



**Centro de Investigación en  
Alimentación y Desarrollo, A.C.**

**COMPOSTA COMBINADA CON FIBRA DE COCO EN EL  
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD POSCOSECHA DE  
TOMATE BOLA EN INVERNADERO**

---

Por:

Suhail Alejandra Beltrán Quesney.

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS  
PARA ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Suhail Alejandra Beltrán Quesney, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



---

M.C. Manuel Alonzo Báez Sañudo  
Director de Tesis



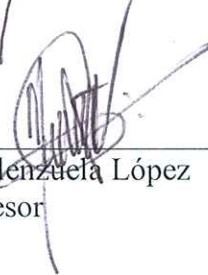
---

Dr. José Benigno Valdez Torres  
Asesor



---

M.C. José Armando Carrillo Fasio  
Asesor



---

Dr. Marino Valenzuela López  
Asesor

## **DECLARACIÓN INSTITUCIONAL**

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.

---

Dr. Pablo Wong González  
Director General

## **AGRADECIMIENTOS**

A CONACYT por el apoyo prestado durante el posgrado.

A CIAD, A.C., por abrirme sus puertas y apoyarme para concluir satisfactoriamente mis estudios de posgrado.

A mi director de tesis, M.C. Manuel Alonzo Báez Sañudo, que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

A mis asesores, Dr. Benigno Valdez, M.C. Armando Carrillo y Dr. Marino Valenzuela, por su dedicación y criterio.

A todas las personas de CIAD, A.C. y al magnífico equipo de profesionales que hay: IBQ. Rosalba Contreras, M.C. Laura Contreras, M.C. Alexis Emus y Dra. Xochitl López, por su atención, amabilidad y tan buena disposición en la colaboración referente a la tesis de maestría.

A Dios, por todas las bendiciones derramadas en mi vida y por ser creador de las personas que más amo.

A mi familia, especialmente a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por el amor recibido, la dedicación, la paciencia y la preocupación por mi avance y desarrollo de ésta tesis.

A mi novio por estar en cada momento y brindar su ayuda incondicionalmente.

A mis amigos, compañeros de maestría y todas las personas que me apoyaron y acompañaron en la realización de esta tesis.

## CONTENIDO

	Página
Agradecimientos .....	iv
Lista de figuras .....	vii
Lista de cuadros.....	viii
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del Problema.....	3
Preguntas de investigación.....	4
Problema de Investigación .....	5
Justificación.....	6
Objetivos .....	7
Objetivo General .....	7
Objetivos Específicos.....	7
Hipótesis.....	8
<b>II. Antecedentes.....</b>	<b>9</b>
Importancia del Tomate .....	9
Horticultura Protegida.....	9
Requerimientos Agronómicos.....	10
Sustrato.....	12
Fibra de Coco .....	13
La Composta como Sustrato .....	14
Efecto de Compostas Combinadas con Sustrato en Cultivos Hortícolas.....	15
Valor de las Compostas como Fertilizante / Abono.....	16
Composición Química y Valor Nutricional del Tomate .....	18
Parámetros de Calidad Poscosecha del Tomate .....	19
Color.....	19
Firmeza.....	22
Sabor .....	23
Sólidos Solubles Totales .....	24
Acidez .....	25
Potencial de Hidrógeno .....	26
Sabor del Tomate .....	26
Análisis Sensorial.....	28
Pruebas afectivas.....	29
<b>III. Materiales y Métodos .....</b>	<b>30</b>
Materiales.....	30
Establecimiento del cultivo .....	30
Métodos.....	30

## CONTENIDO (continuación)

	Página
Análisis de Composta.....	30
Análisis Físicos .....	31
Análisis Químico de la Composta.....	34
Análisis Microbiológico.....	37
Preparación de Combinaciones de Fibra de Coco y Composta .....	39
Trasplante.....	40
Manejo del Cultivo en Invernadero.....	40
Cosecha .....	41
Rendimiento .....	41
Evaluación de Calidad Poscosecha .....	42
Parámetros Físicos .....	42
Parámetros Químicos .....	43
Análisis Sensorial.....	46
Análisis Estadístico .....	47
<b>IV. Resultados y Discusión .....</b>	<b>49</b>
Análisis de Composta.....	49
Características Fisicoquímicas .....	49
Características Microbiológicas .....	50
Producción .....	52
Rendimiento .....	52
Número de Frutos.....	53
Análisis Poscosecha .....	56
Firmeza.....	56
Color.....	58
Sólidos Solubles Totales .....	59
Acidez Titulable .....	61
Relación °Brix/Acidez .....	62
Potencial de Hidrógeno .....	63
Azúcares .....	64
Ácidos orgánicos: cítrico, málico y oxálico.....	66
Análisis sensorial .....	68
<b>Conclusiones .....</b>	<b>71</b>
<b>Literatura Citada .....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama del sistema de notación de color .....	21
Figura 2. Triángulo para la denominación de suelos según la textura. ....	32
Figura 3. Elaboración de combinaciones de fibra de coco y composta .....	40
Figura 4. Escala de colores del fruto de tomate .....	41
Figura 5. Escala de tamaños de frutos de tomate tipo bola. ....	41
Figura 6. Rendimiento promedio de tomate cultivado en diferentes sustratos .....	52
Figura 7. Efectos principales de sustratos .....	55
Figura 8. Interacción entre sustratos y tamaños del número de frutos cosechados. ....	56
Figura 9. Firmeza de fruto de tomate cultivado en diferentes sustratos. ....	57
Figura 10. ° Hue de frutos de tomate cultivados en diferentes sustratos .....	58
Figura 11. Contenido de SST en tomate bola cultivado en diferentes sustratos .....	60
Figura 12. AT (%) en tomate cultivado en diferentes sustratos .....	62
Figura 13. Relación °Brix/Acidez en tomate cultivado en diferentes sustratos .....	62
Figura 14. PH de fruto de tomate cultivado en diferentes sustratos. ....	63
Figura 15. Contenido de azúcares totales en tomate cultivado en diferentes sustratos. ....	65
Figura 16. Contenido de ácido cítrico en tomate cultivado en diferentes sustratos ....	67
Figura 17. Análisis sensorial del fruto de tomate cultivado en diferentes sustratos. ...	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Solución nutritiva y relación de concentraciones para aniones y cationes.....	11
Cuadro 2. Valores de las propiedades de fibra de coco mexicana y rangos óptimos .....	13
Cuadro 3. Composición química del tomate .....	18
Cuadro 4. Relación de parámetros de color de tomate. ....	21
Cuadro 5. Características de los frutos de tomate respecto a la firmeza.....	23
Cuadro 6. Determinación de la carga microbiana fitobenéfica en composta.....	38
Cuadro 7. Clasificación de compostas por su diversidad biológica.....	39
Cuadro 8. Análisis de la composta.....	49
Cuadro 9. Carga microbiana fitobenéfica en la composta .....	51
Cuadro 10. Microorganismos de salud pública de la composta.....	51
Cuadro 11. Análisis de varianza: Peso Vs. Sustrato. ....	52
Cuadro 12. Análisis de varianza: Número de frutos Vs. Sustrato.....	54
Cuadro 13. Análisis de varianza: Firmeza Vs. Sustrato.....	56
Cuadro 14. Análisis de varianza: Color Vs. Sustrato.....	58
Cuadro 15. Valores objetivos de color en frutos de tomate .....	59
Cuadro 16. Análisis de varianza: SST Vs. Sustrato.....	59



## LISTA DE CUADROS (continuación)

Cuadro 17. Análisis de varianza: AT Vs. Sustrato. ....	61
Cuadro 20. Análisis de varianza: pH Vs. Sustrato. ....	63
Cuadro 22. Análisis de varianza: Azúcares totales Vs. Sustrato.....	64
Cuadro 23. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y azúcares totales en tomate ...	65
Cuadro 24. Análisis de varianza: Ácido cítrico Vs. Sustrato. ....	66
Cuadro 25. Contenido de ácido cítrico, málico y oxálico en tomate .....	67
Cuadro 26. Prueba de Kruskal-Wallis: Aceptabilidad Vs. Sustrato.....	68
Cuadro 27. Prueba de medianas de Mood para Aceptabilidad Vs. Sustrato.....	69

## RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) es una de las hortalizas más importantes y consumidas en México y el mundo, siendo su sabor una característica central en la calidad y aceptabilidad del consumidor. En la agricultura protegida se producen las hortalizas utilizando compostas en combinación con sustrato como medio de cultivo, debido a que mejora el medio de crecimiento, aporta nutrimentos y provee una calidad sensorial mayor a la de los frutos cultivados convencionalmente.

En este trabajo se evaluaron combinaciones de composta al 0% (testigo) (S1), 10% (S2), 20% (S3) y 40% (S4) y fibra de coco, sobre el rendimiento y la calidad fisicoquímica y sensorial de frutos de tomate. El experimento se efectuó bajo condiciones de invernadero utilizando la variedad de tomate bola Horus (BHN seeds). Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron: color externo, firmeza, pH, acidez, SST, ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y oxálico) y azúcares individuales (glucosa, fructosa y sacarosa). Sensorialmente se evaluó: dulzor, acidez, firmeza y aceptabilidad general del fruto mediante escalas hedónicas.

Los sustratos con composta obtuvieron un mayor rendimiento comparado con el control; el sustrato con 10% de composta fue el mejor (21.69 kg) produciendo 26.7 % más que el control. Los frutos de tomate cultivados en un 20% de composta tuvieron 13.8% más °Brix que los tomates cultivados solamente en fibra de coco. El contenido de glucosa y fructosa aumentó conforme aumentaba el porcentaje de composta en el sustrato. El sustrato con 20% de composta fue el más aceptado por el consumidor, por lo que se puede concluir que la composta incrementa el contenido de SST y azúcares en el fruto, influyendo positivamente en la preferencia del consumidor. La combinación del sustrato con 20% de composta es una buena alternativa para mejorar la calidad del tomate y la aceptabilidad del consumidor.

**Palabras clave:** Composta, calidad poscosecha, sabor, sensorial.

## ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum*, L.) is one of the most important vegetables consumed in Mexico and worldwide, being its flavor a central feature in the quality and acceptability by consumers. Protected agriculture produce vegetables using compost in combination with substrate such as culture medium, due to improves the growth medium, providing nutrients and better sensory quality than fruits grown conventionally.

In this study, mixtures of compost: 0% (control) (S1), 10% (S2), 20% (S3) and 40% (S4) with coconut fiber as substrate were evaluated on yield and physicochemical and sensory quality of tomato fruits. The experiment was conducted in greenhouse conditions using Horus (BHN seeds) tomato variety. The physicochemical parameters evaluated were: external color, firmness, pH, acidity, TSS, organic acids (citric, malic and oxalic acid) and individual sugars (glucose, fructose and sucrose). The sensory analysis included: sweetness, acidity, firmness and general acceptability of the fruit using hedonic scales.

Substrates with compost had a higher yield compared to control; substrate with 10% of compost was the best (21.69 kg) producing 26.7 % more than control. The tomato fruits grown with 20% of compost had 13.8% more °Brix than the tomatoes grown only in coconut fiber. Glucose and fructose content increased as percentage of compost in the substrate was increased. The substrate with 20% compost was the most accepted by the consumer, so it can be concluded that compost increased TSS content and sugars in tomato fruit, which has a positive influence on consumer preference. The combination of the substrate with 20% compost is a good alternative to improve the quality of tomato and the acceptability by the consumers.

**Key words:** compost, post-harvest quality, flavor, sensory.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importantes de México y una de las hortalizas más consumidas por sus propiedades nutrimentales y su sabor característico. El sabor es uno de los parámetros más importantes de calidad ya que determina la aceptación del consumidor, pues si bien la decisión inicial de compra se basa en la apariencia, las adquisiciones posteriores dependerán principalmente del sabor (Dávila et al., 2015).

En Sinaloa, el tomate es el producto con mayor superficie de siembra protegida (2,276 ha en el ciclo 2014-2015), se le llama agricultura protegida porque los cultivos son desarrollados controlando factores externos como la luz, temperatura, agua y fertilizante; este tipo de agricultura en hortalizas ha tenido un aumento significativo en la última década, ya que comparado con campo abierto, tiene un mayor control sobre el cultivo, aumenta el rendimiento, presenta menor riesgo durante la producción y mayor control de plagas y enfermedades (CAADES, 2015; Sakata, 2016).

Con el incremento en la superficie de siembra protegida, los productores han comenzado a adoptar prácticas en cultivo sin suelo (Inden y Torres, 2005; Grigatti et al., 2007) mediante el uso de sustratos como la fibra de coco, debido al manejo más controlado de la nutrición del cultivo mediante la adición de soluciones nutritivas durante el riego, evitando así, el contacto con fitopatógenos del suelo (Castellanos y Vargas, 2009; Castellanos y Ojodeagua, 2009). Además de los nutrientes que aporta la solución nutritiva, el sustrato de fibra de coco y composta, entre otros, mejora el rendimiento y la calidad del cultivo (Azarmi et al., 2008; Herrera et al., 2008; Singh et al., 2008; Azarmi et al., 2009; Zoran et al., 2014).

Las compostas varían en su composición de acuerdo a las materias primas de las cuales son elaboradas (Cruz et al., 2012). La composta hecha a base de estiércol y restos de plantas es de alta calidad (alto contenido de materia orgánica y nitrógeno) y puede ser utilizada con fines hortícolas, dando resultados favorables sobre el crecimiento y el rendimiento de diversas especies, además de proveer una calidad sensorial mayor a la de los cultivados convencionalmente (Pujolà y Jiménez, 1985; Raviv et al., 2004).

En esta investigación, el objetivo fue determinar la mejor combinación de fibra de coco y composta que maximice el rendimiento y la calidad del fruto a través de las propiedades físicas, químicas y sensoriales.

## Planteamiento del Problema

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo y producción en Sinaloa, pero su cultivo a campo abierto hace que se tenga un mayor riesgo en la producción debido a las condiciones climatológicas y a la alta incidencia de fitopatógenos. Una opción es el establecimiento del cultivo en condiciones protegidas, debido a que permite un mejor control del cultivo y minimiza los posibles daños ocasionados por desastres climatológicos como las heladas. Por otro lado, si se utiliza el suelo como medio de cultivo, la planta tiene un mayor contacto con los fitopatógenos del suelo y se tiene un menor aprovechamiento del terreno.

Una buena alternativa para los productores es el uso de un sustrato como la fibra de coco, entre otros, que permite un mayor aprovechamiento del terreno, un manejo más controlado del cultivo y evita el contacto con fitopatógenos del suelo. Además, con la adición de composta, se tiene una mejor asimilación de los nutrimentos y como resultado, un producto con mayor calidad. El uso de la combinación de fibra de coco y composta es una opción para obtener mayores rendimientos y ofrecer un producto de mayor calidad fisicoquímica y sensorial a los consumidores.

## Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es el efecto de utilizar diferentes proporciones de fibra de coco y composta sobre el rendimiento de tomate?
2. ¿Cuál es el efecto de utilizar diferentes proporciones de fibra de coco y composta en la calidad física y química de los frutos de tomate?
3. ¿Cuál será la aceptabilidad organoléptica de los tomates cultivados en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta?

## Problema de Investigación

Esta investigación fue de tipo experimental y se realizó en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A.C.) Unidad Culiacán. En el estudio se evaluó el efecto de diferentes combinaciones de fibra de coco y composta sobre la calidad física, química y sensorial del tomate bola en invernadero.

Se utilizaron cuatro combinaciones de sustratos: 100% fibra de coco (control); 90% fibra de coco y 10% composta; 80% fibra de coco y 20% composta; 60% fibra de coco y 40% composta, formando veinte conjuntos de tres bolsas por cada sustrato, cada conjunto de tres bolsas contenía 6 plantas, es decir, 120 plantas por cada sustrato. El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en el invernadero de dicha unidad, de Octubre del 2015 a Marzo del 2016.



## Justificación

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos de mayor demanda y producción a nivel mundial, además, es la hortaliza con mayor superficie de siembra bajo invernadero en Sinaloa (318 ha, 47% de la superficie de siembra bajo invernadero). El cultivo de tomate en invernadero va en aumento, y esto se debe a que su cultivo a campo abierto genera un menor rendimiento y un mayor riesgo de producción, en invernadero se obtiene un rendimiento hasta 3 veces mayor al de campo abierto.

Por otra parte, en la horticultura protegida se están implementando nuevas prácticas que sustituyen el cultivo tradicional en suelo por el cultivo en sustrato, logrando un manejo más controlado de la nutrición del cultivo, evitando el contacto con patógenos del suelo y aprovechando cualquier tipo de terreno. Además de los beneficios del cultivo sin suelo, el cultivo en combinación de fibra de coco y composta incrementa el rendimiento y provee una calidad sensorial mayor que en los cultivos convencionales, convirtiéndose en una alternativa económica, ya que genera una mayor producción del cultivo y ofrece un producto de mayor calidad al consumidor.

## Objetivos

### **Objetivo General**

Determinar el sustrato (combinación de fibra de coco y composta) que mejore rendimiento y la calidad (física, química y sensorial) del fruto de tomate.

### **Objetivos Específicos**

1. Determinar el rendimiento del tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta.
2. Determinar las características de calidad física (color y firmeza) del tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta.
3. Analizar las características de calidad química (pH, sólidos solubles totales, fructosa, sacarosa, glucosa, ácido cítrico, ácido málico y ácido oxálico) del tomate cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta.
4. Evaluar la aceptabilidad por el consumidor de tomates cultivados en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta.

## Hipótesis

1. El tomate cultivado en proporciones iguales o menores al 20% de composta, tiene un rendimiento mayor al tomate cultivado sólo en fibra de coco.
2. Los frutos de tomate cultivados en combinaciones de fibra de coco y composta son de igual o mejor calidad física y química que los frutos cultivados sólo en fibra de coco.
3. Los frutos de tomate cultivados en combinaciones de fibra de coco y composta, tienen mejor aceptación por el consumidor que los tomates cultivados sólo con fibra de coco.

## **ANTECEDENTES**

### **Importancia del Tomate**

De acuerdo a estimaciones de la FAO, el tomate es la hortaliza más cultivada en el mundo, alcanzando 4.7 millones de hectáreas en el año 2011, con una producción de 159 millones de toneladas. A nivel mundial, el tomate ocupa el primer lugar tanto en superficie como en volumen de producción de hortalizas (Flaño, 2013).

En Sinaloa, la superficie sembrada de hortalizas en la temporada 2014-2015, fue de 47,275 hectáreas, de las cuáles 10,078 hectáreas fueron destinadas al tomate. Además, el tomate es la hortaliza de mayor exportación (en base a la temporada 2014-2015) con 307,108 T (CAADES, 2015).

En la última década, la superficie de siembra protegida en Sinaloa ha ido en aumento, siendo el tomate tipo bola el cultivo con mayor superficie de siembra en invernadero con 227 hectáreas (CAADES, 2015).

### **Horticultura Protegida**

La horticultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello, un alto rendimiento (Sánchez, 2008).

México ocupa el séptimo lugar en superficie total de agricultura protegida en el mundo, teniendo una superficie total de 21,531 ha (AMHPAC, 2016). En el 2001, México contaba con 11,759 ha de agricultura protegida, mientras que en el año 2001 la cifra era de 1,299 ha, con lo que se puede ver el incremento de éste tipo de agricultura (Perea, 2010).

Sinaloa es el estado con mayor superficie de siembra en condiciones protegidas en México con 4,743.72 ha. La producción de hortalizas bajo agricultura protegida se ha desarrollado durante la última década, en la temporada 2005-2006 se sembraron 1,296 ha en condiciones protegidas, mientras que en la temporada 2014-2015 se tuvo un total de 6,172 ha, teniendo un aumento del 376%, es decir 4,876 ha. Del total de la superficie protegida en la temporada 2014-2015, 2,604 ha fueron de tomate, y de estas, 1,110 ha de tomate bola. La superficie de siembra de tomate bajo invernadero en esta temporada fue de 318 ha, de las cuales 227 ha fueron de tomate bola (CAADES, 2016).

### Requerimientos Agronómicos

Para una cosecha de alto rendimiento, el cultivo de tomate requiere la combinación de una variedad con alto potencial de rendimiento y de condiciones ambientales como son la iluminación, temperatura, nutrición mineral, suministro de agua y concentración de CO<sub>2</sub> propicias para su desarrollo y fructificación (Nuez, 2001) y prácticas de manejo adecuadas (poda, guiado, riego, etc.). En campo abierto es muy poco probable modificar alguno de los factores antes mencionados, los invernaderos presentan mayores posibilidades de control y optimización de dichos factores de producción (Alpi y Tognoni, 1999; Nuez 2001; Resh, 1997; FAO, 1990), ya que su función es modificar total o parcialmente aquellas condiciones de clima que son adversas, y si además se aplica agua y fertilizantes de acuerdo al estado de desarrollo de las plantas, esto se traduce en incrementos significativos de producción, tanto en cantidad como en calidad (Espinosa, 2004).

Respecto al suministro de nutrientes, el tomate requiere de una nutrición balanceada para lograr un óptimo crecimiento y producción de frutos de tamaño deseable (Peet, 1996) conocida como solución nutritiva, ésta solución contiene mayormente nitratos y sulfatos (Cuadro 1). Una solución nutritiva es una mezcla de elementos nutritivos a una concentración y relaciones elementales, de tal forma que favorecen la absorción nutrimental por el cultivo (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

Una solución nutritiva contiene nutrientes que se clasifican según su carga eléctrica; Los aniones son el fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), mientras que los cationes son el potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

En 1961, Steiner propuso el concepto de una solución nutritiva universal, indicando que las plantas podían crecer bien, siguiendo los porcentajes equivalentes de aniones y cationes (expresados en meq/L) (Cuadro 1) (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

Cuadro 1. Solución nutritiva y relación de concentraciones ( $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ) para aniones y cationes según Steiner.

Elemento/Compuesto	meq/L	%
$\text{NO}_3^-$	12	60
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	1	5
$\text{SO}_4^{=}$	7	35
$\text{Ca}^{++}$	9	45
$\text{K}^+$	7	35
$\text{Mg}^{++}$	4	20

La propuesta de Steiner considera 4 puntos fundamentales: proporción relativa de aniones, proporción relativa de cationes, concentración iónica total y un pH entre 5.5 y 6.2 (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

## Sustrato

El término sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido, natural o de síntesis, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor o bolsa, en forma pura o en mezcla, permite el desarrollo del sistema radical y el crecimiento del cultivo y puede intervenir o no en la nutrición de la planta (Abad y Noguera, 1998; Castellanos y Vargas, 2009).

Algunas de las razones por las que se ha sustituido el cultivo tradicional en suelo por el cultivo en sustrato es porque se tiene un manejo más controlado de la nutrición del cultivo, se evitan las interacciones que se presentan entre los elementos en el suelo, también se evita el contacto con los fitopatógenos del suelo, reduciendo el impacto de estos sobre la sanidad del cultivo; además, se puede aprovechar cualquier tipo de terreno, independientemente de su fertilidad o de otras limitantes como salinidad o presencia de fases líticas o pedregosas del mismo, el uso de sustratos también facilita el transporte de las plantas, ya que se encuentran en bolsas o macetas (Castellanos y Vargas, 2009).

En estudios realizados sobre el efecto del uso cultivo sin suelo en la calidad del fruto se ha comprobado que existe relación entre la técnica de cultivo empleada (cultivo en suelo y sin suelo) y las variables sensoriales aroma, sabor y harinosidad. Los tomates en cultivo sin suelo son más aromáticos y sabrosos que los cultivados en suelo, por lo que se concluye que el cultivo sin suelo es más apropiado, pudiéndose deber al mayor control sobre el cultivo. Resultados del análisis sensorial indican que la técnica de cultivo influye más en la composición química que en la textura (Arana et al., 2007).

Mendoza (2005) desarrolló un estudio para determinar las diferencias de calidad del cultivo de tomate, por diferentes técnicas de siembra, donde se encontró diferencia significativa en el contenido de fibra, sodio, zinc y °Brix entre los tomates cultivados en sustrato y convencionalmente, siendo el cultivo en sustrato el mejor.

Los sustratos orgánicos presentan dos características relacionadas con su uso que son: la fitotoxicidad y la bioestabilidad (Lemaire, 1997). La bioestabilidad de los sustratos orgánicos se refiere a su resistencia a la descomposición por la acción microbiana. Una baja bioestabilidad provoca deficiencias de oxígeno y nitrógeno, además de liberar sustancias fitotóxicas, bajo contenido de aire, etc., por lo que es necesario buscar materiales con una alta bioestabilidad, como lo es la fibra de coco. La fibra de coco es uno de los sustratos orgánicos con mayor bioestabilidad (Cuadro 2) (Castellanos y Vargas, 2009).

### **Fibra de Coco**

La fibra de coco es un subproducto de la industria coprera que se genera del mesocarpo fibroso del coco (Castellanos y Vargas, 2009). Es un sustrato muy prometedor para la horticultura protegida en México, dado su bajo costo, facilidad de manejo, sanidad y excelente respuesta agronómica que ha mostrado en los cultivos en que se ha evaluado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de las propiedades de fibra de coco mexicana y rangos óptimos (Vargas et al., 2007).

Propiedad	Valor	Rango
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	00.09	00.07 a 00.10
Capacidad de retención de agua (%)	63.00	50.00 a 75.00
Capacidad de aireación (%)	32.00	20.00 a 52.00
Agua fácilmente disponible (%)	25.00	18.00 a 28.00
Agua difícilmente disponible (%)	25.00	18.00 a 35.00
Agua de reserva	07.00	03.00 a 13.00

Los datos indicados en el recuadro son valores medios.

En cuanto a las propiedades químicas, en condiciones vírgenes, la fibra de coco contiene una alta salinidad que puede ir de 3 a 6 dS/m en el extracto saturado. Esta



salinidad corresponde principalmente a cloruro de potasio y de sodio, la cual puede ser eliminada antes de la plantación. Por otro lado, la fibra de coco presenta una capacidad de intercambio catiónico de 40 a 53 meq/100 g, siendo un material muy estable, pues puede durar hasta 3 años en explotación (Castellanos y Vargas, 2009).

### La Composta como Sustrato

La composta es la mezcla de materiales orgánicos, que pasan por un proceso de degradación y descomposición hasta la obtención del producto final, utilizado para fertilizar y enriquecer los cultivos. La fabricación de la composta implica la fermentación aerobia controlada de una mezcla de materia orgánica y cantidades de estiércol, tierra o rocas naturales trituradas (Pujolà y Jiménez, 1985). El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado en el que intervienen microorganismos que requieren humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en su composición, pero homogéneos en su tamaño. Al final de una fase termófila se obtienen nutrientes y materia orgánica estabilizada e higiénica, rica en poblaciones microbianas benéficas para la planta, ácidos húmicos y fúlvicos y bioactivadores de la fisiología vegetal (Capistrán et al., 2001).

En la elaboración de composta, dos aspectos importantes son realizar la mezcla correcta, colocando las proporciones convenientes, y tener un manejo adecuado, es decir, la buena homogenización de los materiales, la aireación frecuente y el mantenimiento de la humedad entre el 40 y 60% (Labrador y Guiberteau, 1991).

Los beneficios de la composta son diversos: Mejora las características de los suelos (fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio), mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana. La composta también se utiliza como sustrato para cultivos en invernadero ya que no contamina al ambiente (Nieto et al., 2002; Rodríguez et al., 2008).

## Efecto de Compostas Combinadas con Sustrato en Cultivos Hortícolas

El uso de sustratos orgánicos ha cobrado gran importancia, desde el punto de vista económico, su uso se ha fomentado por la agricultura orgánica, ya que es una respuesta a la mejora en las prácticas agrícolas (Nieto et al., 2002). Dentro de los sustratos orgánicos sobresale la fibra de coco ya que además de su bajo costo, ha tenido buena respuesta agronómica en los diferentes cultivos que se ha probado.

La incorporación de composta en el medio de cultivo incrementa el aporte la materia orgánica haciendo que los nutrientes se liberen lentamente y se tenga una mejor asimilación manteniendo su fertilidad. Hay estudios donde evalúan el efecto de las compostas en plantas regadas con soluciones nutritivas, por ejemplo Ehret et al. (2009) observaron que las plantas cultivadas en composta y adicionadas con bajas concentraciones de fertilizante tienen un rendimiento mayor al de un cultivo convencional.

El empleo de sustratos orgánicos, como la fibra de coco, combinados con enmiendas orgánicas como la composta, ha dado diversas respuestas en la producción de tomate en invernadero. Raviv et al. (2004) señalan que los nutrimentos contenidos en la composta satisfacen los requerimientos del tomate en los dos primeros meses después del trasplante; así mismo, Raviv (2005) menciona que en tomate, la composta llega a cubrir los requerimientos durante cuatro meses después del trasplante.

En los últimos años se han realizado trabajos con el fin de evaluar el efecto de las compostas combinadas con material orgánico en el rendimiento y calidad de frutas y hortalizas. Estudios sobre la adición de composta a medios inertes en diferentes proporciones demuestran el aumento en el rendimiento, donde las proporciones menores al 50% de composta son las mejores, lo que indica que no siempre la mayor cantidad de composta es la mejor (Márquez et al., 2006). De la misma manera, Ortega-Martínez et al. (2010) y Maynard (1995) reportan mayor rendimiento en plantas de tomate tratadas con composta que de manera convencional.

De la Cruz (2009) evaluó tres mezclas de composta con arena para la obtención de un sustrato que garantizara buenos rendimientos y calidad del tomate bajo condiciones de invernadero. La mezcla más sobresaliente fue la de 75% de composta más arena con un rendimiento de 39.811 t·ha<sup>-1</sup>. Las compostas utilizadas en este estudio favorecieron el desarrollo de tomate en invernadero, lo que se atribuyó al contenido de sus elementos nutritivos.

### **Valor de las Compostas como Fertilizante / Abono.**

Las características de la composta varían según los materiales orgánicos utilizados, la duración y naturaleza del proceso. La combinación de estos factores resulta en un amplio rango de características físicas, químicas, y propiedades biológicas, lo que determina la calidad del producto final. Este amplio rango de características le permite a la composta ser utilizada como un mejorador de suelos (Raviv, 2005).

Para una producción de composta de alta calidad, con el fin de usarla en la producción de hortalizas, es necesario contar con materia prima rica en materia orgánica y N; además, el proceso de compostaje debe disminuir al máximo la pérdida de materia orgánica y N. La materia prima más adecuada para este propósito incluye estiércol animal, restos de animales, lodos de aguas residuales y restos de plantas (Raviv et al., 2004).

Los científicos agrícolas han reconocido los beneficios de la materia orgánica humificada para la productividad de los cultivos. Es fuente importante de micro y macro nutrientes, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). El fósforo orgánico en los suelos ácidos, ayuda a la estabilización de la acidez del suelo, actúa como agente quelante del aluminio y otros micro nutrientes, al prevenir su lixiviación y evitar la toxicidad de los mismos, regula los fenómenos de adsorción de plaguicidas, aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo, mejora la cohesión y estabilidad de los agregados del suelo, disminuye la densidad aparente, aumenta la capacidad del suelo

para retener agua, es fuente energética para los microorganismos por sus compuestos de carbono y estimula el desarrollo radicular y la actividad de los macro y microorganismos del suelo (Cambardella y Elliott, 1994).

Uno de los procesos fundamentales dentro de la descomposición de la materia orgánica es la mineralización, la cual es definida por Duchaufour (1984) como la formación de compuestos, en general solubles (nitratos, fosfatos, etc.) o gases ( $\text{CO}_2$ ), por la acción enzimática de microorganismos. Gracias a este proceso, la materia orgánica contribuye al aumento de la fertilidad de suelos, ya que aporta principalmente nitrógeno, fósforo y azufre, los que son transformados a moléculas inorgánicas de constitución más simple y de esta forma son aprovechados por las plantas.

El valor de la composta como abono depende de la cantidad de nutrientes y de su grado de descomposición o madurez. Es mejor utilizar compostas frescas, es decir con poco almacenamiento, ya que el almacenamiento puede afectar su estabilidad y madurez. La estabilidad y la madurez de la composta son indicadores del grado de descomposición de materia orgánica, esto es relevante para la mineralización, ya que un residuo poco descompuesto tiende a mineralizarse a corto plazo, mientras que una composta madura tiende a mineralizarse a menor velocidad, convirtiéndose en una fuente a largo plazo. El conocer la velocidad con que se mineraliza la materia orgánica es un factor determinante para sincronizar las aplicaciones de abonos orgánicos con las demandas de las plantas (Wu et al., 2001). La mineralización rápida puede ser benéfica si coincide con una alta demanda del cultivo por nutrientes; sin embargo, la aplicación de un material que aporte sus nutrientes a una velocidad más lenta puede ofrecer ventajas como menor pérdida por lixiviación, volatilización y una fuente de nutrientes a largo plazo.

Al considerar la composta como un abono, es importante mencionar que la disponibilidad de nutrientes va a variar en función del tipo de composta, de la materia prima utilizada, el método de compostaje y el grado de madurez del producto final (Wu et al., 2001; Raviv, 2005).

## Composición Química y Valor Nutricional del Tomate

El tomate contiene cerca del 94% de agua. Su sabor se atribuye principalmente al contenido de glucosa, fructosa y ácido cítrico. Los azúcares reductores, fructosa y glucosa, representan cerca del 50% de la materia seca y más del 95% de los azúcares (Nuez, 1995). Además, éste fruto tiene un alto contenido de vitamina C y minerales (principalmente potasio) (Cuadro 3). Sin embargo, el contenido en agua como en los otros componentes, depende de la variedad, nutrición, condiciones de cultivo, etc. (Nuez, 2001).

Cuadro 3. Composición química del tomate (Madhavi y Salunkhe, 1998).

CONSTITUYENTE	CONTENIDO
Energía (kJ)	56.00
Constituyentes mayoritarios (g)	
Agua	94.70
Proteína	1.00
Grasa	0.10
Fibra dietética	1.60
Carbohidratos (g)	
Glucosa	0.90
Fructosa	1.00
Sacarosa	0.00
Almidón	0.00
Ácidos orgánicos (g)	
Cítrico	0.43
Málico	0.08
Oxálico	0.00
Otros	0.00
Vitaminas y carotenoides (mg)	

Vitamina C	18.00
Tiamina	0.04
Riboflavina	0.02
Acido Nicotínico	0.70
B-caroteno (equivalente)	0.34
Licopeno	3.14
<hr/>	
Minerales (mg)	
Potasio	200.00
Sodio	6.00
Calcio	8.00
Magnesio	10.00
Hierro	0.30
Zinc	0.20

### Parámetros de Calidad Poscosecha del Tomate

La calidad del fruto del tomate está determinada por su apariencia (color, tamaño, forma y ausencia de desórdenes fisiológicos), propiedades físicas (firmeza, textura, materia seca), sensoriales (sabor) y nutracéuticas (vitaminas y carotenoides) (López et al., 2011; Papadopoulos, 1987).

#### **Color**

El color es una de las características más importantes en la calidad del tomate, ya que los consumidores lo consideran como un indicativo de la calidad gustativa. El color es afectado por condiciones ambientales, bajas temperaturas tienden a reducir la síntesis de licopeno y temperaturas superiores a 30 °C pueden inhibir la producción de este compuesto. (Davies y Hobson, 1981).

La percepción del color depende del tipo (fluorescente o incandescente) e intensidad de luz (número de watts), las características físicas y químicas del producto y la habilidad de la persona para caracterizarlo. La evaluación del color puede ser subjetiva u objetiva (Cantwell, 1998). La determinación objetiva se puede medir mediante el uso de equipos espectrofotométricos, en los frutos de tomate se realiza estableciendo las coordenadas con °Hue, Croma y L, con equipos portátiles.

Tono o color verdadero (°Hue). Dentro de la rueda de color (Figura 1), se indica si el fruto es verde, amarillo o rojo, o el grado que representa dicha coloración. El tono se define como  $\arctan^{-1} b/a$ , un ángulo de 0° es un color rojo, un ángulo de 90°, a un color amarillo, 180° (-90°) representa un color verde y 270° (-180°) indica un color azul (Minolta, 1994). Los valores de °Hue de la cáscara de frutos de tomate disminuyen a medida que avanza la maduración.

Pureza del color (Croma). Representa el grado de saturación de un color específico, se obtiene como  $(a^2+b^2)^{1/2}$ . Los valores bajos implican colores grisáceos (con menor pureza del color), mientras que valores altos representan mayor saturación del color, traducido como colores puros (Figura 1).

Luminosidad (L). Indica la claridad del color. Este parámetro se representa dentro de una esfera de color en el eje vertical, cuyos valores van de 0 a 100. Los valores altos indican colores luminosos o claros, mientras que los valores cercanos a cero indican los colores más oscuros o negros.

Siller y Báez (2009) establecieron una relación de los valores objetivos de color en diferentes estados de madurez, asignándole al color rojo: 45.8 °Hue, 36.27 croma, 40.74 de luminosidad, 23.90 de valor “a” y 27.29 de valor “b”.

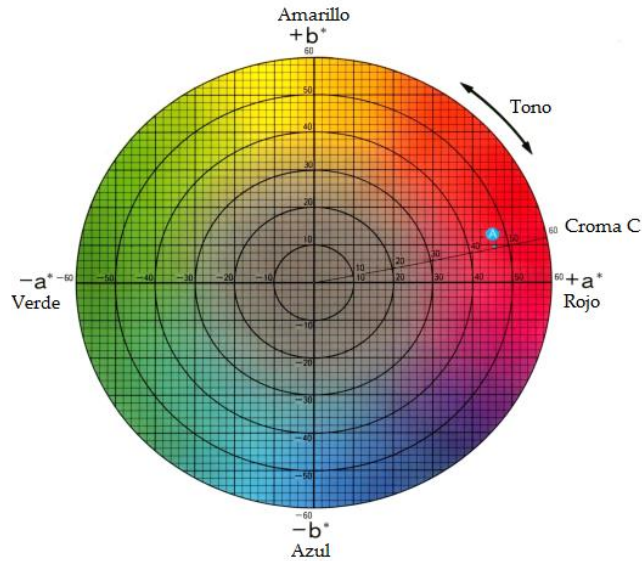


Figura 1. Diagrama del sistema de notación de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Cromaticidad y ángulo matiz ( $^{\circ}$ Hue).

Los valores del ángulo de matiz de la cáscara ( $^{\circ}$ Hue) de frutos de tomate disminuyen a medida que avanza la maduración (Cuadro 4). Cuando los frutos alcanzan una coloración roja (color 6), presentan diferencias marcadas entre variedades en sus tonalidades o colores verdaderos. Las variedades que sobresalen por su alto color rojo tienen valores por debajo de  $40^{\circ}$ Hue y las variedades con menor tono (tonalidades rojizo-naranja) presentan valores por encima de  $45^{\circ}$ Hue (Báez et al., 2001). Siller y Báez (2009) establecen la relación de color con los estados de madurez del fruto de tomate (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación de parámetros de color ( $^{\circ}$ Hue, croma y luminosidad) con estados de madurez de tomate.

Estados de madurez	$^{\circ}$ Hue	Croma	Luminosidad	Valor “a”	Valor “b”
1.Verde maduro	117.70	24.23	52.45	-11.26	21.45
2.Estrella	107.20	26.47	54.91	-7.83	25.29
3.Rayado	98.60	22.29	55.81	-3.33	22.05
4.Rosa	73.60	30.44	52.55	8.60	29.21
5.Rojo claro	60.40	31.65	50.62	13.19	28.78
6.Rojo	45.80	36.27	40.74	23.90	27.29



## **Firmeza**

Después de la apariencia visual, el factor más importante es la firmeza, la cual está estrechamente asociada con el estado de madurez. A medida que van alcanzando la madurez fisiológica, los tomates se van ablandando por disolución de la lámina media de sus paredes celulares. Este ablandamiento puede valorarse subjetivamente mediante la presión ejercida por los dedos, pero también puede medirse objetivamente obteniendo una expresión numérica (Newton, kg, lb, etc.) de su firmeza mediante un penetrómetro o un medidor de presión. (Bourne, 1980). A medida que se reduce la fuerza, la fruta está más blanda y es penetrada más fácilmente (Siller y Báez, 2011).

Los valores de firmeza en los frutos de tomate son diferentes entre variedades. En la etapa de madurez 6 (color rojo), los frutos con valores de firmeza superiores a 11 N se consideran muy firmes y como consecuencia, tienen un periodo mayor de vida de anaquel. No son recomendables variedades que presenten valores inferiores a 9 N en madurez 6. Valores entre 8 y 10 N se relacionan con fruta blanda con poca calidad para comercialización (Kader et al., 1978; Siller y Báez, 2011) aunque si para consumo.

Kader (1993) indica que el valor mínimo permisible para que el fruto de tomate sea aceptado a nivel comercial es de 8.0 N. Ojeda et al. (1995) reportan que los frutos de tomate con valores de firmeza inferiores a 5 N son comercialmente inaceptables. Ojeda (2003) midió la firmeza del tomate cultivado en sustratos con diferentes dosis de composta y no encontró diferencias significativas entre sustratos.

Los tomates se clasifican de acuerdo a su firmeza analizando los frutos desde muy firmes a muy blandos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características de los frutos de tomate respecto a la firmeza (Cantwell, 2004).

Clasificación	Descripción	mm de compresión
Muy firme	El fruto cede solo levemente a una presión considerable	> 25
Firme	El fruto cede levemente a una presión moderada	18-25
Moderadamente firme	El fruto cede un poco ante una moderada presión de los dedos.	15-18
Moderadamente blando	El fruto cede fácilmente a una moderada presión de los dedos.	12-15
Blando	El fruto cede fácilmente a una suave presión de los dedos.	8-12
Muy blando	El fruto cede muy fácilmente a una suave presión de los dedos.	< 8

### Sabor

El sabor es la impresión que causa un alimento u otra sustancia, y está determinado principalmente por sensaciones químicas detectadas por el gusto (lengua) así como por el olfato (olor). El sabor del tomate se atribuye principalmente a los ácidos orgánicos (cítrico y málico), a los azúcares (fructosa y glucosa) y a los compuestos volátiles responsables del aroma. Los frutos con alta concentración de azúcar y relativamente alta acidez son los de mejor sabor, mientras que los de bajo contenido de ambos parámetros resultan de escaso sabor. El desarrollo de material gelatinoso en los lóculos del fruto

(cavidades internas donde se alojan las semillas) es importante para un buen desarrollo de esta característica (Nuez, 2001).

### **Sólidos Solubles Totales**

Los azúcares son los principales constituyentes de los sólidos solubles totales (SST) presentes en el jugo de una fruta, por esto, se utilizan como un estimador del contenido de azúcar, aunque también lo constituyen los ácidos orgánicos, los aminoácidos y las pectinas solubles. La glucosa y fructosa son los azúcares que predominan en el sabor de los tomates (Wills et al., 1998).

La concentración de los sólidos solubles en el jugo de las frutas puede ser medida con un refractómetro, esta medición se basa en la propiedad de los líquidos para detener o refractar la luz, proporcional a la concentración de solutos disueltos o en suspensión. En tomates, el sabor también está determinado en gran parte por la variedad, las condiciones climatológicas, las técnicas de cultivo y el manejo poscosecha de los frutos, ya que las condiciones inadecuadas de almacenamiento inducen a un estrés en el fruto que se manifiesta en un aumento de la actividad metabólica y del consumo de reservas, como son algunos sólidos solubles (Wills et al., 1998).

El contenido de SST, expresado como grados Brix, presenta valores alrededor de 4.0-4.5 cuando los frutos de tomate alcanzan la madurez roja o color 6 (Wills et al. 1998).

Araiza et al. (1997) reportan valores de 3.6 a 5.7 °Brix para frutos de tomate. Wills et al. (1998) establecen que valores superiores a 4-5 °Brix pertenecen a frutos que se catalogan con un buen sabor, mientras que contenidos por debajo de 4.0 °Brix son relacionados con frutos de calidad no aceptable.

## Acidez

El contenido de ácidos en la fruta cambia según la madurez y afecta considerablemente el sabor. La concentración de ácidos orgánicos puede ser medida por una simple titulación química del jugo de la fruta. En el tomate, el sabor es afectado por la proporción que guardan las concentraciones de azúcares y ácidos (Siller y Báez, 2009).

Los ácidos orgánicos de las frutas, generalmente disminuyen durante el almacenaje y la maduración (AOAC, 1998). Cuando los frutos de tomate están maduros o en coloración roja, la concentración de ácido se encuentra entre 0.2 y 0.3%, existiendo diferencias entre variedades y tipos (Siller y Báez, 2009). Los ácidos pueden ser considerados como una reserva más de la fruta, por lo que el contenido desciende en el período de máxima actividad metabólica durante el curso de la maduración. Similarmente, el pH del extracto de la fruta es un modo de expresar la acidez de la misma. Este valor representa la presencia de grupos ácidos incluyendo ácidos orgánicos, fenoles y aminoácidos. Sin embargo, en las frutas, normalmente se considera que los ácidos orgánicos proporcionan la mayor parte de los iones hidrógeno, por lo que durante la maduración, a medida que la acidez desciende, el valor del pH aumenta de 4.0 a 4.5. En particular, cabe destacar que los tomates producen ácido cítrico (Wills et al., 1998).

La acidez del tomate depende en gran medida de la variedad, los valores más altos de acidez se presentan durante la maduración con la aparición del color rosado, para después reducirse progresivamente (Nuez, 2001).

Los ácidos orgánicos se pueden medir individualmente por HPLC, por medio de la acidez titulable (AT) o por pH. Muchas veces la relación de SS/AT, o pH se relaciona más a la percepción de acidez que la AT por si misma (Baldwin et al., 2007).

## Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) de la fruta es el modo de expresar la acidez. Este valor representa la presencia de grupos ácidos incluyendo ácidos orgánicos, fenoles y aminoácidos. Sin embargo, en los frutos se considera que los ácidos orgánicos proporcionan la mayor parte de los iones hidrógeno. Generalmente, durante la maduración, a medida que disminuye la acidez el pH aumenta (Wills et al., 1998). De igual forma, Mendoza (1996), reporta un pH de 4.03 a 3.83 en híbridos de tomate y un pH del tomate maduro de 4.0 a 3.9 en frutos normales.

## Sabor del Tomate

El tomate es uno de los componentes más importantes en la dieta humana, especialmente por su consumo en fresco (Willcox et al., 2003). El sabor del tomate está definido por los azúcares (fructosa y glucosa), aminoácidos libres (glutamato), ácidos orgánicos (ácido cítrico) y compuestos volátiles que proporcionan su aroma (Dávila et al., 2011).

El sabor característico del tomate está dado por la interacción entre ácidos orgánicos, azúcares y compuestos volátiles. Los ácidos orgánicos y azúcares se perciben mediante el sentido del gusto, donde son disueltos en la saliva e interactúan con los receptores del gusto (microvellosidades) al causar cambios eléctricos en las células y enviar señales al cerebro donde se transformarán para desencadenar una sensación de sabor (Dávila et al., 2011). Los azúcares que contribuyen al sabor son la glucosa, fructosa, sacarosa y en raros casos, el sorbitol. De estos azúcares, la fructosa es la que se percibe con mayor dulzor, seguida de la sacarosa y después la glucosa. La suma de estos tres azúcares varía dependiendo el fruto. Los azúcares son comúnmente vistos como un sinónimo de sólidos solubles, donde se pueden medir

fácilmente mediante un refractómetro. El contenido de tomate maduro establecido por la USDA (2005) es de 1.25 g de glucosa y 1.37 g de fructosa por cada 100 g.

A pesar de que la mayoría de las veces los sólidos solubles son relacionados con el dulzor, no siempre es el caso (Baldwin et al., 2007), en el tomate, la relación no es lineal (Baldwin et al., 1995). La mayoría de los ácidos orgánicos en frutas y hortalizas incluyen al ácido cítrico, málico, tartárico y oxálico. Se ha establecido la importancia que tiene el contenido de azúcares y su relación con los ácidos sobre la intensidad de sabor (Cebolla et. al., 2006). El pH y la acidez titulable son buenas medidas de los ácidos libres y la concentración de iones H, responsables del sabor agrio o acidez de una solución, sin embargo, el contenido de sólidos solubles, azúcares y acidez titulable contribuyen fuertemente a la intensidad del sabor en general (Gómez-Morales, 2012).

Según Osvald et al. (2001), una adecuada intensidad del sabor en los frutos de tomate se logra cuando el tomate posee valores de sólidos solubles entre 4.80 y 6.60 °Brix, una relación glucosa/fructosa entre 0.70 y 0.95 y una relación de ácido cítrico/málico entre 2.96 y 6.50.

Las concentraciones de azúcares difieren de los distintos tipos de frutas y vegetales. Por ejemplo, el tomate tiene cantidades muy similares de glucosa y fructosa y sólo contiene niveles de sacarosa cuando madura. De la misma manera, las concentraciones de ácidos y su relación difieren del producto (Baldwin et al., 2007). Los principales azúcares reductores (glucosa, fructosa y en cierto grado sacarosa) y los ácidos orgánicos (cítrico y málico) del tomate, han probado contribuir a la acidez y dulzor y son factores importantes en la intensidad del sabor, a la vez que son los compuestos más abundantes (Gómez-Morales, 2012). También puede influir el efecto que tenga el sistema de producción empleado sobre ciertas variedades, como lo muestra el estudio de Ordoñez-Santos (2006), dónde se analizó el contenido de fructosa y glucosa en diferentes variedades de tomate, en sistemas de producción diferentes (convencional y orgánico). En cuanto al contenido de fructosa, sólo en dos variedades los frutos de origen orgánico superaron a los convencionales, sin embargo, en una variedad el contenido de fructosa

fue similar en ambos sistemas de producción, lo que indica que el sistema de producción sólo afecta a algunas variedades. El contenido de glucosa fue superior en los frutos de origen orgánico, sin embargo, las variedades difieren estadísticamente entre sí.

En relación a los atributos sensoriales encontrados en el tomate, Zorán et al. (2014) llevaron a cabo un análisis sensorial en el cuál los panelistas pudieron percibir una diferencia entre los tomates convencionales y orgánicos por el olor y el sabor, con una alta fiabilidad. Los tomates orgánicos fueron percibidos, por algunos de los panelistas, más suaves, y los prefirieron debido a su sabor, aroma, textura y jugosidad. Alternativamente, los tomates convencionales fueron descritos como "no tan maduros", "secos", y con "menos aroma". De todos los datos recolectados, un compuesto reveló que la nota "dulce" se correlacionaba positivamente con los sólidos solubles y azúcares totales.

### Análisis Sensorial

El análisis sensorial se compone de un conjunto de técnicas para la medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos tratando de minimizar los posibles efectos sobre la información de productos y otras influencias que se pueden tener sobre la percepción de los consumidores. El análisis sensorial ha sido definido como un método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a los productos obtenidas por los sentidos de la vista, olfato, tacto, sabor y oído (Lawless y Heymann, 2010).

Los sentidos humanos han sido utilizados para evaluar la calidad de los frutos. En ocasiones, la calidad de los alimentos es evaluada por personas expertas, las cuáles están cargo de la producción o de tomar decisiones acerca del proceso para asegurar que el producto tenga las características deseadas. La evaluación sensorial moderna reemplaza a dichos expertos, con paneles de personas que participan en pruebas con métodos específicos, que forman parte de experimentos (Lawless y Heymann, 2010).

La principal preocupación del análisis sensorial es asegurar que el método de prueba utilizado es apropiado para contestar las preguntas que han sido planteadas acerca del producto en la prueba. Por dicha razón, las pruebas son clasificadas de acuerdo a su propósito principal y la validez de su uso. Hay tres tipos de pruebas sensoriales utilizadas comúnmente: pruebas de discriminación, descriptivas y afectivas (Lawless y Heymann, 2010).

### **Pruebas afectivas**

Una prueba afectiva trata de cuantificar el grado de aceptación de un producto, mediante métodos de prueba hedónica. Las pruebas hedónicas son aquellas destinadas a medir cuánto agrada o desagrade un producto. En estas pruebas se ofrece a las personas una opción entre los productos alternativos a analizar y para determinar si hay una clara preferencia por alguno. Un problema con las pruebas de opción es que no son muy informativas sobre la magnitud de agrado o desagrado de los encuestados (Lawless y Heymann, 2010).

La prueba hedónica proporciona una escala de agrado con una categoría neutral centrada y con puntos etiquetados con los adverbios que representan los cambios en el tono hedónico. En otras palabras, es una escala con propiedades como regla cuyos intervalos iguales son susceptibles de análisis estadístico (Lawless y Heymann, 2010).



## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### Materiales

#### **Establecimiento del cultivo**

Las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) tipo Bola de la variedad Horus (BHN seeds) fueron proporcionadas por agrícola 'BelHer' (Villa Angel Flores, Navolato, Sinaloa). Como sustrato se utilizó fibra de coco de grado mediano-grueso producida por la empresa Patromex® y composta hecha a base de estiércol de bovino, rastrojo de maíz y zacate Sudán producida por la agrícola. El cultivo fue establecido en un invernadero tipo multicapilla de 720 m<sup>2</sup>, localizado en CIAD unidad Culiacán.

### Métodos

#### **Análisis de Composta**

Muestra. La preparación de la muestra de composta implicó las siguientes etapas:

1. Secar al ambiente, sobre papel periódico, en capas no mayores a 2.5 cm.
2. Retirar el material orgánico no degradado de la composta (rastros de maíz y Sudán). Moler el resto con un mazo de madera.

3. Tamizar con un tamiz de acero inoxidable con aberturas de 2 mm de diámetro (malla 10).
4. Separar 1.5 kg de composta para realizar los análisis físicos, químicos y microbiológicos. Para evitar sesgo en la selección de submuestras, homogenizar la composta se homogenizó en bolsas de plástico haciendo girar la muestra en todas direcciones.
5. Almacenar las muestras en bolsas de plástico perfectamente cerradas y clasificadas.

### **Análisis Físicos**

Textura. La determinación de la textura de la composta fue realizada con el procedimiento de Bouyoucos a través del método AS-09, siguiendo la NOM-021-RECNAT-2000:

1. Colocar 60 g de composta en un vaso de precipitado de 500 mL, agregar 40 mL de peróxido de hidrógeno (al 30%) y evaporar hasta sequedad. Agregar otros 40 mL de peróxido de hidrógeno y repetir el procedimiento hasta no haber efervescencia.
2. Colocar 50 g de composta en un vaso de precipitado y agregar agua destilada hasta cubrir la superficie. Posteriormente, agregar 5 mL de oxalato de sodio y 5 mL de metasilicato de sodio. Dejar reposar durante 15 minutos y dispersar las muestras 5 min con ayuda de un agitador mecánico.
3. Al finalizar el tiempo de agitación, pasar el contenido a una probeta de 1000 mL y agregar agua destilada hasta completar un litro con el hidrómetro dentro de la suspensión.
4. Sacar el hidrómetro y suspender el suelo con un agitador de mano operado durante un minuto.
5. Tomar las lecturas del hidrómetro a los 40 s y después de 2 h de terminada la dispersión con el agitador de mano. Para hacer la lectura, colocar el hidrómetro

dentro de la probeta 20 s antes del momento de la determinación, cuidando alterar lo menos posible la suspensión.

6. Sacar y secar el hidrómetro para después tomar la temperatura. Corregir las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado Celsius arriba de 19.5 °C y restando la misma cantidad por cada grado abajo de dicha temperatura.
7. Calcular el porcentaje de arcilla más limo multiplicando por dos la lectura a los 40 segundos. El porcentaje de arena se calcula restando de 100.
8. Calcular el porcentaje de arcilla multiplicando por dos la lectura obtenida a 2 horas.
9. Obtener el porcentaje de limo por diferencia.
10. Determinar la textura correspondiente con el triángulo de texturas con los porcentajes de limo, arena y arcilla (Figura 2).

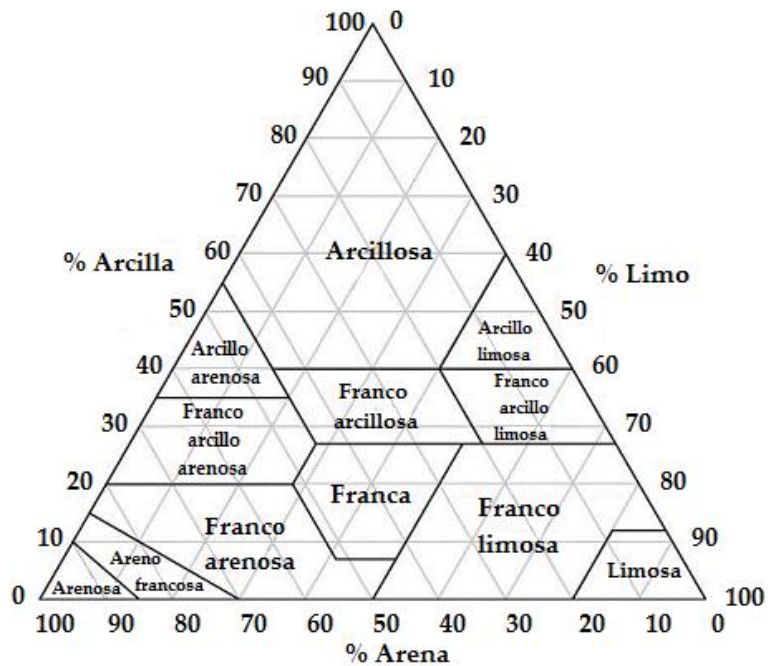


Figura 2. Triángulo para la denominación de suelos según la textura.

Densidad aparente. La determinación de la densidad aparente de la composta fue realizada a través del método descrito por la NMX-FF-109-SCFI-2007.

1. Secar la muestra de composta tamizada en malla de 5 mm en un vaso de precipitado de 250 mL en la estufa durante 24 h a  $70 \pm 5$  °C.
2. Colocar la muestra en un desecador hasta enfriar.
3. Pesar una probeta de 100 mL.
4. Verter 50 g de composta a la probeta graduada de 100 mL y taponarla con tapón de hule.
5. Dar 20 golpes a la probeta con una trayectoria vertical de 10 a 20 cm, sobre una franela humedecida y doblada.
6. Concluido el asentamiento, leer el volumen final (V) que ocupa la composta.
7. Pesar la probeta con la composta seca, sin el tapón, para corroborar peso de la composta solamente (P), restando el peso de la probeta graduada.
8. Realizar los cálculos.

$$Da = \frac{P}{V}$$

*En dónde:*

*Da = Densidad aparente en g/mL.*

*P = Peso de la composta seca en g.*

*V = Volumen ocupado en mL por la composta.*

Humedad. El procedimiento se realizó con base a lo establecido en la NMX-FF-109-SCFI-2007 que consiste de las siguientes etapas:

1. Lavar y etiquetar los botes de aluminio de 30 mL a utilizar.
2. Introducir los botes con todo y tapa a una estufa durante 8 h a una temperatura de  $70 \pm 5$  °C. Registrar el peso y repetir el procedimiento hasta obtener peso constante.
3. Colocar 20 g de composta en el bote de aluminio.
4. Introducir el bote de aluminio destapado a la estufa a una temperatura de  $70 \pm 5$  °C. Colocar la tapa en el interior.

5. Sacar los crisoles 24 horas después, pesar y repetir el procedimiento cada hora hasta obtener el peso constante.
6. Realizar los cálculos con la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{(PB + PHHL) - (PB + PSHL)}{(PB + PHHL) - PB} \cdot 100$$

(2)

*En dónde:*

*% H: Contenido de humedad gravimétrico expresado en porcentaje (%).*

*PB: Peso del bote con tapa (g).*

*PHHL: Peso húmedo de la composta (g).*

*PB + PHHL: Peso del bote más peso húmedo de la composta (g).*

*PB + PSHL: Peso del bote más peso seco de la composta (g).*

### **Análisis Químico de la Composta**

Materia orgánica. La determinación de materia orgánica de la composta fue realizada a través del método AS-07, de Walkley y Black, siguiendo la NOM-021-RECNAT-2000:

1. Pesar 0.5 g de composta seca y tamizada con un tamaño de partícula de 0.5 mm y se colocarla en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Procesar un blanco con reactivos por triplicado.
2. Adicionar 10 mL de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con toda la composta y agregar 20 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.
3. Agitar el matraz durante un minuto y dejar reposar durante 30 minutos.
4. Añadir 200 mL de agua destilada, 5 mL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado y de 5 a 10 gotas del indicador difenilamina.
5. Titular con la disolución de sulfato ferroso hasta un color verde claro. Utilizar los mL gastados de la solución ferrosa para calcular la normalidad del sulfato ferroso.

6. Calcular el carbono orgánico total asumiendo que bajo las condiciones del método hay una oxidación promedio del 75% del mismo:  $100/75 = 1.333$ ; y que la materia orgánica del suelo posee un 58% de carbono:  $100/58 = 1.724$ .

$$\% \text{ de carbón orgánico} = \frac{(N_1 \cdot V_1 - N_2 \cdot T)}{PS} \cdot \text{factor} \quad (3)$$

*Dónde:*

$N_1 = \text{Normalidad del } K_2Cr_2O_7$

$V_2 = \text{mL de } K_2Cr_2O_7 \text{ usados}$

$N_2 = \text{Normalidad del } Fe(NH_4) \cdot 6H_2O$

$T = \text{Volumen del sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación}$

$PS = \text{Peso del suelo (g)}$

Los valores en % de materia orgánica son expresados de la siguiente manera:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \% \text{ de carbono orgánico} \cdot 1.724 \quad (3)$$

Minerales. Los minerales Ca, Mg, K y Na fueron cuantificados mediante espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo al método oficial 955.06 de A.O.A.C. (1998), que consiste en los siguientes pasos:

1. Pesar 1 g de muestra seca y moler en un crisol de porcelana previamente tarado.
2. Colocar la muestra en una mufla a 550 °C por 8 h.
3. Agregar a las cenizas 5 mL de ácido clorhídrico concentrado y filtrar con un papel Whatman No. 5 en un matraz volumétrico de 100 mL, aforándose con agua destilada.
4. Realizar las curvas de calibración para potasio y sodio, de 0 a 100 ppm, correspondiente al manual de operaciones del equipo. Determinar la cantidad de

K y Na de la muestra digerida (100 mL) por medio de emisión por la flama a una longitud de onda de 769.9 y 589.6 nm respectivamente.

5. Realizar las curvas de calibración para Ca y Mg de 0 a 10 ppm, correspondiente al manual de operaciones del equipo. Colocar, en un tubo de ensaye, 1 mL de la muestra digerida, 1 mL de KCl al 10% y 8 mL de agua destilada, posteriormente realizar su lectura por absorción a una longitud de onda de 422.7 y 285.3 nm respectivamente.
6. Calcular los resultados, de acuerdo a las curvas de calibración, con la siguiente ecuación. Tener en cuenta las diluciones, alícuota y peso de la muestra.

$$\% \text{ Elemento a cuantificar} = C \cdot \frac{F}{\text{Peso de la muestra}} \cdot 1000 \quad (4)$$

*Dónde:*

*C = Concentración del elemento en ppm (lectura del equipo).*

*F = mL de la dilución original \* mL de la dilución final / mL de la alícuota.*

pH. Para determinar el pH de la composta se realizó el siguiente procedimiento de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2008, con ayuda de un potenciómetro (calibrado) en una suspensión acuosa de relación composta: agua (p:v; 1:5).

1. Pesar 10 g de la muestra de composta en un frasco y adicionar 50 mL de agua destilada.
2. Agitar la muestra durante 20 min con un agitador magnético.
3. Introducir el electrodo en la suspensión y registrar la lectura una vez estabilizada.

Conductividad eléctrica. La medición de la conductividad eléctrica (C.E.) fue realizada a través del método de la NMX-FF-109-SCFI-2008, introduciendo un conductivímetro a la misma mezcla de composta utilizada para la determinación de pH. La lectura debe registrarse una vez estabilizada. Los cálculos fueron realizados multiplicando la conductancia medida por la constante de celda (L/A) y fue reportada en decisiemens por metro ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ):

$$CE = C \cdot \frac{L}{A} \quad (5)$$

*Dónde:*

*L = Longitud de la columna de líquido entre los electrodos (cm)*

*A = Área de los electrodos ( $\text{cm}^2$ )*

### **Análisis Microbiológico**

Microorganismos fitobenéficos. Para el análisis microbiológico de la composta, en relación a microorganismos fitobenéficos, se llevó a cabo la siguiente metodología:

1. Colocar 50 g de composta en matraces con 450 mL de agua destilada esterilizada. Agitar durante 30 min.
2. Realizar diluciones seriadas para la siembra de composta en los medios de cultivo. Realizar las diluciones en tubos con 9 mL de agua destilada esterilizada y 1 mL de la solución inicial (composta). En bacterias se necesita realizar diluciones de  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-5}$ , y en hongos diluciones de  $1 \times 10^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-2}$  y  $1 \times 10^{-3}$ .
3. Sembrar las alícuotas en cajas Petri con los medios de cultivo. Los medios de cultivo a utilizar son: para el aislamiento de hongos (PDA-AL), bacterias aeróbicas y anaeróbicas (PDA), *Pseudomonas fluorescens* (BK), levaduras (NYDA), bacterias nitrificantes (ELMAR), bacterias y hongos solubilizadores de



fosforo (PIKOVSKAYA) y bacterias y hongos solubilizadores de potasio (PIKOVSKAYA MODIFICADO).

4. Incubar las cajas Petri a 27 °C durante 3 días.
5. Determinar y cuantificar los microorganismos fitobenéficos presentes en la muestra analizada mediante la identificación macroscópica, pruebas bioquímicas, morfológicas y fisiológicas. Posteriormente, clasificar en grupos funcionales: bacterias aeróbicas, bacterias anaeróbicas, actinomycetes, *Pseudomonas fluorescens*, hongos, levaduras y bacterias fijadoras de nitrógeno. Cuantificar el número presente en cada una de las placas y transformar los valores obtenidos a unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de sustrato.
6. Cotejar los resultados de cada sustrato con los cuadros de diversidad biológica (cuadro 6 y cuadro 7) proporcionados por BBC Laboratories (2003).

Cuadro 6. Determinación de la carga microbiana fitobenéfica en composta.

Parámetro	Enumeración (UFC/ g de suelo)	Índice de diversidad Biológica
Bacterias aeróbicas heterotróficas	$1 \times 10^8$	3.0
Bacterias anaeróbicas heterotróficas	$1 \times 10^7$	2.0
Hongos y levaduras	$5 \times 10^5$	3.0
Actinomycetes	$1 \times 10^5$	1.5
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	$1 \times 10^6$	2.0
Bacterias fijadoras de nitrógeno	$1 \times 10^6$	1.0

Cuadro 7. Clasificación de compostas por su diversidad biológica.

Clasificación	Índice de diversidad de especies
Alta diversidad	$\geq 12.5$
Diversidad moderada	7.0 – 12.5
Baja diversidad	$< 7.0$

Microorganismos de salud pública.

Para la determinación del NMP/g de composta de Coliformes fecales y *Escherichia coli* se siguió el método analítico EPA 2010, método 1680, modificado; para *Salmonella* spp., el método analítico fue EPA 2006, método 1682, modificado.

#### **Preparación de Combinaciones de Fibra de Coco y Composta (0%, 10%, 20% y 40%).**

Para la preparación de las combinaciones se realizó el siguiente procedimiento (Figura 3):

1. Tomar 12 L de fibra de coco Patromex® ya desmenuzada para cada una de las macetas, para la combinación 0% composta – 100% fibra de coco.
2. Para la combinación de 10% composta – 90% fibra de coco, mezclar 57 L de composta y 513 L de fibra de coco.
3. Mezclar 456 L de fibra de coco y 114 L de composta para obtener la combinación de 20% composta – 80% fibra de coco.
4. Incorporar 228 L de composta en 342 L de fibra de coco, para la combinación de 40% composta – 60% fibra de coco.
5. Llenar 60 bolsas con 12 L de cada combinación.

La fibra de coco y la composta fueron incorporadas con ayuda de una pala (sobre una lona de plástico).



Figura 3. Elaboración de combinaciones de fibra de coco y composta. Llenado de cubetas con fibra de coco y composta (a); mezcla del sustrato (b); llenado de bolsas (c).

## Trasplante

Las plantas de tomate bola fueron proporcionadas por la agrícola ‘BelHer’, Villa Angel Flores, Navolato, Sinaloa. El trasplante fue realizado 35 días después de la siembra, colocando dos plantas por bolsa.

## Manejo del Cultivo en Invernadero

Las labores de cultivo comunes en agricultura protegida fueron aplicadas a todas las plantas: el guiado por medio de un hilo de polietileno, llevando a las plantas hasta una altura de 3 m aproximadamente; la poda, donde se eliminaron brotes adyacentes del tallo principal, hojas viejas o enfermas; el raleo de flores y frutos; el riego con solución Steiner por medio de un sistema por goteo automatizado y la polinización con abejorros.

## Cosecha

El fruto fue recolectado cuando presentó cambios de color asociados a la madurez, entre el 3 y el 4 y el color 5 y 6 (Figura 4). Se realizaron un total de 14 cortes.

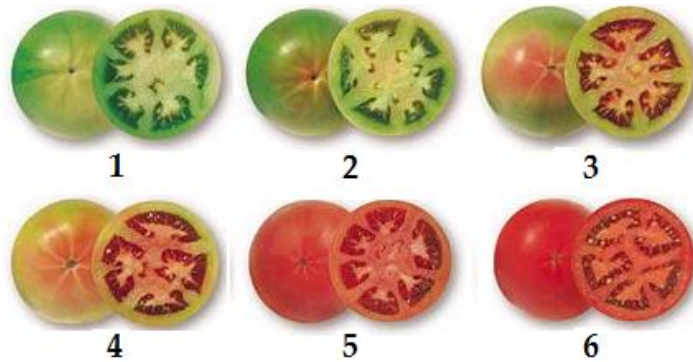


Figura 4. Escala de colores del fruto de tomate (USDA, 1991).

## Rendimiento

Para el rendimiento se determinó el peso de los frutos recolectados de 42 plantas de cada sustrato en 14 cortes, utilizando una balanza marca Rhino de acero inoxidable con una capacidad máxima de 10 Kg. Los frutos fueron clasificados de acuerdo a los tamaños o calibres de clasificación comercial (S: chico, M: mediano, L: grande, XL: extra grande, MXL: máximo extra grande) utilizando una plantilla (Figura 5).

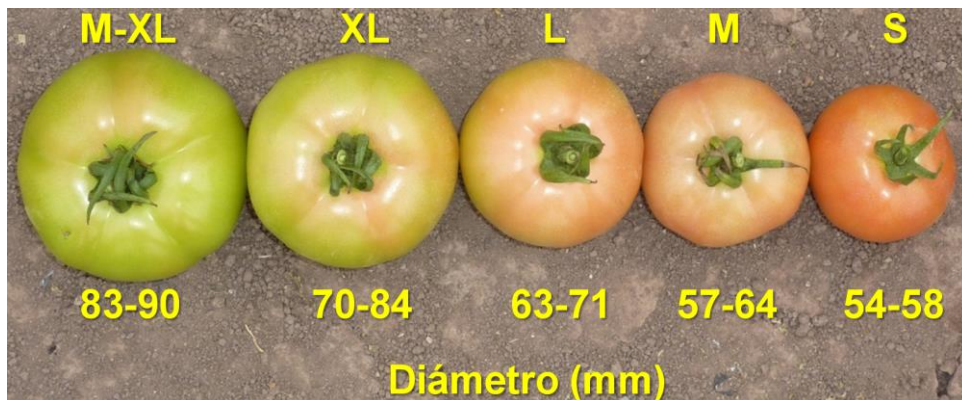


Figura 5. Escala de tamaños de frutos de tomate tipo bola.

## Evaluación de Calidad Poscosecha

En cada corte, una muestra de frutos cultivados en cada sustrato fue trasladada al Laboratorio de Calidad Poscosecha del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), unidad Culiacán, donde fueron lavados con agua clorada a 100 ppm y almacenados 7 días a 20 °C y 65% HR y posteriormente se realizaron los análisis de calidad en base a parámetros físicos: color y firmeza; y parámetros químicos: pH, °Brix, contenido de azúcares individuales por método enzimático (fructosa, sacarosa y glucosa) y contenido de ácidos orgánicos por cromatografía líquida de ultra definición (UPLC) (ácidos cítrico, málico y oxálico), de acuerdo a las siguientes metodologías:

### **Parámetros Físicos**

**Color externo.** Se determinó utilizando un espectrofotómetro Konika Minolta CM-700d. Las mediciones fueron realizadas en lados opuestos de la parte ecuatorial de cada fruto y los resultados se reportaron como °Hue (color verdadero) (Figura 1).

**Firmeza.** Fue determinada por punción y se reportó como el esfuerzo necesario para romper la pulpa de los frutos. Se utilizó un penetrómetro digital Ametek Chatillon modelo CS225 Series, equipado con un punzón cilíndrico de 8 mm de diámetro. La medición fue realizada a lados opuestos del fruto en el eje ecuatorial, quitándole previamente la cutícula en el área de medición para evitar que las propiedades de la cutícula afectaran la firmeza del tejido. Los resultados fueron expresados en Newton (9.8 N = 1 kg fuerza).

## Parámetros Químicos

Acidez titulable y pH. Siguiendo el método oficial de la AOAC 920.149 (A.O.A.C, 1998), se realizaron los siguientes pasos:

1. Pesar 10 g del fruto de cada muestra en una balanza digital.
2. Homogenizar con 50 mL de agua destilada a pH neutro utilizando una licuadora comercial.
3. Filtrar el licuado por medio de una tela de organza, tomar una alícuota de 50 mL y colocar en el carrusel del titulador automático (Mettler Toledo T50 equipado con un electrodo de cristal DGi 111-SC), para llevar a cabo la medición.
4. Expresar la acidez titulable como porcentaje de ácido cítrico. El pH es proporcionado directamente por el equipo.

SST. Fueron expresados como °Brix y se determinaron colocando una gota del filtrado utilizado anteriormente, en un refractómetro con compensador de temperatura Mettler Toledo RM40, el cual fue calibrado con agua destilada hasta obtener un valor de cero. El resultado obtenido se ajustó según la dilución realizada (50 mL de agua y 10 g de muestra).

Ácido cítrico, málico y oxálico. La extracción de la muestra se realizó siguiendo la metodología propuesta Khosravi et al., (2015):

1. Tomar 5 g del fruto, adicionar 20 mL de agua grado HPLC (1:4) y homogenizar.
2. Filtrar a través de una malla de organza.
3. Centrifugar a 10000 rpm durante 15 min a 4 °C dos veces.

4. Tomar 2 mL del sobrenadante y pasarlos por un cartucho Sep-Pack C18 y a través de una membrana de nylon con tamaño de poro de 0.2  $\mu\text{m}$  x 13 mm de diámetro.
5. Colocar la muestra en viales para posteriormente inyectar 1  $\mu\text{L}$  en un UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography - Waters modelo ACQUITY) con detector de arreglo de diodos (PDA).
6. Leer la muestra a una longitud de onda de 210 nm.
7. Realizar el análisis de resultados cuantificando el área bajo la curva de los picos de interés por medio del software Empower 3.

La columna utilizada fue ACQUITY UPLC CSH C18, 130 Å, 1.7  $\mu\text{m}$ , 2.1 mm x 150 mm, con una fase móvil de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ajustado a un pH de 2.8 y con un flujo isocrático de 0.2 mL/min, el tiempo de corrida programado fue de 15 min. Para el análisis de resultados se preparó una curva con estándares de ácidos cítrico y málico, utilizando concentraciones de 600, 500, 400, 300, 200, 100 y 50  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Para la curva de ácido oxálico, se prepararon concentraciones de 60, 50, 40, 30, 20, 10 y 5  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Azúcares individuales. La extracción de los azúcares fue realizada de acuerdo a la metodología propuesta por Pérez et al. (1997), que consiste en los siguientes pasos:

1. Pesar 5 g de muestra (tomate cultivado en cada sustrato) y homogenizar con 15 mL de etanol frío al 90% (Ultra-Turrax, mod. T25) hasta macerar totalmente la pulpa.
2. Realizar el siguiente lavado tres veces: agitar y homogeniza la muestra, con etanol, en un baño sónico por 10 min, después centrifugar a 5000 rpm y a 4 °C. Una vez obtenido el sobrenadante, adicionar 5 mL de etanol frío al 90%.
3. Tomar 0.5 mL del sobrenadante y evaporar en un termo baño con corriente de aire a 40 °C.
4. Agregar 2 mL de agua destilada y homogenizar.

El kit Megazyme: Sacarosa, D-fructosa y D-glucosa fue utilizado para la cuantificación, siguiendo las indicaciones del manual:

1. Colocaron 50  $\mu\text{L}$  de muestra en dos celdas (celda 1 y celda 2).
2. Añadir 100  $\mu\text{l}$  de  $\beta$ -fructosidasa a la celda 1, homogenizar y dejar reposar 10 min.
3. Agregar 1200  $\mu\text{L}$  de agua destilada a la celda 1 y 1300  $\mu\text{L}$  a la celda 2.
4. Adicionar 50  $\mu\text{l}$  de imidazol (Buffer: 7.6) y 50  $\mu\text{L}$  de  $\text{NADP}^+$ , homogenizar y dejar reposar 10 min.
5. Leer la absorbancia mediante un espectrofotómetro de UV-Visible Agilent Cary, a 340 nm. Esta lectura será considerada como absorbancia 1.
6. Añadir 10  $\mu\text{L}$  de la enzima hexokinasa a ambas celdas, homogenizar y dejar reposar durante 5 min.
7. Leer la absorbancia. Esta lectura será considerada como absorbancia 2.
8. Agregar 10  $\mu\text{L}$  de glucosa-6-fosfato-isomerasa (PGI) a la celda 2, homogenizar y dejar reposar durante 10 min.
9. Leer la absorbancia. Esta lectura será considerada como absorbancia 3.
10. Realizar los cálculos.

Para la realizar los cálculos, se determinó la diferencia de absorbancias ( $A_2 - A_1$ ) y ( $A_3 - A_2$ ) en el blanco y en las muestras para calcular los valores de  $\Delta A_{\text{D-glucosa}}$ ,  $\Delta A_{\text{sacarosa}}$  y  $\Delta A_{\text{D-fructosa}}$ .

Para la obtención de  $\Delta A_{\text{sacarosa}}$  se calculó  $\Delta A_{\text{D-glucosa}}$  y  $\Delta A_{\text{D-glucosa total}}$ :

$$\Delta A_{\text{D-glucosa}} = (A_2 - A_1)_{\text{muestra}} - (A_2 - A_1)_{\text{blanco}} \text{ (de la muestra de D-glucosa/D-fructosa).}$$

$$\Delta A_{\text{D-glucosa total}} = (A_2 - A_1)_{\text{muestra}} - (A_2 - A_1)_{\text{blanco}} \text{ (para la sacarosa de la muestra)}$$

$$\Delta A_{\text{sacarosa}} = \Delta A_{\text{D-glucosa total}} - \Delta A_{\text{D-glucosa}}$$

Se determinó la diferencia de absorbancias ( $A_3 - A_2$ ) para el blanco y las muestras de D-glucosa y D-fructosa para obtener  $\Delta A_{\text{fructosa}}$ .



$$\Delta A_{\text{fructosa}} = (A_3 - A_2)_{\text{muestra}} - (A_3 - A_2)_{\text{blanco}}$$

La concentración de D-glucosa, sacarosa y D-fructosa se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$c = \frac{V \cdot PM}{\varepsilon \cdot d \cdot v} \cdot \Delta A \quad (g \cdot L^{-1}) \quad (6)$$

*Dónde:*

*V* = volumen final (mL)

*PM* = peso molecular de la sustancia evaluada (g/mol)

*ε* = Coeficiente de extinción de NADPH a 340 nm = 6300 (l x mol<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>)

*d* = paso de luz (cm)

*v* = volumen de la muestra (mL)

## Análisis Sensorial

Para el análisis sensorial se utilizaron los siguientes descriptores sensoriales: acidez, dulzor, firmeza y aceptabilidad general del fruto.

Método de prueba. Se llevó a cabo una prueba de aceptación con 30 consumidores. Cada consumidor evaluó cuatro muestras codificadas, cada una de ellas correspondía a un tomate cultivado en un sustrato diferente, una prueba de evaluación, un vaso con agua y un trozo de pan para limpiar el paladar. Las muestras presentadas a los consumidores eran rodajas de tomate de 10 mm de grosor en estado de madurez 5-6, obtenidas de la parte central del fruto, las cuales se colocaron en un plato desechable por separado e identificadas con un código.

El análisis se llevó a cabo en dos días diferentes, un día se evaluó la aceptación del consumidor en base a dulzor, acidez y firmeza del fruto, y al día siguiente se evaluó la aceptabilidad general del fruto.

Los descriptores sensoriales: dulzor, acidez y firmeza se evaluaron mediante una escala hedónica de 5 puntos, donde 1: No me gusta; 2: Me desagrada poco; 3: Me es indiferente; 4: Me gusta poco y 5: Me gusta. Los consumidores respondieron una encuesta en donde evaluaron éstos descriptores de acuerdo a su gusto. Para la aceptabilidad general del fruto, los consumidores contestaron otra encuesta con la misma escala hedónica, pero ésta vez, calificando solamente cada una de las cuatro muestras en relación a la aceptación de manera general.

### Análisis Estadístico

Para las variables de respuesta rendimiento, firmeza, color, pH, AT, SST, azúcares individuales (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (cítrico, málico y oxálico) se utilizó un diseño experimental de un factor (sustrato) totalmente al azar, con cuatro niveles (S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>):

S1 = 100% fibra de coco (control).

S2 = 90% fibra de coco y 10% composta.

S3 = 80% fibra de coco y 20% composta.

S4 = 60% fibra de coco y 40% composta.

La unidad experimental consistió de seis plantas de tomate colocadas en tres bolsas con sustrato y la unidad de medición fue un fruto de tomate. Para la variable de rendimiento se realizaron siete réplicas y en las demás variables cinco. Los efectos del sustrato se determinaron mediante análisis de varianza y las diferencias de medias fueron establecidas mediante las pruebas de Dunnett y Fisher.

Para el número de frutos cosechados, el diseño experimental fue de dos factores (sustrato y tamaño) totalmente al azar. Los niveles del sustrato fueron los mencionados en el diseño anterior y los del tamaño fueron: MXL, XL, L, M y S. La variable de respuesta analizada fue el número de frutos. Se realizaron siete réplicas por sustrato. Los

efectos del sustrato y tamaño se determinaron mediante análisis de varianza y las diferencias fueron establecidas mediante la prueba de Fisher ( $P < 0.05$ ).

En el análisis sensorial, los datos fueron analizados con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la comparación de medianas de Mood. Los datos se analizaron mediante el programa estadístico Minitab 17.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Composta

#### Características Físicoquímicas

Las propiedades físicoquímicas de la composta se encuentran dentro o por encima del rango establecido por la norma NMX-FF-109-SCFI-2007, lo que indica que la composta utilizada es de alta calidad agronómica, principalmente por su alto contenido de nitratos, potasio, calcio y magnesio (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de la composta utilizada en combinación con fibra de coco.

Muestra	Composta	Nivel de Referencia
pH (1:5 H <sub>2</sub> O destilada)	7.400	6.0 – 7.5
CE (dS/m) (1:5 H <sub>2</sub> O destilada)	11.89	≤ 4.0
Densidad (g·cm <sup>-3</sup> )	0.790	0.4 – 0.9
Relación C/N	16.92	10.0 – 30.0
Materia Orgánica %	21.30	20.0 – 50.0
Nitrógeno total %	0.730	1.0 – 4.0
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )%	4.580	0.4 – 4.0
Potasio (K <sub>2</sub> O)%	4.380	1.2 – 1.8
Calcio %	5.400	1.6 – 6.5
Magnesio %	1.400	0.3 – 0.8

Azufre (S-SO <sub>4</sub> )	0.930	0.1 – 0.5
Sodio %	1.200	0.1 – 0.4
Hierro %	2.320	0.3 – 2.0
Zinc (ppm)	126.0	100.0 – 575.0
Cobre (ppm)%	35.00	30.0 – 300.0
Manganeso (ppm)	675.0	260.0 – 500.0
Boro (ppm)	74.00	60.0 – 150.0
Arena %	37.00	
Limo %	12.00	
Arcilla %	51.00	
Clasificación textural	Arcilla	

---

### Características Microbiológicas

El índice de diversidad biológica (IDB) de las bacterias aeróbicas y anaeróbicas heterotróficas es cercano a los índices proporcionados por BBC Laboratories (2003) (Cuadro 9). El IDB de las bacterias aeróbicas de la composta refleja su buena cobertura microbiana para la supresión de patógenos radiculares, mientras que el IDB de las bacterias anaeróbicas confirma que la aireación, los nutrientes y su combinación en el proceso de compostaje fue el adecuado (BBC Laboratories, 2003). El IDB de los hongos y levaduras es mayor que el proporcionado por dichos autores, por lo que pueden degradar y solubilizar los compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos con mayor rapidez (Laich, 2011). Por otro lado, el IDB de Actinomycetes, *Pseudomonas fluorescens* y bacterias fijadoras de nitrógenos se encuentra por debajo. El bajo IDB de bacterias fijadoras de nitrógeno puede deberse a las altas cantidades de nitrógeno disponible en la composta (Cuadro 9) (BBC Laboratories, 2003).

Cuadro 9. Carga microbiana fitobenéfica en la composta

Microorganismos	UFC/g de composta	Índice Diversidad Biológica
Bacterias heterotrófica (aeróbicas)	104,235,000	3.00
Bacterias anaeróbicas	9,003,000	1.80
Hongos y levaduras	1,289,900	7.74
Actinomycetes	14,000	0.21
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	500,000	1.00
Bacterias fijadoras de nitrógeno	589,000	0.59

Una de las principales preocupaciones relacionadas con el uso de compostas a base de estiércol es la posible carga microbiana que ésta pueda tener y que afecte a la salud humana. Los resultados de los análisis microbiológicos comprueban la ausencia de microorganismos patógenos al humano en la composta, haciéndola inocua para su uso en la industria hortícola (Cuadro 10).

Cuadro 10. Microorganismos de salud pública de la composta.

Microorganismo	Resultado	Método analítico	Límite permisible NMX-FF-109-SCFI- 2007
Coliformes fecales	8.14 NMP/g base seca	EPA 2010, método 1680, modificado	No aplica
<i>Escherichia coli</i>	5.04 NMP/g base seca	EPA 2010, método 1680, modificado	≤ 1000 NMP/g base seca
<i>Salmonella</i> spp.	< 0.32 NMP/4 g base seca	EPA 2006, método 1682, modificado	3 NMP/4 g base seca

## Producción

### Rendimiento

Esta variable fue analizada bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar (sustrato) con cuatro niveles, los resultados del análisis estadístico se muestran en el cuadro 11:

Cuadro 11. Análisis de varianza: Peso Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustratos	3	78.300	26.102	3.20	0.041
Error	24	195.47	8.145		
Total	27	273.78			

Se encontró diferencia significativa entre sustratos ( $P=0.041$ ), siendo el sustrato con 10% de composta el diferente al control (sustrato con 0% composta) (Dunnnett,  $P<0.05$ ) (Figura 6).

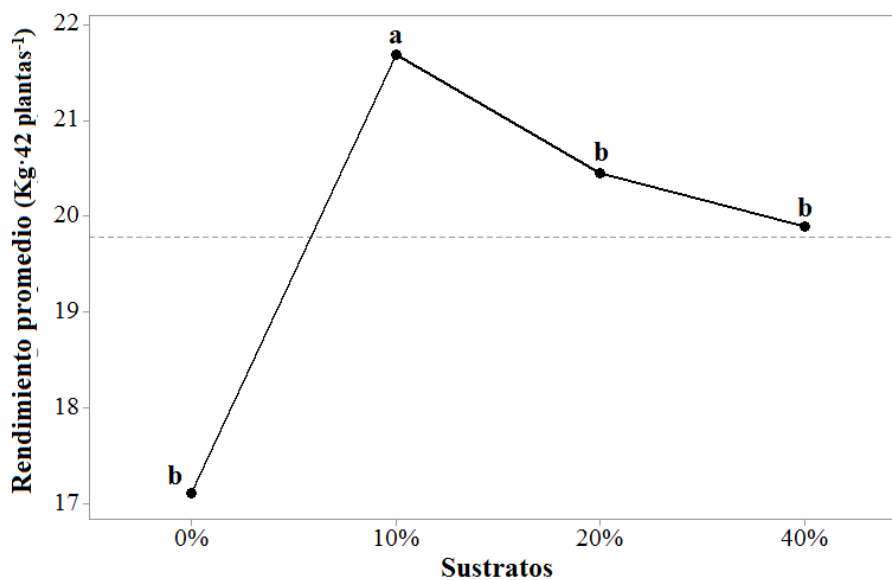


Figura 6. Rendimiento promedio (kg en 14 cortes y 42 plantas) de tomate obtenido en los diferentes sustratos de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra es significativamente diferente, Dunnnett ( $P<0.05$ ).

El rendimiento promedio por sustrato, en 14 cortes en 42 plantas, fue de 17.12 kg en el control (0% composta), sobresaliendo los sustratos con composta con el mayor rendimiento, donde el sustrato con 10% de composta fue el mejor con 21.69 kg, superando con un 26.7% al control. El sustrato con 20% de composta produjo 20.44 kg, 19.4% más que el control y el sustrato con el 40% de composta 19.89 kg, lo que significa 14.2% más que el control (Figura 6). En una escala a toneladas por hectárea, considerando 24000 plantas, los resultados obtenidos serían de 9.78 t·ha<sup>-1</sup> en el control (0% composta) y de 12.39 t·ha<sup>-1</sup>, 11.68 t·ha<sup>-1</sup> y 11.36 t·ha<sup>-1</sup> en los sustratos con 10, 20 y 40% de composta respectivamente.

Los resultados obtenidos coinciden con Atiyeh et al. (2000), Ortega-Martínez et al. (2010) y Maynard (1995) quienes mencionan que al usar más de un 20% de composta en el sustrato hay un decremento en el rendimiento de la planta. Márquez et al. (2006), comentan que las mezclas que contienen composta contienen el nitrógeno necesario para producir mayor rendimiento. Factores como la lixiviación, una menor tasa de mineralización, volatilización, adsorción, entre otras, pudieron influir para no obtener un mayor rendimiento en la mezcla con mayor porcentaje de composta (Atiyeh et al, 2000; Márquez et al., 2006). Aunado con lo que dicen Atiyeh et al, Subler et al. (1998) mencionan que el mejor desarrollo del cultivo ocurre con proporciones de enmienda orgánica, tal como la composta, entre 10 y 20 % en el sustrato.

Atiyeh (2000) atribuye la disminución del rendimiento en los sustratos con mayor porcentaje de composta a la alta concentración de sales, a la mala aireación y/o a la fitotoxicidad que las compostas pueden causar en las plantas.

### **Número de Frutos**

El número de frutos fue analizado mediante un diseño experimental de dos factores (sustrato y tamaño) totalmente al azar. La tabla ANOVA se presenta en el Cuadro 12.



Cuadro 12. Análisis de varianza: Número de frutos Vs. Sustrato; Tamaño.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	177.7	59.23	1.76	0.158
Tamaño	4	15177.5	3794.38	112.77	0.000
Sustrato*Tamaño	12	787.5	65.63	1.95	0.035
Error	120	4037.7	33.65		
Total	139	20180.4			

En la variable número de frutos, se encontró diferencia significativa entre tamaños ( $P=0.000$ ) pero no entre sustratos ( $P=0.158$ ). Así mismo, la interacción de tamaño y sustrato fue significativamente diferente ( $P=0.035$ ). El número de frutos del sustrato con 10% de composta fue mayor siendo el único significativamente diferente al control (Fisher,  $P<0.05$ ) (Figura 7).

En relación al número de frutos de los tamaños MXL, XL y L, se obtuvo mayor cantidad de frutos en los sustratos con adición de composta en comparación con las plantas cultivadas en el control (100% de fibra de coco), sobresaliendo los tamaños XL (Figura 7). Por otra parte, los tamaños M y S fueron mayores en las plantas cultivadas en el control (100% fibra de coco).

Los tamaños más grandes fueron los que tuvieron mayor número de frutos, siendo el XL el mayor, seguido del MXL y L. Los tamaños S y M fueron los que tuvieron menor número de frutos, lo que indica la buena calidad de corte que se obtuvo en el cultivo de ésta variedad, debido a que los frutos de tamaño MXL, XL y L son de mayor valor económico (Figura 7).

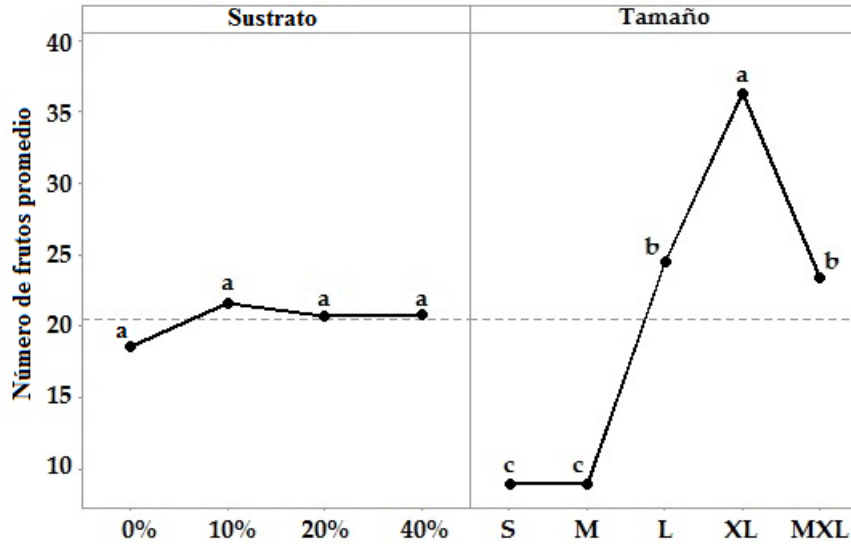


Figura 7. Efectos principales de sustratos (Dunnett,  $P < 0.05$ ) y tamaños (Fisher,  $P < 0.05$ ) sobre el número de frutos cosechados.

A pesar de no haber diferencia significativa entre sustratos, el sustrato con 0% composta (control) fue el que tuvo mayor número de frutos S y M y menor número de frutos L, XL y MXL (Figura 8), indicando la influencia positiva del uso de composta en plantas de tomate.

En el tamaño XL existe diferencia significativa entre los sustratos con composta y el control (100% fibra de coco). En el tamaño MXL, los sustratos con 10% y 20% de composta son diferentes al de 0%, indicando que se obtuvo un mayor número de frutos en los sustratos con composta que los obtenidos en las plantas cultivadas solamente con fibra de coco. El número de frutos de tamaño grade (L) no mostró diferencia significativa entre sustratos pero aumentó conforme se incrementaba la cantidad de composta. Por otro lado, los tamaños más pequeños, S y M, no mostraron diferencia significativa entre sustratos, pero el de 0% composta (control) fue el que tuvo mayor número de frutos (Figura 8).

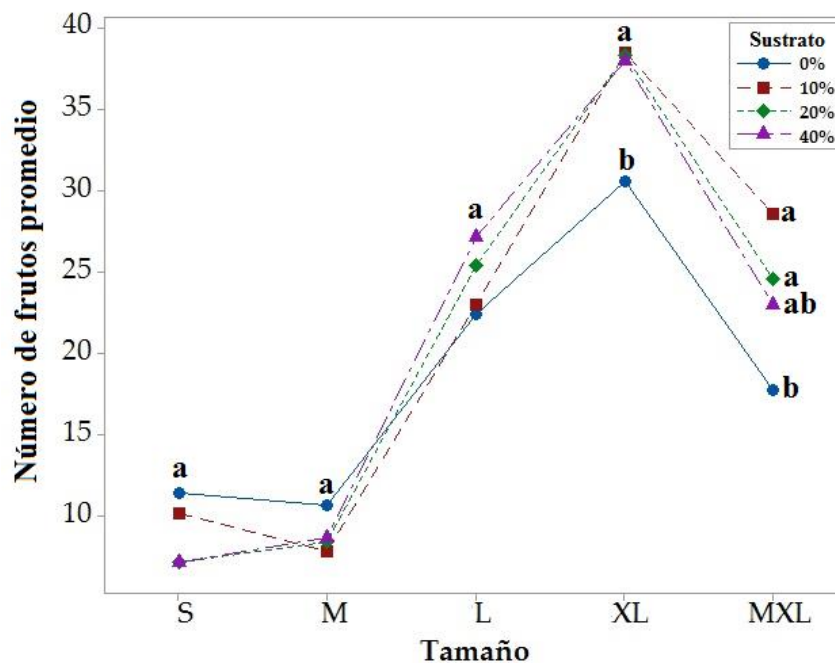


Figura 8. Interacción entre sustratos y tamaños del número de frutos cosechados. Las diferencias entre sustratos se presentan por tamaño. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Fisher ( $P < 0.05$ ).

### Análisis Poscosecha

#### Firmeza

Esta variable fue analizada bajo un diseño experimental de un factor (sustrato) totalmente al azar con cuatro niveles, los resultados del análisis estadístico se muestran en el cuadro 13:

Cuadro 13. Análisis de varianza: Firmeza Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	7.498	2.499	0.49	0.694
Error	20	102.277	5.114		
Total	23				

Los resultados no mostraron diferencias significativas en la firmeza ( $P=0.694$ ) de los frutos de tomate producidos con diferentes proporciones de composta en la fibra de coco (Figura 9), al igual que el estudio realizado por Ojeda (2003).

Con base a las características de textura de los tomates y su relación con la firmeza objetiva proporcionada por Cantwell (2004), un tomate con una firmeza entre 12 y 15 N es considerado moderadamente blando. Éstos resultados eran los esperados debido a que los tomates se encontraban en estado de madurez 6.

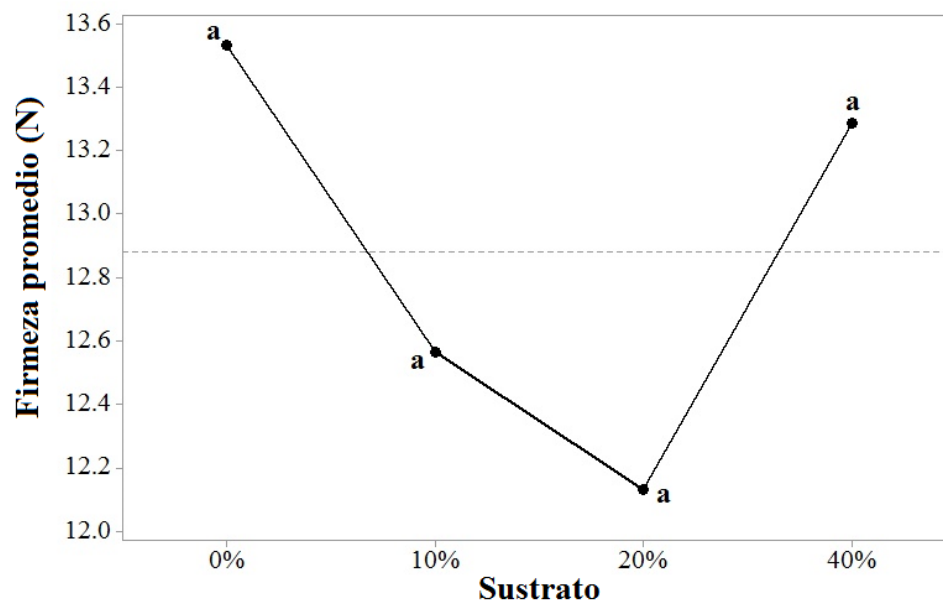


Figura 9. Firmeza de fruto de tomate cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P<0.05$ ).

Kader et al. (1978), establecen que en esta etapa, los frutos que presentan valores inferiores a 10 N no son recomendables para comercialización debido a su poca calidad. Sin embargo, los frutos con un valor de firmeza por encima de 11 N se consideran firmes y como consecuencia, tienen un periodo mayor de vida de anaquel. Lo anterior indica que la variedad estudiada cumple con los requisitos de buena firmeza y que a su vez ésta no se vio afectada por la adición de composta al sustrato durante la producción.

## Color

La variable de color se analizó bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar (sustrato) con cuatro niveles, los resultados del análisis estadístico se muestran en el cuadro 14:

Cuadro 14. Análisis de varianza: Color Vs. Sustrato

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	2.048	0.6826	0.08	0.971
Error	20	174.579	8.7289		
Total	23	176.626			

Estadísticamente, no se muestra diferencia significativa ( $P = 0.971$ ) en el desarrollo de color entre los sustratos con composta y el control (sustrato con 0% composta) (Figura 10).

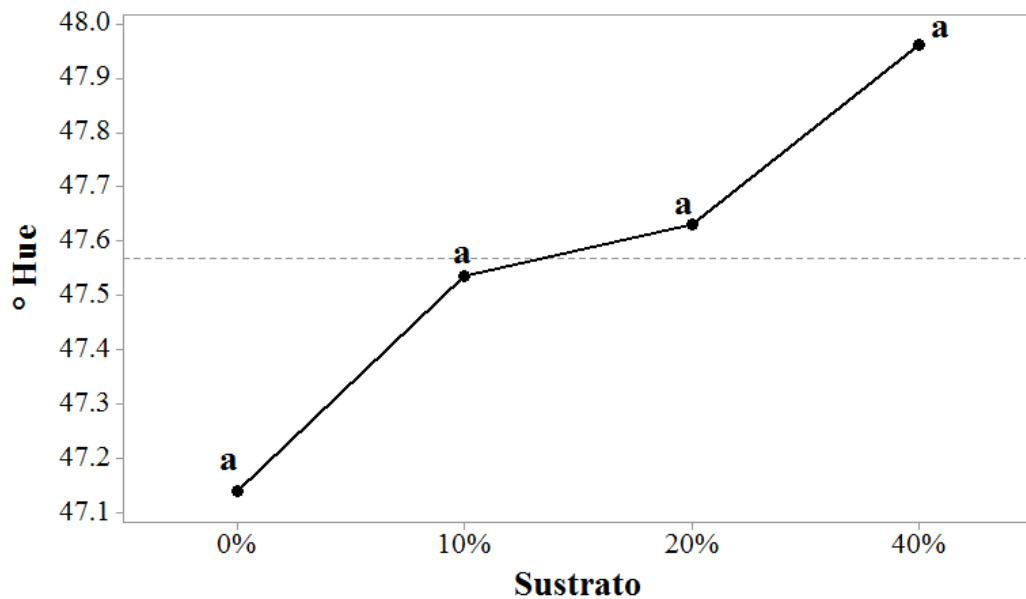


Figura 10. ° Hue de frutos de tomate cultivados en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

De acuerdo a los resultados de este estudio, los tomates son de color naranja-rojizo según Cantwell, 2004, aunque Siller y Báez (2009) los clasifican como frutos de color

rojo. De acuerdo a la clasificación de color para tomates propuesta por Báez et al. (2001), la variedad Horus utilizada en éste estudio corresponde a frutos de tonalidades rojizo-naranja, ya que presenta valores arriba de 45 °Hue (Cuadro 15).

Cuadro 15. Valores objetivos de color (°Hue, croma y luminosidad) en frutos de tomate producidos en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta.

Sustrato	°Hue	Croma	Luminosidad	Valor "a"	Valor "b"
0%	47.14 a	38.26 a	40.18 a	26.06	28.22
10%	47.54 a	37.60 a	39.26 a	25.34	27.74
20%	47.63 a	37.02 a	39.73 a	24.92	27.32
40%	47.96 a	38.52 a	40.66 a	25.76	28.54

El sustrato que no comparte letra es significativamente diferente, Dunnett (P<0.05).

### Sólidos Solubles Totales

La variable de color se analizó bajo un diseño experimental de un factor (sustrato) totalmente al azar con cuatro niveles, los resultados del análisis estadístico se muestran en el cuadro 16:

Cuadro 16. Análisis de varianza: SST Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	1.601	0.5338	2.16	0.133
Error	16	3.962	0.2476		
Total	19	5.563			

En el contenido de SST no hubo diferencia significativa entre sustratos (P=0.133). Sin embargo, los sólidos solubles totales en fruto tuvieron incrementos en plantas que se cultivaron con la adición de 0 a 20% de composta en el sustrato para después disminuir los SST en el sustrato con 40% de composta. El contenido de SST fue superior en las plantas cultivadas con composta en relación al control (100% fibra de coco). El sustrato 100 % fibra de coco (control) presentó 5.49 °Brix superado por las plantas que se cultivaron con 10, 20 y 40 % de composta con 9.3, 13.7 y 10.7% de SST (Figura 11).

Los frutos con mayor contenido de SST fueron los cultivados con 20% composta, obteniendo un aumento de 13.7% °Brix con respecto al control (de 5.49 a 6.24°Brix). Los tomates cultivados en las combinaciones con 10 y 40% composta tuvieron 9.3 y 10.7% mayor contenido de °Brix que los cultivados sin composta, respectivamente (Figura 11).

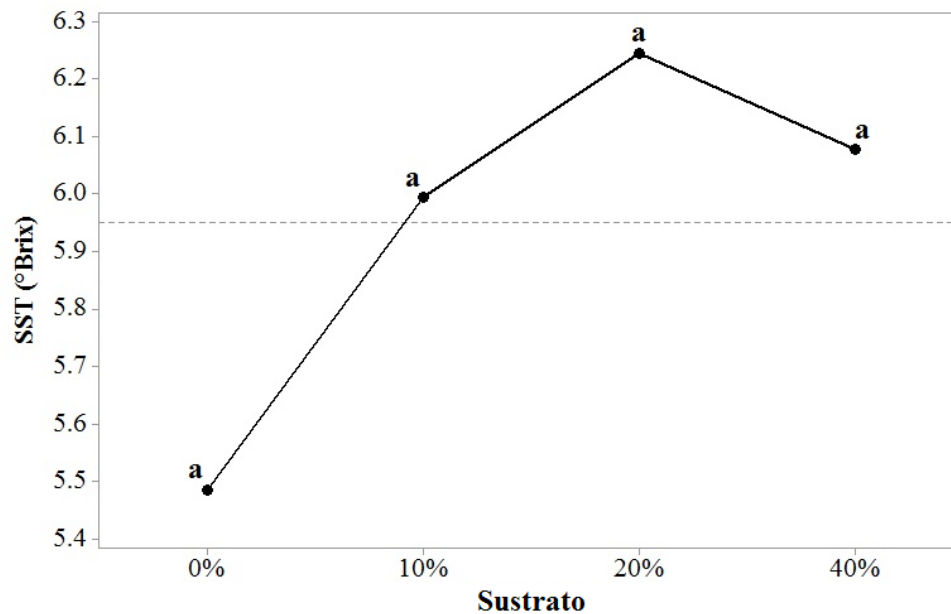


Figura 11. Contenido de SST en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnet ( $P < 0.05$ ).

Resultados similares con respecto a °Brix han sido mencionados por Márquez et al. (2006) y por Márquez y Cano (2005), donde reportan un menor contenido de sólidos solubles en tomate cultivado en medios inertes respecto al uso de sustratos orgánicos. Esos resultados también coinciden con lo reportado por Gutiérrez et al. (2007), quienes mencionaron que al fertilizar con composta generalmente aumentan los sólidos solubles. De la misma manera Márquez-Hernández et al. (2012), reportan contenidos mayores de SST en cultivos con composta comparados con un cultivo sin composta regado con solución nutritiva estándar.

Cantwell (2004) indica que el contenido de sólidos solubles de los tomates en general, se sitúa entre 3.5 y 7.0 °Brix dependiendo de la variedad. Santiago et al. (1998),

establecen que el tomate para consumo en fresco debe de contener alrededor de 4.0 °Brix, lo que nos indica la buena calidad de los tomates cultivados en los cuatro sustratos. A su vez, Diez (2001) propone que el tomate para procesado o consumo en fresco, debe de contar con un contenido de sólidos solubles de al menos 4.5 °Brix, valores inferiores a los obtenidos en nuestro estudio los cuales muestran mayor contenido de °Brix en frutos producidos en sustrato combinados con composta. Mitchell et al. (1991), mencionan que una mayor concentración de sales en el sustrato de cultivo, trae consigo mayor acumulación de sólidos solubles en los frutos.

### Acidez Titulable

La AT se analizó bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar (sustrato) con cuatro niveles. El análisis estadístico se muestra en el cuadro 17:

Cuadro 17. Análisis de varianza: AT Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	0.001923	0.000641	0.19	0.900
Error	16	0.053302	0.003331		
Total	19	0.055225			

No se encontró diferencia significativa entre el contenido de ácidos en los diferentes sustratos ( $P=0.900$ ). Los resultados obtenidos se encuentran entre 0.43% y 0.45% (Figura 12) dentro del rango establecido por Cantwell (2004) donde menciona que la acidez del tomate está comprendida entre 0.2 y 0.6% de ácido cítrico. Sin embargo, Siller y Báez (2009) señalan que la concentración de ácido se encuentra entre 0.2 y 0.3%, por lo que el contenido de ácidos mayor puede verse relacionado con el mejor sabor del fruto. El hecho de que no haya diferencia significativa entre los sustratos puede deberse a la transformación de los ácidos orgánicos de reserva a azúcares utilizados en la respiración (Berbesí et al., 2006), considerando que el fruto estaba próximo a la senescencia, a pesar de eso, muchas veces la relación de SS/AT, o pH se relaciona más a la percepción de acidez que la AT por si misma (Baldwin et al., 2007).



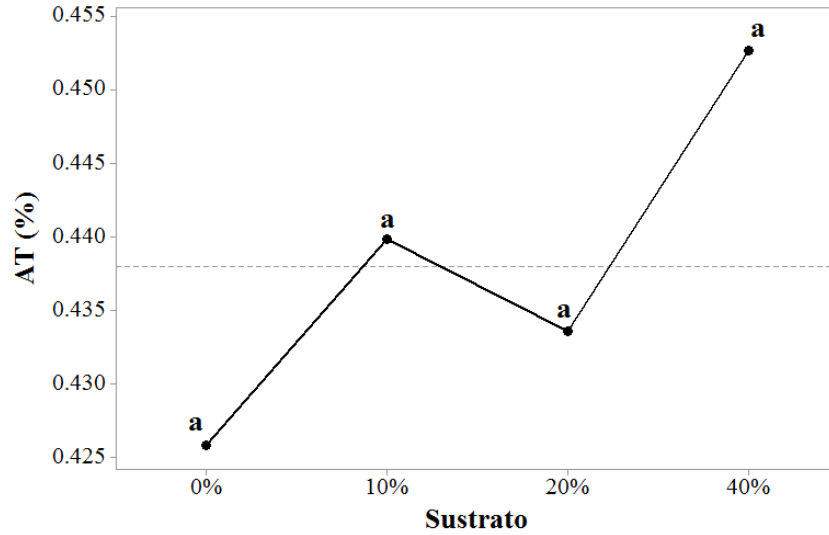


Figura 12. AT (%) en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

### Relación °Brix/Acidez

En la relación °Brix/Acidez, no se encontró diferencia significativa entre los sustratos (0.304). Los valores oscilaron del 12.77 al 14.51, siendo el sustrato con 20% composta el mayor (Figura 13).

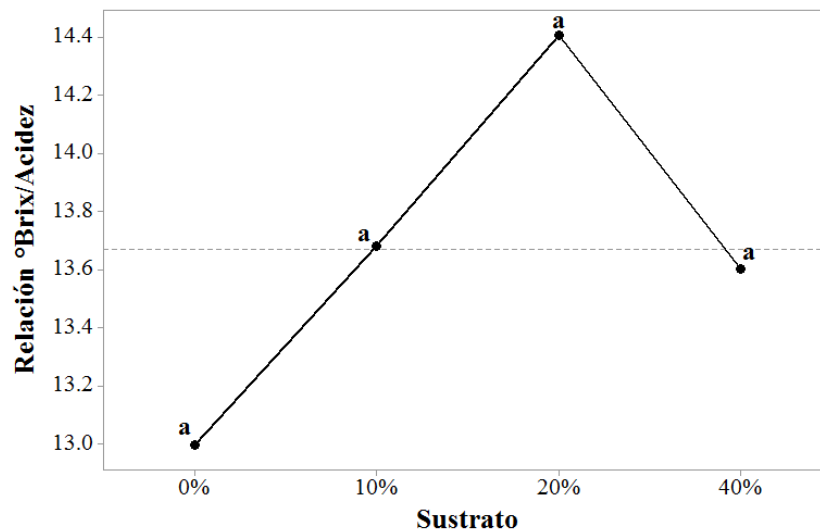


Figura 13. Relación °Brix/Acidez en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

## Potencial de Hidrógeno

El pH fue analizado bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar con cuatro niveles. El análisis estadístico se muestra en el cuadro 18:

Cuadro 18. Análisis de varianza: pH Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	0.004856	0.001619	0.39	0.763
Error	16	0.066736	0.004171		
Total	19	0.071592			

La variable de pH, no refleja diferencia significativa entre sustratos ( $P=0.763$ ). Los valores promedio de los frutos cultivados en los diferentes sustratos con composta oscilaron entre 4.13 y 4.41 (Figura 14). Wills et al. (1998), evaluaron la composición del tomate en diferentes estados de madurez y establecieron que conforme va a madurando, el pH del tomate va aumentando, al igual que lo dicho por González et al. (2000). De acuerdo con Berbesí et al. (2006), es posible observar un incremento en el pH de los productos vegetales debido a que los ácidos orgánicos de reserva presentes en las vacuolas de las células, son transformados por la propia célula a azúcares que son utilizados para la respiración, lo que ocasiona una disminución de la acidez del medio y con ello un aumento del pH.

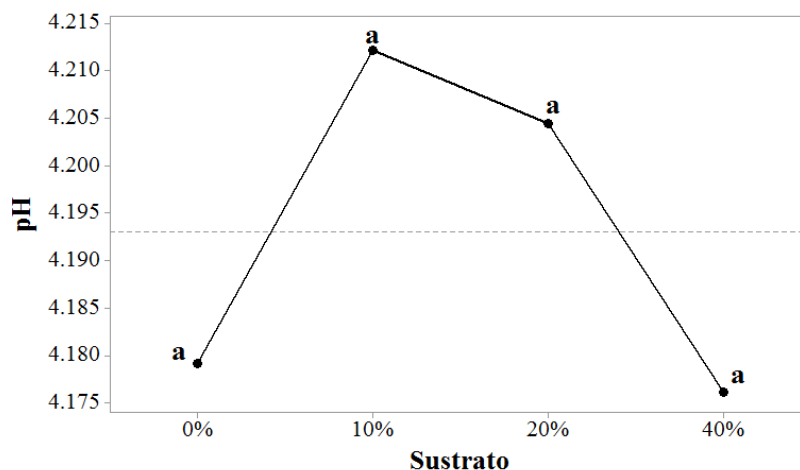


Figura 14. PH de fruto de tomate cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P<0.05$ ).

Respecto al pH del fruto, los valores obtenidos fueron similares a los frutos comerciales o a los frutos de variedades tradicionales de tomate. Arana et al. (2007), consideran que los tomates que presentan características óptimas en cuanto a sabor y aroma, poseen un pH entre 4 y 5. Los valores son similares a los reportados por Juárez-López et al. (2009), ya que su rango está entre 4.1- 4.4 y a los reportados por Juárez-Crisanto et al. (2010), donde sus valores oscilan entre 3.63 y 4.3. Por lo que el pH de los tomates cultivados en las diferentes combinaciones de fibra de coco con composta, junto con el contenido de SST y ácidos, contribuyó fuertemente a definir las características sensoriales de los tomates y sus respectivos derivados (Vecchio et al., 1984)

En relación con el pH, Casierra et al. (2010), señalan que existen varios factores que afectan ésta variable, tales como la fertilización utilizada, también comentan que posiblemente los frutos que tienden a ser más ácidos (menor pH) podrían ser menos susceptibles al ataque de patógenos.

## **Azúcares**

El contenido de azúcares totales se analizó bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar con cuatro niveles, en el cuadro 19 se muestran los resultados del análisis estadístico.

Cuadro 19. Análisis de varianza: Azúcares totales Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	4.0467	1.34889	27.46	0.000
Error	8	0.3930	0.04913		
Total	11	4.4397			

Se encontró diferencia significativa en el contenido de azúcares totales ( $P=0.000$ ) y en el contenido de glucosa ( $P=0.001$ ) y fructosa ( $P=0.001$ ). En el contenido de sacarosa no hubo diferencia significativa entre sustratos ( $P=0.647$ ). El contenido de glucosa, fructuosa y azucares totales aumentó conforme se incrementaba la cantidad de composta

(Cuadro 20). El contenido de azúcares totales mostró diferencia significativa en el sustrato con 20 y 40% de composta respecto al control (Figura 15; Cuadro 20).

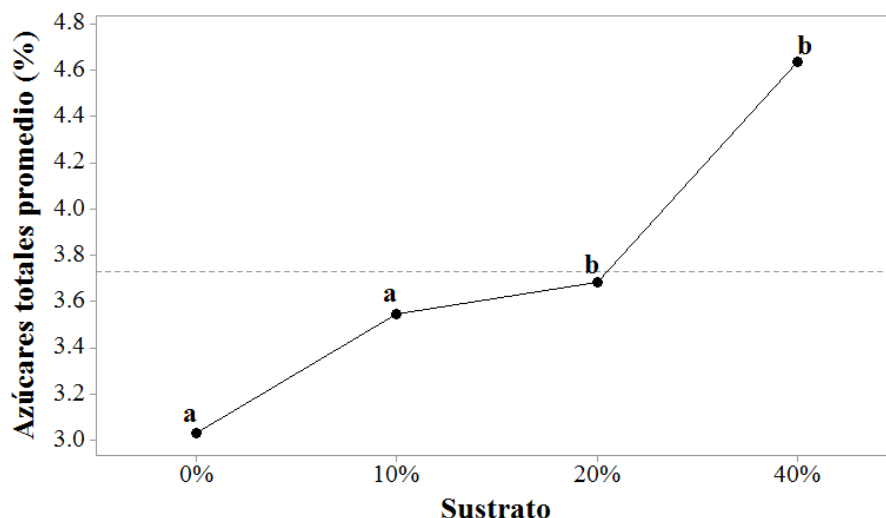


Figura 15. Contenido de azúcares totales en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 20. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y azúcares totales en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta.

Sustrato	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Sacarosa (%)	Relación glucosa/fructosa	Azúcares (%)
0%	1.45 a	1.51 a	0.06 a	0.960	3,03 a
10%	1.73 a	1.77 a	0.04 a	0.977	3.55 a
20%	1.84 a	1.88 b	0.00 a	0.979	3.69 b
40%	2.44 b	2.31 b	0.00 a	1.056	4.64 b

El sustrato que no comparte letra con el control (sustrato con 0% de composta) es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

El contenido obtenido de glucosa y fructosa de los tomates cultivados en las diferentes combinaciones, es cercano a los valores que debe contener un tomate maduro, según lo establecido por la USDA (2005). Su contenido también coincide con lo indicado por otros autores como Lojudice et al. (1995), Ruíz et al. (2004) y Stommel et al. (2005), al igual que la relación glucosa/fructosa (Cuadro 20), indicando que la intensidad de sabor es la adecuada para frutos de tomate (Osvald et al., 2001). Los resultados son similares a los obtenidos por Wang y Shin-Shan

(2006), en donde se obtuvo mayor contenido de glucosa y fructosa conforme se adicionaba composta al medio.

La diferencia en el contenido de azúcares puede deberse a la variedad, ya que Ordoñez-Santos (2006) menciona que los efectos de siembra sólo afectan a ciertas variedades, pudiendo ser la variedad Horus una de éstas. Por otra parte, Vinhal-Freitas et al. (2010), indican que la aplicación de composta aumenta el contenido de azúcares, lo que se podría relacionar con una mayor actividad microbiana del suelo. Además, la razón de los cambios en la actividad microbiana puede deberse a que la composta representa una fuente de carbono y energía.

### **Ácidos orgánicos: cítrico, málico y oxálico.**

Los ácidos cítrico, málico y oxálico se analizaron bajo un diseño experimental de un factor totalmente al azar con cuatro niveles. Únicamente el ácido cítrico fue significativo en el análisis, su análisis estadístico se muestra en el cuadro 21.

Cuadro 21. Análisis de varianza: Ácido cítrico Vs. Sustrato.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sustrato	3	0.013277	0.004426	8.89	0.006
Error	8	0.003943	0.000493		
Total	11	0.017221			

El ácido orgánico predominante en los frutos de tomate fue el ácido cítrico y los resultados obtenidos muestran diferencia significativa en su contenido entre los tomates cultivados en el sustrato control (0% composta) y los cultivados con cierta cantidad de composta (P=0.006). El contenido de ácido málico (P=0.240) y ácido oxálico (0.797) no mostró diferencia significativa (Cuadro 22). Los tomates cultivados en la combinación con 20% de composta, tuvieron 32% más ácido cítrico que el control (Figura 16).

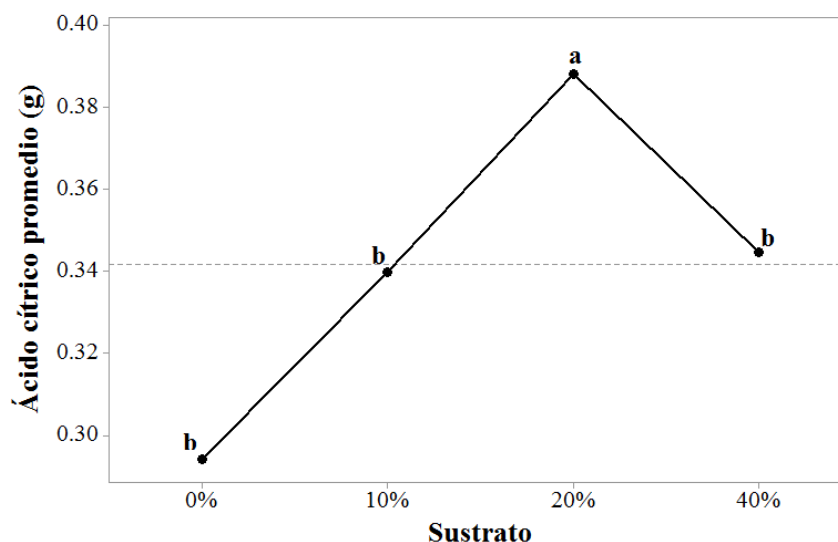


Figura 16. Contenido de ácido cítrico en tomate bola cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta. El sustrato que no comparte letra con el control es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 22. Contenido de ácido cítrico, málico y oxálico en 100 g de tomate bola, cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco con composta.

Sustrato	Ácido cítrico (g)	Ácido málico (g)	Ácido oxálico (g)	Relación cítrico/málico
0%	0.294 a	0.063 a	0.01 a	4.667
10%	0.340 a	0.068 a	0.00 a	5.000
20%	0.388 b	0.073 a	0.00 a	5.315
40%	0.345 a	0.068 a	0.00 a	5.074

El sustrato que no comparte letra con el control (0%) es significativamente diferente, Dunnett ( $P < 0.05$ ).

La diferencia en la acidez puede deberse en gran medida de la variedad y al estado de madurez. De acuerdo a lo establecido por Nuez (2001) los valores más altos se presentan durante la maduración con la aparición del color rosado, para después reducirse progresivamente.

El contenido de ácido cítrico obtenido coincide con el de distintos autores como Lojudice et al., 1995, Moraru et al., 2004; Barba et al., 2004, que establecen una acidez total del tomate entre 0.13 y 0.48 g de ácido cítrico/100 g de peso fresco.

La relación del contenido de ácido cítrico y málico se encuentra dentro de los valores establecidos por Osvald et al. (2001), (Cuadro 22), dónde comenta que una adecuada intensidad del sabor en los frutos de tomate se logra cuando el tomate posee una relación de ácido cítrico/málico entre 2.96 y 6.50.

Heeb et al. (2006), comentan que el mayor nivel de estos ácidos en los sustratos con enmienda orgánica posiblemente puede deberse por la absorción de compuestos nitrogenados orgánicos. Ya que si el nitrógeno de la composta puede ser tomado como pequeños compuestos orgánicos, estas sustancias suplirían al mismo tiempo las estructuras de carbono, esto significa que el contenido de ácidos orgánicos no disminuiría.

b

#### Análisis sensorial

El análisis estadístico del análisis sensorial se realizó mediante un ANOVA no paramétrico de un factor totalmente al azar (prueba de Kruskal-Wallis y mediana de Mood). De las variables sensoriales estudiadas, sólo la aceptabilidad resultó estadísticamente significativa, en el cuadro 23 y 24 se muestran los resultados del análisis estadístico.

Cuadro 23. Prueba de Kruskal-Wallis: Aceptabilidad Vs. Sustrato.

Sustrato	N	Meadiana	Rango	Z
0%	30	3.00	43.2	-3.14
10%	30	4.00	67.8	1.33
20%	30	5.00	81.0	3.72
40%	30	4.00	50.0	-1.92
Total	120		60.5	

GL = 3      P = 0.000

Cuadro 24. Prueba de medianas de Mood para Aceptabilidad Vs. Sustrato

Sustrato	N	<N≥	Mediana	Q3-Q1
0%	17	13	3.00	1.25
10%	8	22	4.00	2.00
20%	5	25	5.00	1.00
40%	11	19	4.00	1.00

GL = 3    P = 0.009    Mediana Total = 4.00

El sustrato con 20% de composta mostró diferencia significativa en relación al sustrato control (100% fibra de coco), lo que indica que los tomates cultivados con composta tuvieron mejor aceptación que los cultivados solamente en fibra de coco, sobresaliendo el sustrato con 20% de composta como el de mayor aceptación (Figura 17).

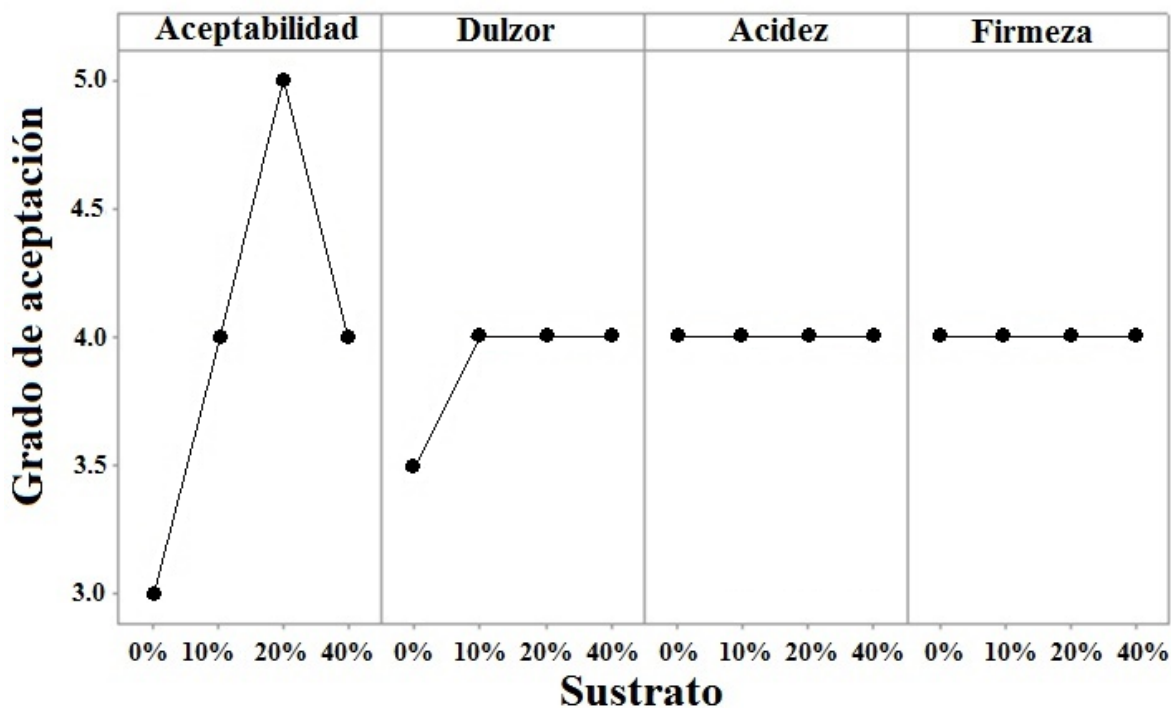


Figura 17. Respuesta del consumidor a los parámetros evaluados en el análisis sensorial del fruto de tomate cultivado en diferentes combinaciones de fibra de coco y composta.

San Martín (2011) indica que se requieren altos contenidos de azúcares y ácidos para proporcionar un mejor sabor; altos ácidos y bajos azúcares producen un sabor ácido; altos azúcares y bajos ácidos un sabor suave y ambos bajos resultan en un fruto insípido.



Esto debido a que los contenidos de azúcares (fructosa y glucosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico) tienen una relación sobre la intensidad del sabor (Rosello et al., 2002; Abegaz et al., 2004; Ruíz et al., 2004; Cebolla et. al., 2006; Baldwin et al., 2007; Dávila et al., 2011; Gómez-Morales, 2012).

Es posible que la aceptabilidad hacia los tomates cultivados con cierta cantidad de composta esté relacionada con el contenido de ácido cítrico en los frutos, ya que los frutos más aceptados, cultivados en sustrato con 20% de composta, son los que tienen un mayor contenido de ácido cítrico en comparación a los demás (Cuadro 22). De la misma manera, los tomates cultivados en combinación con composta al 20 y 40% tuvieron mayor contenido de fructosa y glucosa. Lo anterior indica que un mejor sabor de tomate, reflejado en la aceptabilidad del consumidor, depende del balance entre el contenido de glucosa y fructosa, y el contenido de ácido cítrico.

## CONCLUSIONES

La calidad poscosecha y el rendimiento obtenido como respuesta a los sustratos con composta, fue similar o superior al sustrato convencional sin composta (100% fibra de coco). La combinación con 10% de composta tuvo 27.7% más rendimiento que el control (solo fibra de coco).

En la calidad química del fruto de tomate, la combinación de la fibra de coco con 20% de composta tuvo mayor contenido de SST y el contenido de fructosa y glucosa aumento conforme se incrementaba la cantidad de composta en el medio de cultivo. El contenido de ácido cítrico fue 32% mayor cuando se utilizó 20% de composta en el medio de cultivo en comparación con los frutos control. Respecto a la calidad física (color y firmeza), no hubo diferencia significativa entre los sustratos.

Con base a la calidad sensorial de los frutos, los sustratos con composta tuvieron mejor aceptación, siendo los tomates cultivados en el sustrato con 20% de composta los de mayor aceptación por los consumidores. Lo que indica que un mejor sabor de tomate, depende del mayor contenido de glucosa, fructosa y de ácido cítrico en el fruto.

El uso de compostas en combinación con fibra de coco como sustrato representa una buena alternativa para la producción de tomate bajo invernadero. Así mismo, el uso de compostas contribuye a mejorar la calidad sensorial del cultivo logrando una mayor aceptabilidad por parte de los consumidores.

## LITERATURA CITADA

- Abad, M. y Noguera, P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid. 131-166 p.
- Abegaz, E. G., Tandon, K. S., Scott, J. W., Baldwin, E. A. y Shewfelt, R. L. 2004. Partitioning taste from aromatic flavour notes of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) to develop predictive models as a function of volatile and non-volatile components. *Postharvest Biology and Technology*. 34(3) 227-235.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. Versión española de C. I. Cerisola y E. Dominguez. Mundiprensa. Madrid. 347 pp.
- Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C.). 1998. Official methods of analysis. Décimo sexta edición. AOAC International. Guithersburg, MD. EE. UU.
- Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC). 2016. I Censo GH México  
Recuperado de:  
<http://www.amhpac.org/menu%20pricipal/censoGHmexico/censo.php>
- Araiza E., Siller, C. J., Muy, R. D., Heredia, B. y Sánchez, E. 1997. Maduración en frutos de tomate de larga vida de anaquel. Memoria XXVII congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 32:37.
- Arana, C. J., Arazuri, S., García-Gembe, M. J., Ursua, A. y Riga, P. 2007. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. Simposio Poscosecha, Orihuela. 115-115.
- Atiyeh, R., Arancon, N., Edwards, C. y Metzger, J. 2000. Influence of earthworm processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*. 75(3): 175-180.

- Azarmi, R., Sharifi, Z. y Reza, S. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Pakistan Journal of Biological Sciences. 11(4): 1797-1802.
- Azarmi, R., Torabi, G. y Hajieghrari, B. 2009. The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. African Journal of Biotechnology. 8(19):4953-4957.
- Báez, M., Siller, J., Muy, D., Araiza, E., Contreras, L. y Sañudo, A. 2001. SmartFresh™: Una novedosa tecnología para extender la vida de anaquel en tomate. Tecnología de Alimentos. 36(3): 7-11.
- Baldwin, E. A., Plotto, A. y Goodner, K. 2007. Shelf-life versus flavour-life for fruits and vegetables: how to evaluate this complex trait. Stewart Postharvest Review. 3(1): 1-10.
- Baldwin, E. A., Scott, J. W. y Shewfelt, R. L. 1995. Quality of ripened mutant and transgenic tomato cultigens. Proceedings of the Tomato Quality Workshop. 503:47-57.
- Barba, E. M., López, M. D., Valverde, M., Sánchez, A. y Madrid, R. 2004. Calidad de variedades de tomate para industria: parámetros químicos. Agrícola Vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura. 23(276): 608-613.
- BBC Laboratories. 2003. Compost tea, microbiological interpretive guide. Recuperado de [www.bbclabs.com](http://www.bbclabs.com)
- Berbesí, M., Díaz, R., Guevara, L. y Tapia, M. 2006. Calidad higiénica y patógenos asociados con melones mínimamente procesados expendidos en supermercados. En: González-Aguilar y Fabiola-Cuamea (eds.). I Simposio Ibero-Americano De Vegetales Frescos Cortados. CIAD, México. 47-54 p.
- Bourne, M. 1980. Texture evaluation of horticultural crops. Horticultural Science. 15(1): 51-57.
- CAADES. 2015. Cierre de ciclo de hortalizas: Temporada 2014-2015. 113 pp.
- Cambardella, C. A., y Elliott, E. T. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Science Society of America Journal. 58(1), 123-130.

- Cantwell, M. 2004. Optimum procedures for ripening tomatoes. Management of fruit ripening. Postharvest Series (9). University of California. 85-91 p.
- Capistrán, F., Aranda, E. y Romero, J. 2001. Manual de Reciclaje, Compostaje y Lombricompostaje. Instituto de Ecología, AC. Primera edición. Veracruz. 150 pp.
- Casierra-Posada, F., Álvarez, O. J. y Luque, S. N. 2010. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. *Rocío*) producidos bajo cobertura reflectiva y plástica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 4(1): 67-80.
- Castellanos, J. Z. y Borbón, C. 2009. Panorama de Horticultura Protegida en México. En: Castellanos, J. Z (ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri. Primera edición. México. 2-4 p.
- Castellanos, J. Z. y Ojodeagua, J. L. 2009. Formulación de la solución nutritiva. En: Castellanos, J. Z (ed.). Manual de producción de tomate en invernadero Intagri. México. 131-155 p.
- Castellanos, J. Z. y Vargas, P. 2009. Los Sustratos en la Horticultura Protegida. En: Castellanos, J. Z. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri. México. 105-128 p.
- Cebolla, C. J., Roselló, S., Beltrán, J., Serrano, E. y Nuez, F. 2006. Análisis de perfiles aromáticos en variedades tradicionales y comerciales de tomate. Actas de Horticultura (III Congreso de Mejora Genética de Plantas). 45:61-62.
- Cruz, C. E., Sandoval, V. M., Haller, V., Hugo, V., Can C, Á. y Sánchez Escudero, J. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(7): 1361-1373.
- Davies, J. y Hobson, G. 1981. The Constituents of Tomato Fruit the Influence of Environment, Nutrition, and Genotype. Food Science and Nutrition. 15(3): 205-280.
- Dávila, J., González, G. A., Ayala, J. F., Sepúlveda, D. R. y Olivas, G. I. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. Revista Fitotecnia Mexicana. 34(2): 133-143.
- De la Cruz, E., Estrada, M. A., Robledo, V., Osorio, R., Márquez, C. y Sánchez, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. Universidad y Ciencia. 25(1): 59-67.

- De la Cruz, E., Osorio, R., Martínez, E., Lozano, A., Gómez, A. y Sánchez, R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*. 35 (5): 363-368.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Diario Oficial de la Federación. 2007. NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba.
- Diez, J. M. 2001 Tipos varietales. En: Nuez F (ed.). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. México. 796 pp.
- Duchaufour, P. 1984. *Edafogénesis y Clasificación*. Masson, S. A. Primera edición. Barcelona. 493 pp.
- Ehret, D. L, Forge, T., Helmer, T. y Lin, W. 2009. Organic fertilizers for greenhouse tomatoes: productivity and substrate microbiology. *HortScience*. 44(3): 800-809.
- EPA. 2006. Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. EPA-821-R-06-14. Environmental Protection Agency.
- EPA. 2010. Method 1680: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by MultipleTube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium. EPA-821-R-10-003. Environmental Protection Agency.
- Espinosa, C. 2004. *Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción*. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Torreón, México.
- FAO. 1990. *Soilless Culture for horticultural Crop production*. Plant production and protection paper 101. Roma. 188 pp.
- FAO. 2007. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAOSTAT <http://www.fao.org> (Consulta: 20 Abril 2011).

- Flaño, A. 2013. Situación del tomate para consumo fresco. ODEPA Oficina de estudios y políticas agrarias.
- Gómez-Morales, M. E. 2012. Calidad de fruto en 12 poblaciones silvestres de jitomate *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Dunal) del occidente de México. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
- González, A. M. G., Sanjuán, M. d. C. S., y Gavilán, M. U. 2000. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. En: Tratado de cultivo sin suelo. Mundi Prensa. 914 pp.
- Grigatti, M., Giorgioni, M. E. y Ciavatta, C. 2007. Compost-based growing media: influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresource Technology*. 98 (18): 3526-3534.
- Gutiérrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J.A., Montes-Molina, C., Carlos-Nafate, M., Abud-Archila, M.A., Oliva-Laven, Rincón-Rosales, R. y Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology*. 98(15): 2781-2786.
- Hartwig, P. y McDaniel, M. 1995. Flavor characteristics of lactic, malic, citric, and acetic acids at various pH levels. *Journal of Food Science*. 60(2): 384–388.
- Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G. y Ericsson, T. 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Journal of plant nutrition and soil science*. 169(4): 535-541.
- Herrera, F., Castillo, J., Chica, A. y López, B. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technology*. 99(2):287-296.
- Inden, H. y Torres, A. 2005. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*. 644:205-210.
- Juárez-López P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Ramírez-Vallejo, P., Sandoval-Villa, M., Reed, D. W., Cisneros-Zevallos, L. y King, S. 2009. Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15 (2): 5-9.
- Juárez-Crisanto, Andrés U., Vera Guzmán, Araceli M., Servía Chávez, José L., José C. Carrillo Rodríguez. 2010. Calidad de Frutos de Tomates Silvestres (*Solanum*

*lycopersicum* var. *cerasiforme* Dunal). De Oaxaca México. Fitotecnia Mexicana. 33(4): 7-12

- Kader, A. 1993. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Segunda edición. Richmond. 535 pp.
- Kader, A. A., Morris, L. L., Stevens, M. A. y Albright-Holton, M. A. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. Journal of the American Society for Horticultural Science. 103(1): 6-13.
- Labrador, J. y Guiberteau, A. 1991. Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. Hojas divulgadoras, 8(91): 44.
- Laich, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Jornada Técnica. Recuperado de <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>
- Lawless, H. T. y Heymann, H. 2010. Sensory evaluation of food: principles and practices. Springer. Segunda edición. México. 150 pp.
- Lemaire, F. 1997. The problem of the bioestability in organic substrates. International Symposium Media and Plant Nutrition in Horticulture. 450: 63-69.
- López, P. P., Cano Montes, A. y Rodríguez De La Rocha, G. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Tecnociencia. 5(2), 98-104.
- Loiudice, R., Impembo, M., Laratta, B., Villari, G., Voi, A. L., Siviero, P. y Castaldo, D. 1995. Composition of San Marzano tomato varieties. Food Chemistry. 53(1), 81-89.
- Madhavi D. y Solunke D. K. 1998. Tomato. En: Salunkhe D.K. y Kadam S.S.(eds.). Handbook of Vegetable Science and Technology-Production, Composition, Storage and Processing. Marcel Dekker, Inc, New York, 171-201 p.
- Márquez, H. y Cano, P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Actas Portuguesas de Horticultura 5(1): 219–224.



- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J. A., Rodríguez-Dimas, D. y García-Hernández, J. L. 2012. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton* (Buenos Aires). 82(1): 55-61.
- Márquez, C., Cano, P., Chew, Y., Moreno, A. y Rodríguez, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(2): 183–189.
- Márquez, H., Cano, P. y Dimas, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*. 34: 69-74.
- Martínez, E. 2005. Efecto de composta elaborada a base de gallinaza sobre la producción de tomate (Var. Saladete Río Grande) en invernadero. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Maynard, A. A. 1995. Cumulative effect of annual additions of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. *Compost science & utilization*. 3(2): 47-54.
- Mendoza, H. 2005. Informe de tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.
- Mendoza, W. 1996. Características cuticulares y actividad poligalacturonasa durante la maduración y senescencia de los frutos de tomate. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A, C, Hermosillo, Sonora, México. P. 93-97.
- Minolta. 1994. Precise color communication. Color control for feeling to instrumentation. Minolta corporation. Osaka, Japan. P-18.
- Mitchell, J., Shennan, C., Grattan, R. y May, M. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *Journal American Society Horticultural Science*. 116(2): 215-221.
- Moraru, C., Logendra, L., Lee, T. C. y Janes, H. 2004. Characteristics of 10 processing tomato cultivars grown hidroponically for the NASA Advanced Life Support (ALS) Program. *Journal of Food Composition and Analysis*. 17(2): 141-154.

- Nieto, A., Murillo, B., Troyo, E., Larrinaga, J. y García, J. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417–421.
- Nuez, F. 1995. El Cultivo del Tomate. En: Chamarro, L. (ed.). *Anatomía y Fisiología de la Planta*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 44-91.
- Nuez F. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión de tomate. En: Nuez, F (1ª ed). *El cultivo de tomate*. Librería Agropecuaria. España. P. 14-43
- Ojeda J., Silveria G., Baéz, S., Troncoso R., Mercado R. y Bringas T. 1995. Predicción de la vida de anaquel del tomate usando características de calidad. *Horticultura Mexicana*. 4(2):73.
- Ojeda, L. 2003. Aplicación de compost de residuos vegetales sobre tomate y pimiento. *Vida Rural*. (175): 48-50.
- Ordoñez-Santos, L. E. 2006. Estudio comparativo de las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) procedente de cultivo ecológico y convencional, en fresco y tras la obtención de triturados, y de diferentes derivados comerciales de tomate. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A. y Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 6(3): 339-346.
- Osvald, J., Petrovic, N. y Demisar, J. 2001. Sugar and organic acid content of tomato fruit (*Lycopersicon lycopersicum* Mill.) grown on aeroponic at different plant density. *Acta Alimentaria*. 30(1): 53-61
- Papadopoulos, I. 1987. Nitrogen fertirrigation of greenhouse-grown tomato. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 18(8): 897-907.
- Peet, M. M. 1996. Sustainable practices for vegetable production in the south: tomato. *AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology*.
- Perea, E. 2010. Alto crecimiento de agricultura protegida; hay desorden y abandono regional. *Invernaderos y Riego*.

- Pujolà, M. y Jiménez, J. 1985. Compostaje: Obtención de un producto útil como abono para la agricultura. *Tecnología riegos y drenajes XXI*. 1(4): 51-57.
- Raviv, M., Zaidman, B. y Kapulnik, Y. 1998. The use of compost as a peat substitute for organic vegetable transplant production. *Compost Science & Utilization*. 6(1): 46-52.
- Raviv, M., Medina, S., Krasnovsky, A. y Ziadna, H. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in dairy manure composting for organic agriculture. *Compost Science & Utilization*. 12(1): 6-10.
- Raviv, M. 2005. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A Mini-Review. *HortTechnology*. 15(1): 52-57.
- Resh, H. 1997. *Cultivos hidropónicos*. Ediciones Mundi-prensa, primera edición, Barcelona. 510 pp.
- Robertson, F. A., y Morgan, W. C. 1995. Conversion of pasture and conventionally cultivated land to organic vegetable production: effects of compost and legume green manure on soil microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Rodríguez, D., Cano, R., Figueroa, V., Palomo, G., Favela, C., Álvarez, V., Márquez, H. C. y Moreno, R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(3): 265–272.
- Rosello, S., Galiana-Balaguer, L., Herrero-Martínez, J. M., Maquieira, A. y Nuez, F. 2002. Simultaneous quantification of the main organic acids and carbohydrates involved in tomato flavour using capillary zone electrophoresis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 82(10): 1101-1106.
- Ruíz, V. F., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Torija, M. E., Chaya, C., Balaguer, L. G., Rosello, S. y Nuez, F. 2004. Internal quality characterization of fresh tomato fruit. *Horticulturae Science*. 39(1): 339-345.
- Santiago, J., Mendoza, M. y Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 9(1): 59-65.

- Sánchez, F. 2008. Perspectivas de horticultura protegida en México. Modulo I. Introducción y fundamentos de la horticultura protegida. Primer curso de especialización en horticultura protegida. UACh. Departamento de Fitotecnia.
- Sakata. 2016. Cultivo en invernaderos. México: Sakata seed. Recuperado de: <http://www.sakata.com.mx/es/cultivo-en-invernaderos.html>
- Siller, J. H. y Báez, M. A. 2011. Recolección, empaque y manejo poscosecha. En: Castellanos, J. Z. (ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, Celaya, 409-426.
- Singh, R., Sharma, R., Kumar, S., Gupta, R. y Patil, R. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Bioresource Technology. 99(17):8507-8511.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil. 15(2):134–154.
- Stommel, J., Abbott, J. A., Saftner, R. A. y Camp, M. J. 2005. Sensory and objective quality attributes of beta-carotene and lycopene-rich tomato fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science. 130(2): 244-251.
- Subler, S., Edwards, C. y Metzger, J. 1998. Comparing vermicomposts and composts. Biocycle. 39(7): 63-66.
- USDA. 1991. United States standards for Grades of Fresh Tomatoes. US Department of Agriculture.
- USDA. 2005. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. Recuperado de: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR17/reports/sr17fg11.pdf>.
- Vargas, T., Castellanos, J., Sánchez, G., Tijerina, C., López, R. y Ojodeagua, J. 2007. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(4): 375-381.
- Vecchio, F. A., Armbruster, G. y Lisk, D. J. 1984. Quality characteristics of New Yorker and Heinz 1350 tomatoes grown in soil amended with a municipal sewage sludge. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 32(2) 364-368.

- Vinhal-Freitas, I. C., Wangen, D. R. B., Ferreira, A. D. S., Corrêa, G. F. y Wendling, B. 2010. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34(3): 757-764.
- Wang, S. Y. y Shin-Shan, L. 2006. Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *Journal of plant nutrition*. 23(10): 2243-2259.
- Willcox, J. K., Catignani, G. L. y Lazarus, S. 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 43(1): 1-18.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. y Joyce, D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Acribia. Segunda edición. Zaragoza. 240 pp.
- Wu, L. y Ma, L. Q. 2001. Effects of sample storage on biosolids compost stability and maturity evaluation. *Journal of Environmental Quality* 30(1): 222-228.
- Zoran, I., Nikolaos, K. y Ljubomir, Š. 2014. Organic Agriculture Towards Sustainability. Tomato Fruit Quality from Organic and Conventional Production. INTECH. 147-169 p.