R. K., Zamany, A. J., y Keum, Y. S. (2017). Ripening improves the content of carotenoid,  $\alpha$ -tocopherol, and polyunsaturated fatty acids in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *3 Biotech*, 7(1), 1–7.
- Salas-Pérez, L., González Fuentes, J. A., García Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., y Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova scientia*, 8(17), 310-325.
- Salim, M. M. R., Rashid, M. H., Hossain, M. M., & Zakaria, M. (2020). Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(3), 233-240.
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Beryl Colinas-Leon, M. T., y Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254.
- Sánchez, A. S. y Rayo, S. L. (2018). Efecto de un fertilizante a base de mo y co en la reducción del estrés salino en plantas de tomate.[Tesis de grado] Universidad Autónoma de Madrid.
- Santiago, F. J. S. Y., y Naturales, P. (2018). Secado de jugo de jitomate por aspersión con coadyuvantes y antioxidantes naturales para mejorar la retención de compuestos bioactivos. *Repositorio nacional conacyt*
- Seminis. (2018). Tomato bola. Retrieved from <https://www.seminis.mx/los-tres-principales-tipos-de-tomate-en-mexico-y-sus-diferencias/>
- Soca, M., y Daza-Torres, M. C. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.
- Stintzing, F., Herbach, K., Mobhammer, M.R., Carle, R., Yi, W., Sellappa, S., Akoh, C. C., Brunch, R. y Felker, P. (2005). Color, betalains pattern and

antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* ssp) clones. *J. Agr. Food Chem*, 53 (2), 442–451.

- Sung, J., Sonn, Y., Lee, Y., Kang, S., Ha, S., Krishnan, H. B., y Oh, T. K. (2015). Compositional changes of selected amino acids, organic acids, and soluble sugars in the xylem sap of N, P, or K-deficient tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(5), 792–797.
- Tadesse, T. N., Ibrahim, A. M., y Abteu, W. G. (2015). Degradation and formation of fruit color in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in response to storage temperature. *American Journal of Food Technology*, 10(4), 147–157.
- Technology, Shenzhen Meter Time. (2017). CIELab. Recuperado de: <http://meterglobal.com/info-1.html>
- Terrones, A. (2019). Producción De Jitomate En Invernadero En San Juan Tilcuautla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44(1345-2019-3233), 170-183.
- Tierrablanca, B. L. de la C., Pérez-Mendoza; Francisco Chablé Moreno; Davino; López-Ramírez, B. C., y Raya-Pérez,; Juan C. (2019). Parámetros de calidad física del fruto y rendimiento comparativo entre plantas F2 y F4 de jitomate tipo saladette. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 99–106.
- Tilahun, S., Park, D. S., Taye, A. M., y Jeong, C. S. (2017). *Effect of ripening conditions on the physicochemical and antioxidant properties of tomato (Lycopersicon esculentum* Mill.). 26(2), 473–479.
- Tilahun, S., Seo, M. H., y Jeong, C. S. (2017). Review on factors affecting the quality and antioxidant properties of tomatoes. *African Journal of Biotechnology*, 16(32), 1678-1687.
- Tomalá Guartatanga, J. G. (2015). *Capacidad germinativa del genotipo de tomate riñon (Lycopersicon esculentum* Mill.) al estrés salino en diferentes fotoperiodos [Tesis de grado, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena]
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., y Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información tecnológica*, 24(3), 51-56.

- Vaca-Tubón, J. M. (2019). *Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (Fragaria sp.) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (Gallus gallus)* (Bachelor's thesis).
- Vellsam. (2017). Evaluación de Brixtoner en jitomate cherry. Recuperado de: <https://www.vellsam.com/es/blog/brixtoner-y-contenido-azucares-en-tomatecherry>
- Vinha, AF, Barreira, SV, Costa, AS, Alves, RC y Oliveira, MBP (2014). Tomates orgánicos versus tomates convencionales: influencia en parámetros fisicoquímicos, compuestos bioactivos y atributos sensoriales. *Toxicología alimentaria y química*, 67 ( 5 ), 139-144.
- Vrcek, I. V., Samobor, V., Bojic, M., Saric, M. M., Vukobratovic, M., Erhatic, R., y Matotan, Z. (2011). The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, (3), 844-851.
- Waliszewski, K. N., y Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública de México*, 52(3), 254-265.
- Wrolstad, R.E., Durst, R.W. y Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 423–428.
- Xiong, J., Tian, Y., Wang, J., Liu, W., y Chen, Q. (2017). Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient balance, plant growth and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 8(8), 1–9.
- Yeshiwas, Y., Belew, D., y Tolessa, K. (2016). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Yield and Fruit Quality Attributes as Affected by Varieties and Growth Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 12(6), 404–408.
- Zayas, A. A. (2013). Calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización. [Tesis Doctoral] Universidad Politécnica de Madrid.