

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**

**NUTRICIÓN DE TOMATE Y PRODUCCIÓN DE LICOPENO**

**ALONSO RENTERÍA GÓMEZ**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

2013

La presente tesis titulada: Nutrición de tomate y producción de licopeno realizada por el alumno: Alonso Rentería Gómez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESOR

  
DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR

  
DRA. HILDA VICTORIA SILVA ROJAS

ASESOR

  
M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MARQUEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2013

## NUTRICIÓN DE TOMATE Y PRODUCCIÓN DE LICOPENO

Alonso Rentería-Gómez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue cuantificar la producción del licopeno en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en función de la variedad, del sustrato y promotores de crecimiento utilizados para su producción. Para cumplir el objetivo se instaló un experimento factorial 2 x 2 x 2 para obtener 16 tratamientos con seis repeticiones. Los tratamientos fueron aplicados en dos cultivares de jitomate: una variedad comercial “sweet cluster” y un cultivar silvestre; con dos sustratos: tezontle y fibra de coco; como promotores de crecimiento se aplicó al follaje yoduro de potasio y se inoculó a la raíz la bacteria promotora de crecimiento (BPC) *Sphingomonas* sp. Se evaluó la concentración de licopeno en el fruto así como el rendimiento total y por racimo. Los frutos que presentaron mayor concentración de licopeno fueron aquellos inoculados con *Sphingomonas* sp. El tipo de sustrato no influyó en la concentración de licopeno en el fruto. No se presentaron diferencias significativas en el rendimiento por efecto de inoculación de *Sphingomonas* sp., aplicación de yoduro de potasio o sustrato.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, bacterias, yoduro de potasio, hidroponía.

# NUTRITION OF TOMATO AND PRODUCTION OF LYCOPENE

Alonso Rentería-Gómez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

## ABSTRACT

The purpose of the research was to quantify the production of lycopene in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as affected by genotype, substrate and growth promoters. To carry out a factorial experiment 2 x 2 x 2 was installed giving 16 treatments with six replications. Treatments were applied in two cultivars of tomato: a commercial variety “sweet cluster” and a wild variety, with two substrates: red and porous gravel known as “tezontle” and coconut fiber. As growth promoters potassium iodide was applied to foliage and seedlings were inoculated at the root with growth promoting bacteria (GPB) *Sphingomonas* sp. The concentration of lycopene was evaluated in the fruit, also total yield. The fruit showed higher lycopene concentration in fruits from plants inoculated with *Sphingomonas* sp. Substrate did not affected lycopene content. There were no significant differences in yield due to inoculation of *Sphingomonas* sp. or application of potassium iodide neither for substrate.

**Index words:** *Solanum lycopersicum*, bacterium, potassium iodine, hydroponics.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados por el financiamiento y apoyo educativo para realizar mis estudios de maestría.

Al programa de Edafología en el área de Nutrición Vegetal por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación a través del proyecto Nutrición de Tomate y Producción de Licopeno.

A los integrantes de mi consejo particular: Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, Dr. Manuel Sandoval Villa, Dra. Hilda Silva Rojas y M.C. Luis Emilio Catillo Márquez por sus enseñanzas, apoyo y motivación durante mis estudios de postgrado.

A todo el personal del Colegio de Postgraduados, laboratoristas, trabajadores del invernadero y secretarías, por las facilidades brindadas, especialmente al Lobo y Laura.

A mi familia, por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

A Luz, gracias por hacer que este tiempo fuera mucho más agradable.

A Pilar, por el apoyo necesario para concluir satisfactoriamente este proceso.

A todos mis amigos del Colegio: Luz., Erwin, Morgado, Josefina, Sandra, Nora, que estuvieron presentes en estos meses de mi vida. Gracias.

Al equipo de Genética por ser una sana distracción en el COLPOS.

Reitero mi agradecimiento a la Dra. María de las Nieves por su comprensión y apoyo en todos los momentos del proceso de titulación.

# DEDICATORIA

A MI MADRE, HERMANAS Y SOBRINOS

GRACIAS POR SER MI APOYO Y FORTALEZA.

CON AMOR Y GRATITUD

ALONSO.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE CUADROS.....	ix
ÍNDICE FIGURAS .....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO E HIPÓTESIS.....	2
2.1. Objetivo .....	2
2.2. Hipótesis .....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
3.1 Importancia del cultivo de tomate .....	3
3.2 Clasificación taxonómica del tomate .....	4
3.3 Generalidades del tomate .....	4
3.4 Licopeno.....	6
3.4.1 Estructura química del licopeno.....	7
3.4.2 Biosíntesis de licopeno.....	7
3.4.3 Fuentes de licopeno.....	8
3.4.4 Licopeno en la salud humana .....	10
3.5 Bacterias promotoras de crecimiento.....	12
3.5.1 Uso de bacterias promotoras de crecimiento en tomate .....	14
3.5.2 Género <i>Sphingomonas</i> .....	16
3.6 Yodo en la agricultura.....	17
3.7 Sustratos.....	19
3.7.1 Tezontle .....	19
3.7.2 Fibra de coco .....	21
3.8 Conclusiones de revisión de literatura .....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24

4.1 Localización del experimento .....	24
4.2 Condiciones climatológicas del invernadero .....	24
4.3 Preparación de sustrato y contenedores.....	24
4.4 Instalación del sistema de riego.....	25
4.5 Formulación de solución nutritiva .....	25
4.6 Material vegetal.....	26
4.7 Producción de plántula .....	26
4.8 Trasplante.....	26
4.9 Inoculación de bacteria promotora de crecimiento ( <i>Sphingomonas</i> sp.) .....	26
4.10 Aplicación de yoduro de potasio .....	27
4.11 Diseño de tratamientos .....	27
4.12 Diseño experimental .....	29
4.13 Manejo del cultivo y control fitosanitario.....	29
4.13.1 Tutorado .....	29
4.13.2 Poda .....	29
4.13.3 Control de plagas y enfermedades .....	30
4.13.4 Cosecha.....	30
4.14 Variables respuesta .....	30
4.14.1 Altura de planta .....	30
4.14.2 Diámetro de tallo .....	30
4.14.3 Lecturas SPAD .....	30
4.14.4 Número de frutos por racimo .....	31
4.14.5 Peso de frutos .....	31
4.14.6 Rendimiento.....	31
4.14.7 Determinación de licopeno por colorimetría .....	31
4.14.8 Sólidos solubles totales (°Brix) .....	31
4.15 Análisis estadístico.....	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.1 Altura de planta.....	32
5.2 Diámetro de tallo.....	33
5.3 Lecturas SPAD .....	34



5.4 Número de frutos por racimo.....	36
5.5 Peso promedio por racimo.....	39
5.6 Rendimiento total.....	41
5.7 Determinación de licopeno por colorimetría.....	43
5.8 Sólidos Solubles Torales (SST) .....	48
6. CONCLUSIONES .....	52
7. BIBLIOGRAFÍA .....	53

## ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes de licopeno (Rao <i>et al.</i> , 2006).....	9
Cuadro 2. Caracterización física del tezontle negro (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003). 20	
Cuadro 3. Fertilizantes utilizados para preparar 1100 litros de solución nutritiva Steiner. 25	
Cuadro 4. Diseño de tratamientos instalados en invernadero con tomate Sweet Cluster y tomate silvestre. ....	28
Cuadro 5. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre altura de planta en frutos de tomate comercial y silvestre.32	
Cuadro 6. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre diámetro de tallo de planta de tomate.....	34
Cuadro 7. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre lecturas SPAD en hojas de tomate.....	35
Cuadro 8. Significancia de lecturas SPAD en hojas de tomate por efecto de variedad a lo largo del ciclo vegetativo.....	36
Cuadro 9. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre número de frutos por racimo de tomate.....	37
Cuadro 10. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre peso de frutos en plantas de tomate. ....	39
Cuadro 11. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre rendimiento total de frutos de tomate.....	42
Cuadro 12. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre licopeno cuantificado por colorimetría en frutos de tomate. ....	44
Cuadro 13. Producción de licopeno en cv Sweet cluster y silvestre en diferentes sustratos y con la inoculación de biofortificantes.....	47
Cuadro 14. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre sólidos solubles totales (SST; °Brix) en frutos de tomate.49	
Cuadro 15. Comparación de medias de Tukey $\alpha = 0.05$ para sólidos solubles totales (SST; °Brix) en la interacción VAR*PROM*SUS.....	50

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del licopeno. Khachick <i>et al.</i> (2002).....	7
Figura 2. Absorción y transporte del licopeno en el ser humano (Rao <i>et al.</i> 2006).....	12
Figura 3. Deposito del sistema de riego.....	25
Figura 4. Número de frutos por racimo en dos cultivares de tomate por efecto de promotores y sustrato (BPC= <i>Sphingomonas</i> sp.). .....	38
Figura 5. Peso promedio de racimos en dos cultivares de tomate por efecto de variedad y sustrato. ....	40
Figura 6. Rendimiento promedio por planta en dos cultivares de tomate por efecto de variedad y sustrato. ....	42
Figura 7. Contenido de licopeno en frutos de tomate por efecto de variedad y promotores cuantificado por colorimetría. ....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el principal cultivo en invernadero en México y en el mundo. México ocupa el décimo lugar en producción, la importancia económica reside en la gran mano de obra que requiere este cultivo. Además de su importancia económica, el consumo de tomate ha demostrado ser benéfico para la salud, gracias a sus componentes, entre ellos el licopeno; este compuesto es un carotenoide responsable de la coloración roja, es el más abundante en el fruto, sus cantidades pueden variar dependiendo de la especie, la madurez y las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo. Este compuesto tiene gran importancia, ya que es uno de las mayores antioxidantes que se consume entre todos los alimentos de la dieta humana. Numerosos estudios se han realizado sobre la forma en que se puede incrementar la cantidad de este compuesto en los frutos, una forma es la inoculación al cultivo de bacterias promotoras de crecimiento que además de favorecer el desarrollo del cultivo incrementan los antioxidantes. En algunos trabajos se ha encontrado que tomates inoculados con estas bacterias en la fase de semillero responden de manera favorable al desarrollo y en la cosecha se han incrementado sus niveles de antioxidantes. El yodo se considera un elemento traza esencial para los mamíferos, y su deficiencia está relacionada con numerosas patologías en el hombre tan graves como el bocio y problemas reproductivos. La absorción de yodo en las plantas depende de la forma y la concentración en que este se encuentre en el ambiente, siendo la más fácil de absorber la forma de yoduro. Las cantidades aplicadas de este elemento deben ser pequeñas para que funciones como biofortificante una excesiva aplicación puede provocar efectos fitotóxicos en las plantas. Al aplicar yoduro de potasio además de mejorar la cantidad del yodo en el cultivo es posible incrementar la cantidad de antioxidantes como el licopeno.

## **2. OBJETIVO E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivo**

- Comparar la producción de licopeno en dos cultivares de tomate: silvestre y variedad Sweet Cluster, en función del sustrato de crecimiento, la aplicación de *Sphingomonas* sp. (cepa de bacterias promotoras de crecimiento) y yoduro de potasio en la nutrición.

### **2.2. Hipótesis**

- La aplicación de *Sphingomonas* sp. (bacterias promotoras de crecimiento) y de yoduro de potasio, además del sustrato, inciden sobre la producción de licopeno en los cultivares de tomate.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Importancia del cultivo de tomate

Con base en la superficie dedicada al cultivo y al valor de producción, el tomate o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza número uno en el mundo (Muñoz, 2009) y la más cultivada en sistemas hidropónicos e invernaderos. El área de cultivo de tomate se ha incrementado en 38% y la producción en 42% en los últimos 10 años (Labate *et al.*, 2007).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), indica que a nivel mundial los principales países productores de jitomate son: China, Estados Unidos, Turquía e India. México por el volumen de producción (2 936 773) se ubicó en el décimo lugar en 2008 (FAOSTAT, 2010; datos actualizados al 2 de septiembre del 2010).

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), dentro del periodo 2000 al 2009, se tuvo en México una reducción del 30% de la superficie sembrada con tomate, se registró la mayor superficie (76 687 80 ha<sup>1</sup>) en el 2001, en tanto que en el 2009 se tuvo la menor con 53 572 67 ha<sup>1</sup> cultivadas con esta hortaliza.

Además de su importancia económica recientemente el consumo de tomate ha demostrado ser benéfico para la salud, debido a su contenido de fotoquímicos como el licopeno y el  $\beta$ -caroteno, flavonoides, vitamina C y muchos nutrientes esenciales (Beutner *et al.*, 2001). Esta composición explica la alta capacidad antioxidante del fruto tanto fresco como procesado (Gahler *et al.*, 2003) y la relación del consumo del tomate con las tasas más bajas de ciertos tipos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares (Rao y Agarwall, 2000).

Algunas variedades de tomate contienen altas cantidades de flavonoides, principalmente quercetina (Crozier *et al.*, 1997). Los flavenoles y flavonas son de particular interés como antioxidantes, tienen un alto potencial para la captación de radicales libres. El consumo de los alimentos que les contengan reduce los riesgos de contraer cáncer (Kaur y Kapoor, 2001).

### **3.2 Clasificación taxonómica del tomate**

Botánicamente el tomate fue descrito por primera vez en 1753 por Linneo como *Solanum lycopersicon* L., pero sería Miller, en 1786, quien lo designaría *Lycopersicon esculentum*, vigente casi hasta nuestros días. En la actualidad, la nomenclatura botánica propuesta por el Sistema de Información Taxonómica Internacional (del inglés ITIS), una asociación internacional conformada por Estados Unidos de América, Canadá y México, y aceptada es *Solanum lycopersicum* L. (Fernández *et al.*, 2007). En México esta propuesta ha sido avalada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO) (San Martín, 2011).

### **3.3 Generalidades del tomate**

La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2009).

El sistema radical del tomate consta de una raíz principal típica de origen seminal que puede alcanzar hasta 60 cm de profundidad y numerosas raíces secundarias y terciarias. Cuando la planta se propaga mediante trasplante, como sucede generalmente, la raíz principal se ve parcialmente detenida en su crecimiento y se favorece el crecimiento de raíces secundarias laterales, las que principalmente se desenvuelven entre los 5 y 70 cm de la capa del suelo. Las proporciones de tallo y en particular, la basal, bajo condiciones adecuadas de humedad y textura del suelo, tienden a formar raíces adventicias (Garza, 1985).

El tallo presenta ramificación dicotómica, es epigeo, erguido con 0.4 a 2 m de altura, cilíndrico cuando joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea a algo leñosa, con pubescencias, con duración anual. La ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en el crecimiento vertical; en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma una

nueva rama y en consecuencia, el crecimiento vertical no se limita desde un punto de vista de la morfología de la planta (Garza, 1985).

Las hojas son compuestas, insertadas sobre los diversos nudos y alternadas. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos, están provistas de glándulas secretoras de una sustancia aromática (Rodríguez *et al.*, 2001). Los bordes de las hojas son dentados, presenta un haz de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia (Garza, 1985).

La flor forma inflorescencias de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; puede llegar hasta 50 flores por inflorescencia. La flor se conforma por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto aromáticas (Rodríguez *et al.*, 2001).

El fruto es una baya que puede tener un color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redonda, achatada, o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, con tamaños variables según la variedad. En sección transversal se aprecian en el tomate la piel, la pulpa firme, el tejido placentario y la pulpa gelatinosa que envuelve a las semillas (Rodríguez *et al.*, 2001). El fruto está unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la cepa de abscisión. Por lo que la separación del fruto en la cosecha puede realizarse por la zona de abscisión o por la zona peduncular del fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable, por lo que son preferibles los cultivares que se separan fácilmente por la zona peduncular (Nuez, 2001). Según este mismo autor la estructura del fruto adulto básicamente está constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5. El crecimiento subsiguiente se da a partir de la yema axilar de la última hoja,



desarrollando un tallo secundario, que crece como una prolongación del tallo primario desplazando lateralmente la inflorescencia. El aspecto es de un tallo principal, que crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas, si este proceso se repite indefinidamente los cultivares se denominan indeterminados, son muy adecuados para los invernaderos. Los cultivares determinados tienen un crecimiento limitado que puede extenderse por unos 2 m. Los segmentos sucesivos del eje principal soportan, de forma progresiva, un número inferior de hojas terminando en una inflorescencia (Nuez, 2001).

### **3.4 Licopeno**

El licopeno clasificado como un carotenoide (Figura 1). Es el principal pigmento responsable de la coloración roja del tomate. Una de las funciones del licopeno y otros compuestos relacionados con los carotenoides es la de absorber la luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta contra la fotosensibilización (Rao *et al.*, 1999). El licopeno ha sido ampliamente estudiado, es una molécula soluble en grasa con 11 dobles enlaces conjugados. Es un precursor de  $\beta$ -caroteno, pero presenta el doble de actividad antioxidante que este. Es estable a bajas temperatura, intensidad de luz y presión atmosférica (Lee y Chen 2002).

El contenido de licopeno en tomate varía considerablemente, por la influencia de la variedad (factores genéticos), la madurez, manejo agronómico y las condiciones ambientales durante el cultivo (George *et al.*, 2004). La elevada actividad antioxidante del licopeno se basa en evitar la oxidación de las células (Kuhad *et al.*, 2008). Evidencias experimentales muestran que genotipos nativos de tomate producen frutos con mayor contenido de sólidos solubles, acidez titulable y concentraciones de licopeno (Juárez *et al.*, 2009) en relación con los híbridos comerciales. Uno de los factores atractivos para el consumidor es la apariencia visual, el carotenoide encargado de la coloración roja del tomate es el licopeno, el cual si se encuentra en las cantidades adecuadas puede generar un color rojo intenso en el fruto y mejorar su calidad (Anguelova y Warthensen, 2000).

### 3.4.1 Estructura química del licopeno

La fórmula molecular del licopeno ( $C_{40}H_{56}$ , PM = 536.88) fue determinada por primera vez por Willstatter y Escher en 1910, los cuales presentaron el licopeno como un isómero de los carotenos (Figura 1). Estudios realizados posteriormente describieron la estructura química general del mismo, como un compuesto hidrocarbonado alifático, soluble en grasas y en lípidos (Wilberg y Rodríguez, 1995).

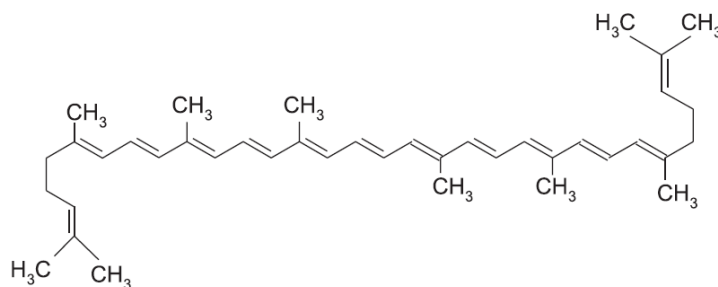


Figura 1. Estructura química del licopeno. Khachick *et al.* (2002).

Por sus propiedades químicas derivadas de su estructura, se debe considerar que todos los factores capaces de degradar otros carotenoides afectan también al licopeno, entre estos están las temperaturas elevadas, la exposición a la luz y al oxígeno, valores de pH extremos y superficies activas (Scita, 1992). Todos estos factores deben considerarse a la hora de la extracción, almacenamiento y manipulación del licopeno. Este análisis debe desarrollarse minimizando la degradación oxidativa y evitando la aparición de isómeros no presentes de forma natural (Nguyen y Schwartz, 1999).

### 3.4.2 Biosíntesis de licopeno

Los carotenoides son una de las muchas familias de metabolitos vegetales derivados de la biosíntesis de los isoprenoides, y comparten el precursor de cinco carbonos, isopentil pirofosfato (IPP), con cerca de 20,000 metabolitos vegetales. Cuatro unidades de IPP se unen para formar una subunidad de veinte carbonos: el geranylgeranyl pirofosfato (GGPP). El GGPP se usa también en la formación de los tocoferoles (vitamina E), filoquinona (vitamina K1) y las plastoquinonas (Romer *et al.*, 2000).

La biosíntesis de licopeno tiene lugar en el interior de los plastidios. Puede presentarse como isómero *cis* e isómero *trans* aunque, salvo pocas excepciones, su forma natural en las plantas es la configuración *trans*, que a su vez constituye la forma química más estable a los tratamientos térmicos (Wilberg y Rodríguez, 1995). Durante la maduración del fruto, el mecanismo principal de regulación de la biosíntesis y la acumulación de los carotenoides está regulado por la transcripción y expresión de los genes (Lu y Li, 2008).

La obtención de licopeno por síntesis química aún no está totalmente establecida y, a diferencia de otros carotenoides como el  $\beta$ -caroteno producido a gran escala por síntesis, el licopeno se obtiene fundamentalmente a partir de fuentes naturales (Perking *et al.*, 2001).

### **3.4.3 Fuentes de licopeno**

De los más de 50 carotenoides presentes en los alimentos, el licopeno se encuentra en un grupo reducido de los mismos. Entre éstos destaca el tomate y los productos elaborados a partir del tomate como principal fuente de licopeno en la dieta. El contenido de carotenoides, y especialmente licopeno, en los tomates varía en función de muchos factores como son la variedad, condiciones agronómicas, estado de madurez y procesado (Periago *et al.*, 2001).

El tomate y sus derivados son la principal fuente de licopeno para el hombre (comprende de 80 a 90% de los pigmentos presentes), se consume fresco y procesado (Candelas *et al.*, 2005). La cantidad depende de la especie, la madurez y las condiciones ambientales en las que la fruta madura (Shi y Le, 2000). Otras fuentes de licopeno son la sandía, la guayaba rosa, la papaya y la toronja zanahoria entre otras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fuentes de licopeno (Rao *et al.*, 2006).

<b>Fuente</b>	<b>Contenido de licopeno (mg·100 g<sup>-1</sup> base húmeda)</b>
Tomate fresco	0.72-20
Tomate jugo	5.00-11.60
Tomate salsa	6.20
Tomate pasta	3.65
Tomate sopa	7.99
Salsa cátsup	9.90-13.44
Salsas para pizza	12.71
Sandía	2.3-7.2
Guayaba rosa	5.23-5.50
Toronja	0.35-3.36
Papaya	0.11-5.3
Zanahoria	0.65-0.78
Calabaza	0.38-0.46

Los productos procesados del tomate presentan una mayor proporción de licopeno como consecuencia de la reducción del contenido de agua asociada a los procesos de concentración, deshidratación y calentamiento aplicados durante el procesado industrial (Tonucci *et al.*, 1995; Nguyen y Scharzt, 1999).

Incluso algunos autores han observado una mayor biodisponibilidad del licopeno en los productos procesados (Gärdner *et al.*, 1997). Este efecto se debe principalmente a que el procesado industrial, triturado y homogeneización, favorece la ruptura de la estructura celular y aumenta la disponibilidad de este compuesto (Van Het Hof *et al.*, 2000).

Diferentes estudios han mostrado la relación que existe entre la cantidad de licopeno y la calidad del tomate. George *et al.* (2004) estudiaron la cantidad de este antioxidante en 12 genotipos de tomate en los que encontraron diferencias significativas en el contenido de licopeno, ácido ascórbico y ácido fenólico; de los genotipos estudiados, algunas variedades de tomate cherry presentaron los más altos contenidos. Los tomates cultivados en campo contienen niveles de licopeno, que van desde 5.2 hasta 23.6 mg·100 g<sup>-1</sup> de materia húmeda (Abushita *et al.*, 2000), los tomates de invernadero presentan contenidos de licopeno de 0.1 a 10.8 mg·100 g<sup>-1</sup> de materia seca (Leonardi *et al.*, 2000).

La cantidad de carotenoides en tomate es importante, no solo debido al color, sino también a sus reconocidos beneficios para la salud. Varios trabajos han sido llevados a cabo para aumentar sus niveles en tomate a través de programas de mejoramiento o mediante el uso de tecnologías durante la maduración y el almacenamiento postcosecha (Alba *et al.*, 2000).

#### **3.4.4 Licopeno en la salud humana**

Este carotenoide tiene el más alto nivel de actividad antioxidante entre todos los antioxidantes de la dieta humana, se ha demostrado que el licopeno induce la comunicación de célula a célula y modula las hormonas, el sistema inmune y otras vías metabólicas (Rao y Agarwal, 1999).

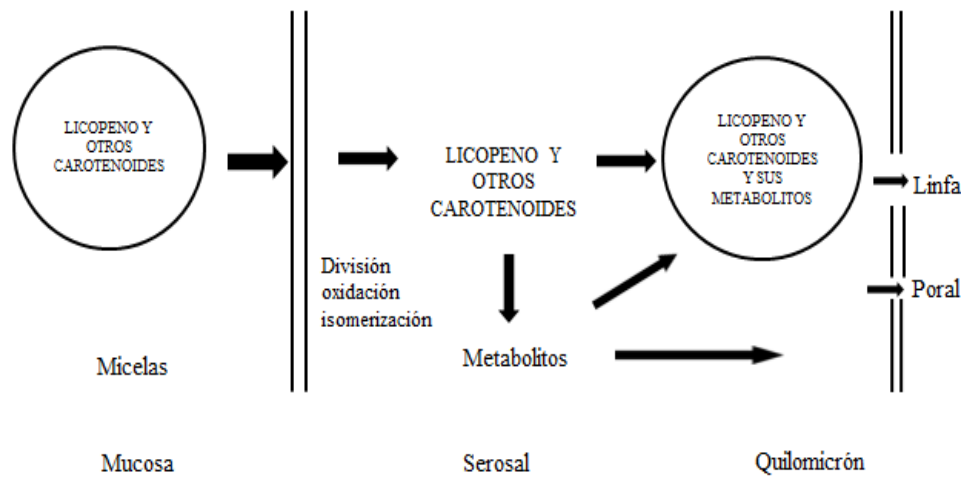
Muchas de las enfermedades en el hombre, como el cáncer y las enfermedades cardíacas, se asocian a los procesos de oxidación celular mediados por los radicales libres, las evidencias epidemiológicas ponen de manifiesto la importancia de los carotenoides y principalmente del licopeno, así como el consumo de tomate y productos a base de tomate, en la prevención de determinados tipos de cánceres (Rao *et al.*, 1999). Este efecto se basa en la principal propiedad biológica del licopeno, que es la de actuar como sustancia antioxidante, reduciendo la reacción de oxidación tanto *in vitro* como *in vivo*, al eliminar estos agentes de los sistemas biológicos o al detener la reacción de formación de radicales libres (Handelman, 1996).

El principal mecanismo por el cual los carotenoides actúan se debe a la capacidad de secuestrar especies activas de oxígeno, destaca entre todos ellos el licopeno por ser el que presenta una mayor capacidad de secuestrar radicales libres (Miller *et al.*, 1996). Aunque no se conocen muy bien los mecanismos *in vivo*, se han realizado varios estudios *in vitro* para determinar dicha actividad y su posible relación con la estructura del licopeno. Miller *et al.* (1996) estudiaron la actividad antioxidante de distintos carotenos y xantofilas mediante una técnica *in vitro* basada en la capacidad de secuestrar el radical ABTS<sup>•+</sup>, encontraron que el licopeno presenta una actividad antioxidante tres veces superior a la vitamina E, con valores de 2.9 mM de equivalentes Trolox (estándar universalmente empleado en diversos

ensayos de actividad antioxidante). En estudios realizados *in vivo* se ha confirmado que el licopeno, tiene capacidad antioxidante, al detectarse en el plasma humano la presencia de sus metabolitos (Khachik *et al.*, 1995).

Debido a este efecto antioxidante, el licopeno ha sido evaluado en un gran abanico de estudios epidemiológicos, para la disminución del riesgo de determinados tipos de cánceres, principalmente aquellos relacionados con los tejidos epiteliales, es por ello por lo que se ha observado un menor riesgo de cáncer de estómago, esófago, colon, próstata, pulmón, páncreas, mamas, piel, vesícula y cérvix en aquellos casos en los que existe un mayor consumo de licopeno y unos niveles superiores a nivel plasmático (Sengupta y Das, 1999).

El licopeno se distribuye ampliamente en el cuerpo humano, es uno de los mayores carotenoides que se encuentran en el suero humano (entre 21 y 43% de los carotenoides totales) con niveles en el plasma en un rango de 0.22 a 1.06 nmol·mL<sup>-1</sup>, también se encuentra en varios tejidos del cuerpo humano, como hígado, riñón, glándulas renales, testículos, ovarios y próstata (Agarwal y Rao, 2000). Una vez consumido, este antioxidante es incorporado dentro de las micelas de los lípidos dietarios y absorbido en la mucosa intestinal por difusión pasiva, donde es incorporado a los quilomicrones y liberado al sistema linfático para ser transportado al hígado. El licopeno es transportado por las lipoproteínas dentro del plasma para la distribución a diferentes órganos (Parker, 1996). Debido a su naturaleza lipofílica, también se encuentra en las fracciones de las lipoproteínas LDL y VLDL y no en las HDL en el suero (Sies y Sthal, 1998). El diagrama esquemático de la absorción y transportación del licopeno se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Absorción y transporte del licopeno en el ser humano (Rao *et al.* 2006).**

Algunos factores biológicos y de estilo de vida influyen en la absorción de licopeno: la edad, género, estado hormonal, masa y composición corporal, niveles lipídicos en sangre, fumar, consumir alcohol y la presencia de otros carotenoides en los alimentos (Sies y Sthal, 1998).

### 3.5 Bacterias promotoras de crecimiento

La FAO reconoce que la biotecnología puede contribuir a elevar la producción en este sector agrícola. Las principales técnicas de la agro-biotecnología incluyen fermentación, cultivo de tejidos, procesos enzimáticos, producción de anticuerpos, técnicas donde se emplean marcadores moleculares y la aplicación de inoculantes biológicos. El término de bacterias promotoras del crecimiento de plantas (PGPR; *promoting growth plant rhizobacteria*) fue definido como bacterias habitantes de la raíz que estimulan directamente el crecimiento de las plantas a través de diversos mecanismos (Dobereiner *et al.*, 1995). En años recientes se ha caído en cierta controversia, ya que no se sabe hasta qué punto se puede considerar a una rizobacteria como PGPR, por lo que se han establecido cuatro características que definen este grupo:

a) Que no requieran de la invasión interna de tejidos en plantas, como ocurre en hongos micorrízicos con la formación de arbusculos o nódulos en el caso de *Rhizobium*.

b) Que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la micro flora nativa del suelo.

c) Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y, como consecuencia, puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta.

d) Que no produzcan daño en el hombre ni a otros microorganismos.

En cuanto al efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, las PGPR pueden actuar de manera indirecta o directa:

Mecanismos indirectos: los metabolitos producidos por las PGPR pueden funcionar como determinantes antagónicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, vía producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas, quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia (Glick, 1995).

Mecanismos directos: ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de rizobacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta Jeon *et al.* (2003); Egamberdiyeva, 2005; Aslantas *et al.* (2007). La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radicales y un incremento hasta de 30% en la producción de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, tomate, trigo y soya (Glick, 1995), entre los microorganismos que forman parte de la comunidad microbiana de la rizósfera están las PGPR (Dey *et al.*, 2004; Lucy *et al.*, 2004). Por efecto de estas bacteria se destaca el aumento de la absorción de agua y nutrientes por la planta, la producción de fitohormonas y el control biológico de patógenos, dado fundamentalmente por la producción de sideróforos, la antibiosis y la inducción de resistencia en el cultivo contra un amplio espectro de plagas y enfermedades ( Dey *et al.*, 2004).



La actividad de los PGPR se inicia con mecanismos de quimiotaxis que están relacionados con la presencia de flagelos, quimiorreceptores y sistemas de regulación codificados genéticamente, estos factores tienen gran importancia sobre la habilidad de colonizar la rizósfera y mantener la comunicación entre las células de la raíz con los microorganismos presentes en el suelo (Landa *et al.*, 2002; Mavrodi *et al.*, 2006). Las bacterias capaces de interactuar con las raíces de las plantas son atraídas por sustancias excretadas por la raíz, que favorecen el movimiento de la bacteria hacia el rizoplaneo de la planta y de esta forma da inicio a una relación de beneficio mutuo, los mecanismos directos de promoción vegetal encierran varios procesos en los cuales, las bacterias alteran el desarrollo vegetal (Ahmad *et al.*, 2006; Matheron, 2001; Wildermuth *et al.*, 2001). Estos mecanismos, empleados por bacterias, son muy diversos y en algunos casos poco estudiados, sin embargo, se pueden diferenciar claramente dos procesos esenciales: el primero consiste en la producción de sustancias orgánicas, producto del metabolismo secundario de las bacterias, que son capaces de promover respuestas fisiológicas específicas en las células vegetales; el segundo mecanismo se puede encontrar en la intervención directa de los microorganismos en los ciclos biogeoquímicos, en los cuales pueden hacer disponibles compuestos orgánicos e inorgánicos que son aprovechados por las plantas (Ahn *et al.*, 2007).

Las sustancias promotoras del crecimiento vegetal son de carácter orgánico, activan varias respuestas en la célula vegetal, a nivel bioquímico, fisiológico y morfológico, de acuerdo a varias clasificaciones se encuentran distribuidas en cinco grupos principales: auxinas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y citoquininas y son capaces de contribuir al desarrollo y regulación de muchos parámetros fisiológicos, además incrementan la resistencia de las plantas a diversos factores ambientales, ya que pueden inducir o suprimir la expresión de una amplia gama de genes (Tsavkelova *et al.*, 2006).

### **3.5.1 Uso de bacterias promotoras de crecimiento en tomate**

Los géneros de bacterias *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* y *Streptomyces* forman parte de la comunidad microbiana de la rizósfera del tomate y *Azospirillum* es el género dominante (Alfonso *et al.*, 2005).

En un estudio con micorrizas arbusculares y bacterias rizosféricas, como alternativa a la nutrición mineral del tomate, se encontró que en fase de semillero el cultivo de tomate responde de manera favorable a la inoculación con *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas fluorescens*, y *Azospirillum brasilense* (Hernández y Chailloux, 2004). Ordookhani *et al.* (2010) encontraron que la inoculación a tomate con *Pseudomonas*, *Azotobacter* y *Azospirillum*, incrementó la actividad de licopeno y de antioxidantes.

Para conocer el sitio exacto donde coloniza *Azospirillum*, Caiola *et al.* en 2004 mostraron que las raíces no son colonizadas en toda su superficie, ni en estructuras internas, sino que la colonización es discontinua; La bacteria tiende a concentrarse en sitios laterales de emergencia de la cápsula de la raíz, pelos radiculares y punta de la raíz. Este último es el lugar preferido por las bacterias, la morfología de las células es similar a la de los bacteroides de rizobios, con una pared celular gruesa, con gránulos de hidroxibutirato y de glicógeno.

Se han propuesto varios sistemas para conocer cómo se genera el movimiento bacteriano hacia las raíces de las plantas (Shoresh *et al.*, 2005) este es un sistema gnotobiótico, que permite identificar la mayoría de la microbiota presente. Este sistema fue utilizado por Weert *et al.* (2003) para probar la hipótesis del papel de la motilidad en la colonización de raíces para alcanzar metabolitos exudados por las raíces, estos autores evaluaron si la cepa de *Pseudomonas fluorescens* Wcs365 mostraba quimiotaxis hacia exudados de raíz de tomate y hacia los componentes del mismo, observaron que varios de los ácidos orgánicos como el ácido succínico y málico iniciaron respuesta quimiotáctica de la cepa evaluada. Los ácidos L-aspártico, L-glutámico, L-isoleucina, L-leucina y L-lisina indujeron la respuesta a una concentración de 100 mM. Los azúcares y los otros componentes de los exudados no indujeron respuesta. En el estudio de quimiotaxis fue identificado el ácido málico como el único que podía ser reconocido por la cepa silvestre a una concentración mínima de 4 mM. Los autores sugieren que el ácido málico es uno de los más importantes quimioatrayentes de la rizósfera de tomate.

### 3.5.2 Género *Sphingomonas*

*Sphingomonas* es un grupo de bacterias Gram negativas con forma de bacilo, quimioheterótrofas y estrictamente aerobias. Contienen ubiquinona 10 como su principal quinona respiratoria, glicoesfingolípidos (GSLs) en vez de lipopolisacáridos en su envoltura celular y típicamente forman colonias de color amarillo.

El grupo fue definido en 1990 y en 2001; el género *Sphingomonas* incluía más de 20 especies bastante diversas en términos de sus características filogenéticas, ecológicas y fisiológicas. Como consecuencia de ello *Sphingomonas* fue subdividido en cuatro géneros: *Sphingomonas*, *Sphingobium*, *Novosphingobium* y *Sphingopyxis*, estos cuatro géneros son colectivamente referidos como *Sphingomonas*.

Las *Sphingomonas* se distribuyen extensamente en la naturaleza. Se aislaron de diferentes hábitats terrestres y acuáticos, de los sistemas radicales de las plantas, especímenes clínicos y de muchas otras fuentes.

El género *Sphingomonas* forma parte del grupo de las proteobacterias en la subclase  $\alpha$ -4 (Takeuchi *et al.*, 1994). Existe ampliamente en diversos ambientes como el suelo (Xia *et al.*, 2005), los sedimentos (Fredrickson *et al.*, 1995), agua natural (Tabata *et al.*, 1999), y las aguas residuales (Neef *et al.*, 1999). *Sphingomonas* también puede degradar productos químicos aromáticos (Borde *et al.*, 2003) y absorber el cadmio (Tangaromsuk *et al.*, 2002).

El género de bacterias *Sphingomonas* es en forma de bacilo, por lo general pigmentadas de color amarillo, lo cual sugiere que las bacterias de este género se adaptan bien en la degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de alto peso molecular y otros contaminantes aromáticos (Karlson *et al.*, 1995, Kim *et al.*, 1996, Zylstra y Kim, 1997). El género ha sido ampliamente aislado de ríos contaminados, sedimentos, superficies de varias plantas, y de entornos extremos como el ártico y el suelo antártico (Balkwill *et al.*, 1997, Baraniecki *et al.*, 2002, Kim *et al.*, 1998, Shi *et al.*, 2001).

Varios trabajos reportan la presencia de *Sphingomonas* spp. sobre superficies de plantas, se ha encontrado que este género bacteriano tiene efectos benéficos para las plantas (Enya *et al.*, 2007, Fürnkranz *et al.*, 2008, Idris *et al.*, 2004), del mismo modo, los estudios han encontrado que *Sphingomonas* spp. es uno de los factores que funcionan como estimulantes en el crecimiento de las plantas (Adhikari *et al.*, 2001, Enya *et al.*, 2007, Tsavkelova *et al.*, 2006). Nascimbém en 2010 encontró que *Sphingomonas* en el sistema radicular de maíz, participa como degradadora de fosfatos.

Algunas de las *Sphingomonas* (especialmente *paucimobilis*) causa infecciones intestinales. Debido a sus capacidades biodegradantes y biosintéticas, las *Sphingomonas* se han utilizado en un amplio rango de aplicaciones biotecnológicas, desde biorremediación de contaminantes ambientales hasta la producción de polímeros extracelulares como esfinganos (por ejemplo, gellan, welan y rhamsan) usados ampliamente en la industria alimentaria y en otras.

### 3.6 Yodo en la agricultura

El yodo es un elemento químico de número atómico 53 situado en el grupo de los halógenos (grupo 17) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es I y el peso atómico del isótopo más abundante es de 126.9. Es un oligoelemento y se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante. Químicamente, el yodo es el halógeno menos reactivo y menos electronegativo. Como los restantes halógenos del grupo VII en la tabla periódica, el yodo forma moléculas diatómicas. El yodo es el halógeno menos abundante, se presenta en la corteza terrestre con una concentración de  $0.14 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que en el agua de mar su abundancia es de  $0.052\text{-}0.057 \text{ mg L}^{-1}$  (aprox.  $4.5 \times 10^{-7}$  molar) (Wong, 1991). El yodo para uso medicinal, industrial o alimenticio se obtiene a partir de los yoduros,  $\text{I}^-$ , presentes en el agua de mar y en algas, o en forma de iodatos  $\text{IO}_3^-$ . El yodo inorgánico se encuentra en dos formas, el iodato ( $\text{IO}_3^-$ ) y el yoduro ( $\text{I}^-$ ). Desde el punto de vista termodinámico la forma inorgánica de yodo más probable (esto es, que se ve químicamente favorecida) es el  $\text{IO}_3^-$ ; de hecho el equilibrio químico esperado resultaría en niveles prácticamente indetectables de yoduro, encontrándose, sin

embargo, concentraciones de yoduro hasta de  $0.038 \text{ mg L}^{-1}$  (Tian *et al.*, 1996), con lo que, al menos en los entornos marinos la concentración de yoduro contra iodato es significativamente mayor a la esperada (Wong, 1991), esto puede deberse como resultado de la actividad reductasa del fitoplancton y de algunos grupos de bacterias. En el suelo el yodo se encuentra tanto como especies inorgánicas como en forma de complejos haloorgánicos (Bostock *et al.*, 2003), sin embargo no se ha reportado reducción de iodato a yoduro por bacterias o plantas, pero si se sabe que la materia orgánica del suelo es capaz de reducir el iodato a yoduro (Shimamoto *et al.*, 2009).

La concentración de yodo encontrada normalmente en tejidos de plantas terrestres es de  $0.1$  a  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , pudiendo alcanzar hasta  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  o más, en 1975 Whitehead en un estudio en donde aplicó yodo al suelo reportó concentraciones en *Lolium perenne* de  $4.3$  hasta  $56.9 \text{ mg kg}^{-1}$ , igualmente Aller *et al.* (1990) reportaron valores en el espectro de  $0.002$  hasta  $59 \text{ mg kg}^{-1}$  en diferentes cultivos. En estudios acerca de la fertilización con yodo en México indican que pueden obtenerse tejidos vegetales comestibles hasta con  $156 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Salvo su posible función como antioxidante inorgánico, aún no se conoce una función metabólica del yodo en plantas (Benton-Jones, 1998). El alga marina *Laminaria digitata* se reporta como acumuladora de yodo alcanzando hasta 1% de su peso seco de este ion (Leblanc *et al.*, 2006), esta acumulación no se ha reportado en plantas terrestres, aunque es factible la acumulación de yodo en alta concentración en este tipo de plantas (lechuga) en cultivo hidropónico, encontrando concentraciones de hasta  $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de materia seca en una aplicación foliar de  $\text{IO}_3^-$  (Blasco *et al.*, 2008). Esto es un indicativo claro de la factibilidad de la biofortificación con yodo de cultivos en zonas terrestres, no se encontró información acerca de la forma en que se acumula en las plantas terrestres ni el organelo o estructura que lo hace ya que los estudios normalmente se refieren a la determinación del yodo en estructuras vegetativas. En las plantas marinas el yodo se acumula principalmente en forma inorgánica y en segundo lugar formando complejos con aminoácidos.

### 3.7 Sustratos

. El sustrato es el definen como sustrato para plantas al medio poroso donde se desarrollan las raíces, relacionadas con el cultivo en recipientes fuera del suelo *in situ*. Kämpf et al., (2006).

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 en bolsa, en forma pura o en mezcla, permite el desarrollo del sistema radical y el crecimiento del cultivo (Abad *et al.*, 2002) y que pueden intervenir o no en la nutrición de la planta.

El sustrato presenta tres fracciones, cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y por interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios. Por último la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO<sub>2</sub> de entorno radicular (Lemaire, 2005).

El uso de sustratos inertes se ha venido implementando en la producción de tomate en invernadero, con rendimientos hasta de 300 Mg·ha<sup>-1</sup> cuando se utiliza lana de roca como sustrato (Hao y Papadopoulos, 2002). Uno de los principales factores que determinan el éxito del cultivo de tomate es el sustrato o medio de crecimiento (Cabrera, 1999; Howard, 1998; Morelo *et al.*, 2000).

En la modernización de la actividad agrícola, los sustratos tienen un papel fundamental en los invernaderos frutícolas, hortícolas, ornamentales y forestales (Pastor, 2000), los sustratos solos o en mezclas diferentes son una base para mejorar diversas la producción y reducir costos (Ocampo *et al.*, 2005).

#### 3.7.1 Tezontle

En México, la roca volcánica conocida como tezontle es ampliamente utilizada como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo; debido a su bajo costo, disponibilidad y características físicas (densidad aparente, capacidad de aereación, retención de humedad y porosidad total) que varía de acuerdo al tamaño de partícula (Anicua, 2008). El tezontle tiene una proporción

variable de porosidad ocluida, la cual se define como el volumen de poros cerrados que no tienen conexión con los poros externos y son los espacios que no pueden ser ocupados por agua y por lo tanto no interviene en la relación agua-aire del sustrato. El beneficio de este tipo de porosidad es que disminuye la densidad aparente del tezontle y facilita su manejo (Lemaire *et al.*, 2005). Al respecto, Burés *et al.* desde 1997 reportaron que en algunos casos se complica el tamaño de partícula con algunas propiedades hídricas de los sustratos debido a la presencia de porosidad interna (porosidad ocluida) ya que ésta no permanece constante en los diferentes tamaños de partícula.

El tezontle es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy bajo, buena aireación, retención de humedad que varía con el diámetro de las partículas, generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física (Bastida, 1999), además de su bajo costo de adquisición (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003). Por ello ha crecido el interés en comparar diferentes sistemas y sustratos para la producción de tomate en invernadero, en cuanto a rendimiento y optimización en el uso del agua y de los nutrimentos (Inden y Torres, 2004). Castellanos y Vargas-Tapia (2003) describen la caracterización física del tezontle negro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización física del tezontle negro (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003).

<b>Granulometría (mm)</b>	<b>Da (g·cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>CA (%)</b>	<b>RH</b>	<b>EPT</b>
< 0.58	0.93	12	50	63
< 0.58-2.00	0.57	31	36	77
2.00-5.08	0.49	46	22	64
>12.7	0.52	43	37	65

Abreviaciones: Da, densidad aparente; CA, capacidad de aireación; RH, retención de humedad; EPT, espacio poroso total.

### 3.7.2 Fibra de coco

La fibra de coco es un material compuesto por celulosa y lignina disponible en México, posee baja conductividad al calor, alta resistencia a las bacterias, alta microporosidad (Castellanos *et al.*, 2008), esta es diferente al polvo de coco, pero con frecuencia se les confunde. La fibra de coco se obtiene de la parte gruesa del mesocarpo del fruto del cocotero y tiene un alto valor industrial, en tanto que el polvo de coco proviene de los residuos que quedan después de la extracción de la fibra (Noguera *et al.*, 2003; Ma y Nichols, 2004). Este material constituye un recurso natural renovable, al cual no se le han reportado efectos negativos en el ambiente cuando se le extrae para uso hortícola (Fornes *et al.*, 2003).

El polvo de coco es un subproducto de la industria coprera que merece ser destacado, ya que se genera después de que el mesocarpo fibroso del coco ha sido procesado para obtener las fibras más largas, que se destinan a la fabricación de cuerdas, tapicería, etc. Mientras que las fibras cortas y el polvo se utilizan como sustrato. Actualmente en México hay empresas que usan toda la cáscara del coco para la producción del sustrato, el cual está troceado en pedazos pequeños, muy similar (en apariencia y propiedades) a la fibra que se importa, por lo que este material es un sustrato muy prometedor para la horticultura protegida en México, dado su bajo costo, su facilidad de manejo, su sanidad y la excelente respuesta agronómica que ha mostrado en los cultivos en que se ha evaluado. En una evaluación realizada en el Campo Experimental Bajío del INIFAP (Unidad de Horticultura Protegida) con fibras de coco mexicanas, presentó una densidad aparente media de  $0.09 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con un rango de  $0.07$  a  $0.10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , capacidad de retención de agua con un valor medio de 63% y un intervalo de 50 a 75%; la capacidad de aireación media de 32%, con un rango que va de 20 a 52%; en cuanto al valor medio del agua fácilmente disponible fue de 25% con un intervalo de 18 a 28%; con un porcentaje de agua difícilmente disponible de 25%, con un rango que va de 8 a 35%; mientras que el agua de reserva su media fue de 7.0% con un rango que va de 3 a 13%, la variación que se aprecia en el estudio se debe esencialmente a la variación en la granulometría de los materiales (Vargas, 2007).



El principal problema de este material es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen de ésta (Evans *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2002). Se recomienda lavarla mediante inmersión en agua antes de su uso ya que contiene iones sodio y cloro en concentraciones considerables que ocasionan daño a plántulas y trasplantes (Urrestarazu, 2000).

La fibra de coco es un material que a nivel mundial ha llamado la atención, ya que algunos autores la consideran como un sustituto posible de turba. Dentro de los principales países productores de fibra de coco se encuentra: Sri Lanka, India, Filipinas, Indonesia, México, Costa Rica y Guayana (Konduru *et al.*, 1999).

Noguera *et al.* (2003) reportaron el efecto del tamaño de partícula sobre las características físicas de la fibra de coco; observaron que las partículas de 0.5 mm modificaron en forma significativa la relación agua-aire.

Aunque se ha demostrado las ventajas de la fibra de coco en varios países, se requiere evaluar la originaria de México, ya que los resultados pueden variar en función de su origen. Según Abad *et al.* (2005) las propiedades físicas y químicas del polvo de coco varían entre lugares de origen. Por ejemplo, el polvo de coco originario de la India, Sri Lanka y Tailandia, está compuesto principalmente de los tejidos de la médula del mesocarpio, mientras que el originario de Costa Rica, Costa de Marfil y México, contiene más fibra, por lo que la proporción de partículas con diámetro mayor a 1 mm es más alta. El cambio en la proporción de partículas de diferente tamaño afecta las propiedades físicas, ya que ésta se asocia a una disminución en el agua más fácilmente disponible y una disminución en la capacidad de retención de humedad, aunque el contenido de aire aumenta.

### **3.8 Conclusiones de revisión de literatura**

El tomate es un cultivo de gran importancia no sólo por el impacto económico que tiene, sino por los beneficios que representa para la salud humana.

El licopeno es un carotenoide que se encuentra en el tomate, le da la coloración roja, tiene los más altos niveles de antioxidantes en la dieta humana, su contenido

en el tomate depende de la variedad, manejo, condiciones de crecimiento y etapa de madurez.

Muchas de las enfermedades cardiovasculares y algunos cánceres en el humano son provocados directamente por el proceso oxidativo de las células, varios estudios han demostrado que el licopeno tiene efectos positivos en la reducción de enfermedades degenerativas como el cáncer y enfermedades cardiacas.

Las rhizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR por sus siglas en inglés) son bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de las plantas de forma directa e indirecta. En diversos estudios realizados en tomate como los de Ordookhani *et al.* 2010 inoculados con PGPR y AMF se encontró que se incrementan la actividad de licopeno y de antioxidantes.

El yodo es un elemento traza importante para el ser humano y aplicado en pequeñas cantidades puede incrementar los antioxidantes de las plantas.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Localización del experimento**

El experimento se llevó a cabo en los invernaderos del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 36.5 de la carretera México- Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México Las coordenadas del lugar son 19°28'05" LN y 98°54'09" LW, a una altitud de 2243 m. El invernadero, tipo túnel de forma semicircular, orientado norte-sur, cuenta con una cubierta plástica, lechosa para la obtención de luz difusa. Para la instalación del experimento se desinfectó con cloro diluido en agua y se limpió las paredes y el piso del invernadero.

### **4.2 Condiciones climatológicas del invernadero**

Durante el experimento se mantuvo una temperatura promedio de 25 °C, con una temperatura media mínima de 18 y máxima de 30, la humedad relativa se mantuvo entre 50 y 70%.

### **4.3 Preparación de sustrato y contenedores**

Se utilizaron dos sustratos, tezontle y fibra de coco. El tezontle (roca volcánica, ampliamente disponible en bancos de materiales de la región) se cribó para un tamaño de 0.3 a 0.6 cm; en la fibra de coco para eliminar el exceso de sales que estuviesen presentes, que se enjuago varias veces con agua y escurrió perfectamente.

Las bolsas de polietileno negro de 30 x 40 cm se llenaron con cada uno de los sustratos hasta su máxima capacidad de contenido, una vez llenas, los sustratos fueron desinfectados mediante un riego pesado de agua con hipoclorito de sodio y dos enjuagues con agua, posteriormente, las bolsas fueron colocadas y alineadas a una distancia de 50 cm entre bolsas y 80 cm entre hileras. La unidad experimental se conformó por una bolsa.

#### 4.4 Instalación del sistema de riego

Para la instalación del sistema de riego se utilizó un depósito de 1100 L equipado con una bomba hidráulica de 0.5 caballos de fuerza y válvulas para regular la presión (Figura 3). Se hicieron derivaciones del sistema para distribuir la solución a través de la manguera de riego, a su vez a esta se le conectaron goteros de  $4 \text{ L h}^{-1}$  y distribuidores para cuatro macetas.



Figura 3. Depósito del sistema de riego.

#### 4.5 Formulación de solución nutritiva

Para la formulación de la solución nutritiva se consideraron los trabajos de Steiner (1984) respecto al método universal, todos los tratamientos recibieron al riego la misma solución, que se incrementó paulatinamente hasta llegar al 100% 15 días después del trasplante. Los fertilizantes utilizados y la cantidad para preparar 1100 litros de solución nutritiva se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fertilizantes utilizados para preparar 1100 litros de solución nutritiva Steiner.

<b>Fertilizante</b>	<b>Cantidad para 1100 L</b>
Nitrato de calcio [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]	1274 g
Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ )	363 g
Sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )	314 g
Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	596 g
Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	163 g
Mezcla de micronutrientes (Fermil)	24g
Fe-EDTA (TRADECORP)	22 g

#### **4.6 Material vegetal**

En el trabajo de investigación se utilizaron dos cultivares. Tomate variedad Sweet Cluster. Planta indeterminada de altos rendimientos que proporciona racimos de 6 a 8 frutos de color rojo, de forma oval (como las cerezas) y sabor dulce muy atractivo. Su ciclo vegetal es de 67 días aproximadamente después del trasplante.

Tomate silvestre. Indeterminado, fruto pequeño, color rojo intenso, recolectada en la zona Valles Centrales del estado de Oaxaca y proporcionada por el Dr. Porfirio Ramírez del Programa de Genética del Colegio de Postgraduados.

#### **4.7 Producción de plántula**

Para la producción de las plántulas de tomate, se estableció el almácigo en charolas de poliestireno de 200 cavidades previamente llenadas con turba (KEKKILÄ) y humedecida con agua pura. Por cavidad se sembró una semilla, el riego se hizo con agua simple y a los 15 días después de la emergencia, las plántulas se regaron con solución nutritiva Steiner a 25% hasta el momento del trasplante.

#### **4.8 Trasplante**

El trasplante se realizó a los 38 días después de la siembra, en las bolsas llenas de tezontle y fibra de coco, se colocó una plántula por unidad y se realizó por la tarde para evitar que las plantas presentaran estrés por temperatura.

#### **4.9 Inoculación de bacteria promotora de crecimiento (*Sphingomonas* sp.)**

La bacteria promotora del crecimiento *Sphingomonas* sp. se obtuvo del cultivo de la caña de azúcar del estado de Veracruz, se aisló, purificó e identificó mediante la amplificación del gen PGS RNA en el Laboratorio de Biotecnología y Bioquímica de Semillas del Colegio de Postgraduados. Para preparar el inóculo, la bacteria se sembró en medio de cultivo KingB y se dejó crecer a 28 °C por 5 días, para la obtención de la suspensión bacteriana se utilizó una asa de siembra y agua destilada estéril, en esta se diluyó el cultivo bacteriano hasta obtener una concentración aproximada de  $10^8$  CFU·mL<sup>-1</sup>. Cinco días después del trasplante,

mediante una pipeta se colocó 1 mL de la suspensión bacteriana en la base de cada planta del tratamiento que le correspondía. A la cosecha del cultivo y para verificar los postulados de Koch de las raíces de tomate inoculadas se reaisló la bacteria *Sphingomonas* sp.

#### **4.10 Aplicación de yoduro de potasio**

A partir de los 20 días de siembra se realizaron aplicaciones foliares de yoduro de potasio a una concentración de  $10^{-4}$  M, posteriormente se hicieron cuatro aplicaciones más con un intervalo de aplicación de 15 días. Para la aplicación se utilizó un aspersor manual pequeño CANYON® modelo CHS-3AN, para evitar contaminación entre los tratamientos al momento de las aspersion se protegió a las plantas aledañas con placas de cartón.

#### **4.11 Diseño de tratamientos**

Los tratamientos fueron el resultado de la combinación de tres factores: cultivar (tomate Sweet Cluster y tomate silvestre), promotores de crecimiento (BPC y yoduro de potasio), y sustrato (tezontle y fibra de coco), además de controles para cada factor. Los tratamientos se evaluaron mediante un diseño experimental completamente al azar con 6 repeticiones, con un total de 96 unidades experimentales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Diseño de tratamientos instalados en invernadero con tomate Sweet Cluster y tomate silvestre.

Tratamientos	Descripción
1	Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + tezontle
2	Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + tezontle
3	Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + fibra de coco
4	Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + fibra de coco
5	Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo + tezontle
6	Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp.+ yodo + tezontle
7	Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo + fibra de coco
8	Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo+ fibra de coco
9	Sweet Cluster + yodo + tezontle
10	Silvestre+ yodo + tezontle
11	Sweet Cluster + yodo + fibra de coco
12	Silvestre + yodo+ fibra de coco
13	Sweet Cluster + tezontle
14	Silvestre + tezontle
15	Sweet Cluster + fibra de coco
16	Silvestre + fibra de coco

## 4.12 Diseño experimental

El modelo estadístico utilizado fue:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$y_{ijkl}$ : Valor de la variable respuesta correspondiente al nivel  $i$  del factor variedad al nivel  $j$  del factor promotores de crecimiento y al nivel  $k$  del factor sustrato en su repetición  $l$ .

$\mu$ : Media general

$A_i$ : Efecto del nivel  $i$  de variedad

$B_j$ : Efecto del nivel  $j$  de promotores de crecimiento

$C_k$ : Efecto del nivel  $k$  de sustrato

$AB_{ij}$ : Interacción variedad\*promotores de crecimiento

$AC_{ik}$ : Interacción variedad\*sustrato

$BC_{jk}$ : Interacción promotores de crecimiento\*sustrato

$ABC_{ijk}$ : Interacción variedad\*promotores de crecimiento\*sustrato

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error experimental

## 4.13 Manejo del cultivo y control fitosanitario

### 4.13.1 Tutorado

Las variedades utilizadas son de hábito indeterminado y se requirió de un soporte mecánico, cuando las plantas alcanzaron una altura de 30 cm se procedió a tutorarlas mediante el empleo de una rafia tratada contra UV, que le permite una mayor duración y resistencia. Se contó con una armazón metálica con cables, donde se colocaban las rafias que sostenían a la planta, para lograr con ello un adecuado soporte hasta el final del experimento que fue cuando las plantas llegaron al octavo racimo.

### 4.13.2 Poda

Periódicamente en las plantas de tomate se retiraron las yemas axilares (conocidas comúnmente como chupones) con la finalidad de conducir la planta con un solo tallo principal y direccionar los fotosintatos hacia los racimos florales y frutales.



#### **4.13.3 Control de plagas y enfermedades**

Se llevó a cabo un manejo preventivo de plagas y enfermedades. Para evitar la presencia de hongos se realizaron aplicaciones semanales intercaladas de los fungicidas agrícolas Captan y Ridomil® Bravo Gold 76.5 PH (Metalaxil + Clorotalonil) a una dosis 12.5 g de producto en 5 L de agua, para ambos productos. Como insecticida preventivo contra mosquita blanca se utilizó Plenum® 50 GS (Pymetrozine) a una dosis de 2 g de producto para 5 L y para control de ácaros se aplicó Agrimec® (Abemectina) a 3 mL de producto para 5 L de agua.

#### **4.13.4 Cosecha**

Cuando los frutos llegaron a su madurez se hizo la cosecha que fue en la etapa de rojo. El cultivo se mantuvo hasta obtener el octavo racimo. Las mediciones y pruebas se realizaron en los cinco primeros racimos.

#### **4.14 Variables respuesta**

A continuación se describen las variables que se evaluaron:

##### **4.14.1 Altura de planta**

Se realizaron mediciones de crecimiento a partir de 15 días del trasplante y en un intervalo de cada 15 días con la ayuda de un flexómetro TRUPER® y un metro convencional.

##### **4.14.2 Diámetro de tallo**

Estas mediciones se realizaron cada 15 días en la base del tallo de las plantas con un Vernier TRUPER digital estándar y milimétrico de 6" (150 mm).

##### **4.14.3 Lecturas SPAD**

Con el medidor SPAD-502 Minolta se determinó el índice de verdor de las hojas. Las mediciones se hicieron en las hojas más recientemente maduras, por hoja se tomaron tres lecturas, de la suma se obtuvo un promedio por planta. Se realizaron lecturas cada 15 días a partir de los 15 días después del trasplante.

#### **4.14.4 Número de frutos por racimo**

Se cosechó toda la fruta existente en cada uno de los 16 tratamientos y sus repeticiones registrándose el número de frutos por racimo y por planta, los frutos fueron almacenados en bolsas de papel kraft para mediciones posteriores.

#### **4.14.5 Peso de frutos**

Cada fruto por racimo se pesó con una balanza portátil CAMPRY de alta precisión con alcance de décimas de gramo.

#### **4.14.6 Rendimiento**

Para el rendimiento se tomó el peso de los frutos por racimo, y se calculó el rendimiento total por planta. Para tener un valor más real se calculó el número de plantas por hectárea para estimar el rendimiento, teniendo aproximadamente 28 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

#### **4.14.7 Determinación de licopeno por colorimetría**

Mediante un colorímetro marca Minolta, de cada racimo cosechado se tomaron todos los frutos y se hizo la medición. El colorímetro fue calibrado al inicio y las lecturas son reportadas en el sistema internacional de color (CIE); L\*, a\*, b\*. El licopeno fue calculado mediante la fórmula propuesta por Arias *et al.* (2000).

Licopeno (mg/100 g) =  $11.848 (a^*/b^*) + 1.5471$ .

#### **4.14.8 Sólidos solubles totales (°Brix)**

La determinación de los sólidos solubles totales (°Brix) se llevó a cabo mediante un refractómetro manual marca ANTAGO N-1E, donde se colocó una pequeña gota de la pulpa del tomate sobre la celda del aparato.

#### **4.15 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo factorial completo, los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis System (SAS 9.0, 2004) realizando un análisis de varianza, comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y correlaciones.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Altura de planta

Para esta variable se encontraron diferencias significativas por el cultivar, después del trasplante en las cinco evaluaciones hechas cada 15 días se observó que plantas Sweet Cluster alcanzaron mayor altura (116 cm) en comparación con el cultivar silvestre (101 cm) (Cuadro 5). La altura entre los dos cultivares fue diferente en gran parte por la carga genética más que por los tratamientos; esta situación coincide con Nuez (2001), el cual menciona que existen diferencias en la altura entre los distintos tipos varietales del cultivo de tomate, ya que al realizarse mejoramiento genético de variedades se llevan a cabo modificaciones de hábitos de crecimiento (crecimiento determinado, altura de planta y precocidad) y caracteres de fruto (amarre, tamaño, forma, color y morfología) (Bai y Lindhout, 2007). La altura de planta es una característica importante en el aprovechamiento de variedades de crecimiento indeterminado, ya que a mayor altura se aumenta la frecuencia en la manipulación del cultivo, para el tutoreo y bajado de la planta, con el consiguiente riesgo de dañar los tallos y el incremento en la mano de obra (Pilatti y Bouzo, 2000), en este caso el cultivar nativo presentó una menor altura que la variedad comercial, por lo cual se puede considerar que tiene una ventaja competitiva para su aprovechamiento en condiciones de invernadero.

Cuadro 5. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre altura de planta en frutos de tomate comercial y silvestre.

FV	GL	SC	CM	FC	PR >F
VAR	1	27404.40304	27404.40304	8.05	**0.0047
PROM	3	2037.63752	679.21251	0.20	0.8967
SUS	1	812.39644	812.39644	0.24	0.6254
VAR*PROM	3	948.11009	316.03670	0.09	0.9640
VAR*SUS	1	66.85654	66.85654	0.02	0.8886
PROM*SUS	3	3171.28696	1057.09565	0.31	0.8178
VAR*PROM* SUS	3	1780.21426	593.40475	0.17	0.9138

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$ .

Aunque no existieron diferencias significativas en altura de planta por efecto de sustratos, los tratamientos en fibra de coco tuvieron, en promedio, un 2.4% mayor

altura que tratamientos en tezontle. Esto concuerda con Nieto (2009), donde indica que el uso de fibra de coco tiene la ventaja de presentar su efecto estimulante sobre el crecimiento de la planta, elevada porosidad total, retiene cantidades aceptables de agua fácilmente disponibles y es fácil de manejar.

La aplicación de promotores de crecimiento no causó efectos significativos en la altura al comparar las cinco fechas de muestreo, en Sweet Cluster los tratamientos inoculados con *Sphingomonas* sp. presentaron una altura mayor que los asperjados con yoduro de potasio y el tratamiento testigo, dichos resultados coinciden con los de Escobar *et al.* (2011) y Alfonso *et al.* (2005) en el cual realizaron la caracterización de cepas de bacterias promotoras y su efecto en el cultivo de tomate. Dentro del cultivar silvestre no se encontró diferencias en altura de plantas inoculadas y plantas normales, lo anterior se puede explicar por la amplia variabilidad morfológica de poblaciones nativas de tomate (Moreno *et al.* (2010), incluso Hernández y Chailloux (2004), al aplicar en tomate nutrición mineral y ésta con la combinación de rizobacterias no encontraron diferencias de altura de las plantas.

## 5.2 Diámetro de tallo

Se encontraron efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) en diámetro de tallo por efecto de variedad (Cuadro 6). En promedio la variedad Sweet Cluster obtuvo mayor diámetro (11.1 mm) y la variedad silvestre 10.7 mm estos valores son menores a los encontrados por Moreno (2010) quien evaluó 24 características cuantitativas en poblaciones de jitomate del Centro, Sur y Sureste de México encontrando un promedio de 16 mm de diámetro de tallo y por Zarate (2007), con 16.5 mm como valor menor y 22 mm como máximo. Sweet Cluster presentó plantas 3.7% más gruesas en comparación con el cultivar silvestre. No se presentaron diferencias significativas en el diámetro de tallo por efecto de sustrato, inoculación de *Sphingomonas* o aspersión de yoduro de potasio.

Respuesta similar obtuvieron Hernández y Chailloux (2004), con la aplicación de rizobacterias. Esta variabilidad en el grosor del tallo, no solo se debe a las características genéticas del cultivo, también juegan un papel importante las

rizobacterias que de forma diferente tienen la capacidad de producir metabolitos estimuladores de crecimiento vegetativo.

En la combinación VAR\*SUS en las dos variedades, los diámetros más elevados se encontraron en los tratamientos con fibra de coco, 11.27 mm para Sweet Cluster y 10.87 para el cultivar silvestre.

Cuadro 6. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre diámetro de tallo de planta de tomate.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>PR &gt;F</b>
VAR	1	28.17900542	28.17900542	7.43	**0.0066
PROM	3	23.66885109	7.88961703	2.08	0.1019
SUS	1	7.94105025	7.94105025	2.10	0.1485
VAR*PROM	3	4.54087959	1.51362653	0.40	0.7535
VAR*SUS	1	0.92041325	0.92041325	0.24	0.6224
PROM*SUS	3	1.77987442	0.59329147	0.16	0.9255
VAR*PROM* SUS	3	26.40868776	8.80289592	2.32	0.0744

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$ .

### 5.3 Lecturas SPAD

En las lecturas SPAD solamente se encontraron diferencias significativas en los efectos simples de variedad y del sustrato utilizado (Cuadro 7).

Las lecturas SPAD para Swet Cluster fueron de 55, en el cultivar silvestre alcanzó 49. Una respuesta similar entre cultivares encontró Urrieta (2011), en la misma variable adjudicándolo a diferencias genéticas de jitomate.

Aunque no hay un patrón diferenciado, las lecturas más elevadas de SPAD se presentaron en las plantas que crecieron con tezontle, obteniendo valores promedio de 53.9, mientras que las plantas desarrolladas en fibra de coco 51.4, esta diferencia se adjudica principalmente a la diferencia entre los sustratos, en la aereación y el desarrollo de la raíz en las plantas, ya que la fibra de coco presentó mayor capacidad de retención de humedad que el tezontle, y durante el desarrollo del cultivo se presentaron problemas de saturación, por un exceso de humedad, el oxígeno es desplazado por el agua, transformándose el ambiente en anaerobio y en

consecuencia una modificación en las poblaciones de microorganismos de aerobios a anaerobios.

En la medida que los microorganismos no dispongan de oxígeno para su respiración, comienzan a utilizar otros elementos minerales, presentes en el suelo para cumplir su ciclo vital, comenzando a utilizar el nitrógeno como  $\text{NO}_3^-$ , es decir; es el primer nutriente que falta (<http://www.agroestrategias.com/pdf/Nutricion%20-%20Humedad%20y%.pdf>).

Cuadro 7. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre lecturas SPAD en hojas de tomate.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>PR &gt;F</b>
VAR	1	3457.20675 0	3457.20675 0	122.40	**<.0001
PROM	3	134.062167	44.687389	1.58	0.1929
SUS	1	621.075000	621.075000	21.99	**<.0001
VAR*PROM	3	150.801417	50.267139	1.78	0.1502
VAR*SUS	1	0.252083	0.252083	0.01	0.9248
PROM*SUS	3	42.855167	14.285056	0.51	0.6785
VAR*PROM* SUS	3	66.711417	22.237139	0.79	0.5014

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$

El exceso de humedad produce falta de  $\text{O}_2$  para las plantas, lo cual se puede manifestar en reducción de crecimiento, marchitamiento y clorosis de las hojas, estos síntomas se pueden atribuir, en parte a una absorción reducida de agua (Kramer, 1974), o a una disminución de citoquininas en las raíces y acumulación de sustancias tóxicas, como el etanol, que provocaría una disminución de la clorofila y nitrógeno en las hojas, debido a una menor absorción de minerales (Maidl, Hillel y Fishbeck, 1972, Gur *et al.*, 1979). Al presentar problemas de saturación, o déficit de oxígeno en la raíz, se modifica la absorción y el transporte de los nutrimentos que se refleja en las lecturas SPAD ya que este equipo cuantifica la intensidad del color verde de las hojas (Pagani *et al.*, 2010), mediante la medición de la luz transmitida por la hoja a 650 nm y 949 nm de longitud de onda. Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es

procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las lecturas SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994). Durante todo el ciclo vegetativo se presentaron diferencias en las lecturas entre las variedades, obteniendo los valores más elevados en la variedad Sweet Cluster y menores el cultivar silvestre posiblemente por los problemas de saturación que existieron durante el desarrollo del cultivo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Significancia de lecturas SPAD en hojas de tomate por efecto de variedad a lo largo del ciclo vegetativo.

Días después del trasplante	Variedades	
	Sweet Cluster	Silvestre
15	51.8 a	48.0 b
30	53.8 a	47.9 b
45	55.9 a	49.4 b
60	57.5 a	50.4 b
75	58.9 a	52.6 b

Valores con diferente letra, en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

En el Cuadro 8 se observa claramente que la variedad Sweet Cluster presenta lecturas SPAD más altas que la variedad Silvestre. A medida que transcurren los días después del transplante se incrementan las lecturas SPAD, ya que la planta va llegando a su madurez fisiológica, además que se va incrementando la dosis de nitrógeno y va generando clorofila a la planta del tomate.

#### 5.4 Número de frutos por racimo

Se presentaron diferencias significativas en el número de frutos por efecto de la variedad, sustrato y en las interacciones variedad\*sustrato y *Sphingomonas*\*sustrato (Cuadro 9). El promedio de frutos por racimo en la variedad Sweet Cluster fue de siete y de seis en el cultivar silvestre, esto se puede deber principalmente a cuestiones genéticas propias de cada cultivar, tal como lo menciona Nuez (2001). El número de frutos en el cultivar silvestre resultó mayor a los encontrados por Flores (2012) en un experimento de valoración agronómica y de

calidad de frutos de poblaciones nativas de jitomate encontrando un promedio de 4 a 5 frutos por racimo en cuatro poblaciones nativas de jitomate tipo cherry.

Existieron diferencias significativas en el número de frutos de las plantas desarrolladas entre los dos sustratos utilizados, presentando los tratamientos con fibra de coco un promedio de 6.7 frutos por racimo en tanto que tratamientos con tezontle 6.4.

En la interacción variedad\**Sphingomonas* la mejor combinación fue la bacteria con la aspersión de yoduro de potasio y fibra de coco como sustrato, con un promedio de 7.1 frutos por racimo (Figura 4); en tanto que en la interacción variedad\*sustrato la mejor combinación fue variedad Sweet cluster y fibra de coco con un promedio de 7.3 frutos por racimo.

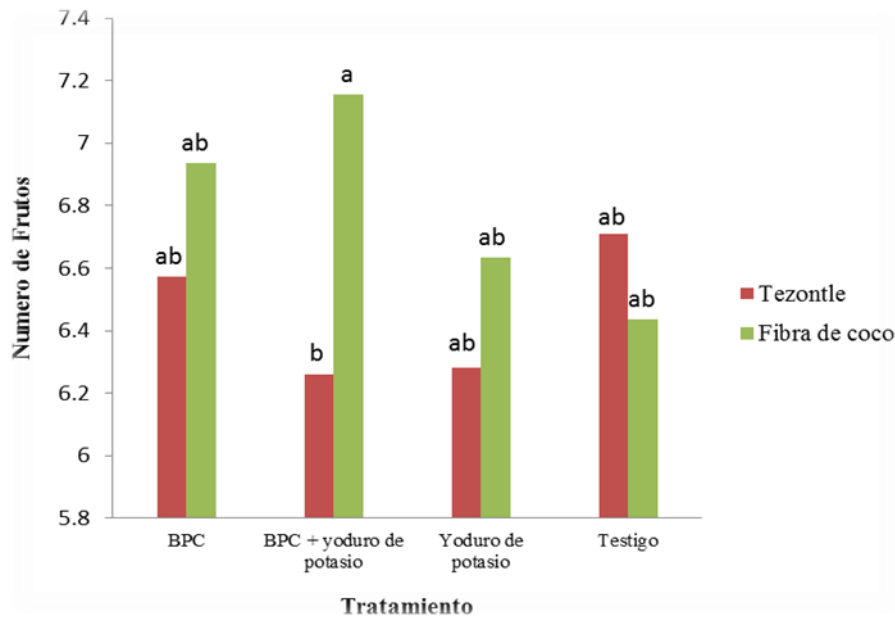
En el tratamiento de BPC + yoduro de potasio es donde se observa la mayor diferencia significativa entre sustratos, es decir; el agregar al tomate BPC + yoduro de potasio en un sustrato como la fibra de coco aumenta el número de frutos que el tenerlo con tezontle.

Cuadro 9. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre número de frutos por racimo de tomate.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>PR &gt;F</b>
VAR	1	114.8554688	114.8554688	28.44	**<.0001
PROM	3	10.4414063	3.4804688	0.86	0.4606
SUS	1	21.6679688	21.6679688	5.36	*0.0208
VAR*PROM	3	16.7539063	5.5846354	1.38	0.2468
VAR*SUS	1	34.5950521	34.5950521	8.56	**0.0035
PROM*SUS	3	32.7747396	10.9249132	2.70	*0.0445
VAR*PROM* SUS	3	7.7226563	2.5742188	0.64	0.5911

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P >F) < \alpha = 0.05$





**Figura 4. Número de frutos por racimo en dos cultivares de tomate por efecto de promotores y sustrato (BPC= *Sphingomonas* sp.).**

Esto se debe a las propiedades que tiene la fibra de coco de proporcionar un equilibrio óptimo entre retención de agua y capacidad de aireación, evitando así la aparición de enfermedades fúngicas en las raíces derivadas de exceso de humedad, capacidad de retención de agua, absorbe muy rápidamente el agua cuando está seco su capacidad de intercambio catiónico, es capaz de retener nutrientes y liberarlos progresivamente, evitando las pérdidas por lixiviación.

En todos los tratamientos hubo mayor número de frutos en el sustrato de fibra de coco, excepto en el testigo en donde a diferencia de los demás tratamientos hubo mayor número de frutos en tezontle que en fibra de coco; sin embargo, su diferencia no fue significativa.

Cuando hay mayor número de racimos por planta el tamaño de los frutos tiende a disminuir porque se presenta una competencia entre los frutos por los recursos de la planta, además con más racimos por planta el tallo presenta mayor longitud y aumenta la demanda de asimilados para su crecimiento, lo cual genera competencia con los frutos.

## 5.5 Peso promedio por racimo

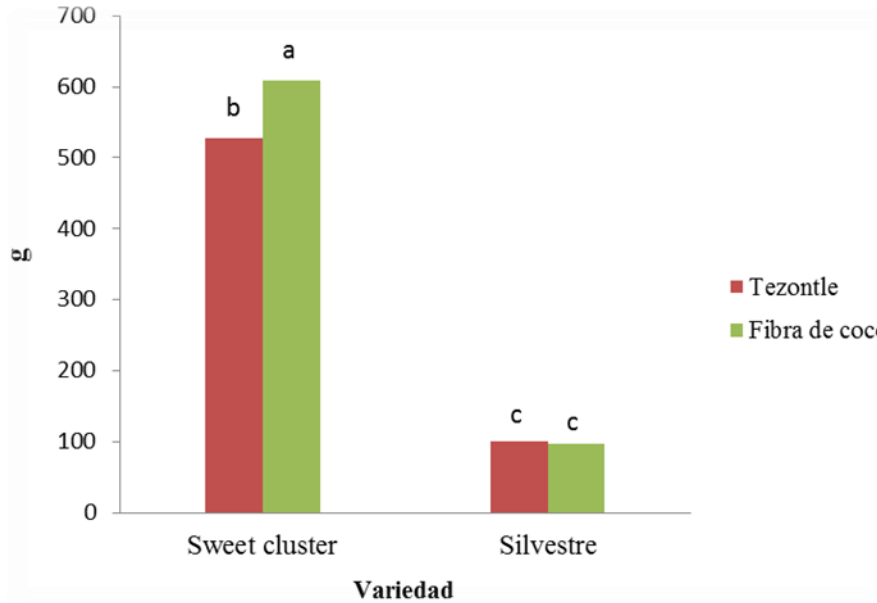
Se presentaron diferencias significativas en el peso de los racimos por efecto de variedad y sustrato y en la interacción entre estos dos (Cuadro 10). Los pesos más elevados se tuvieron en la variedad Sweet Cluster (568.4 g) en promedio mientras que en el cultivar silvestre el peso por racimo fue cuatro veces menor (98.4 g), fue similar a los informados por Vásquez *et al.* (2010) quienes realizaron una evaluación morfo-agronómica de jitomates nativos del Centro y Sureste de México encontrando un promedio de 16 g por fruto y  $0.349 \text{ kg} \cdot \text{racimo}^{-1}$  para el grupo tomatillo.

Cuadro 10. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre peso de frutos en plantas de tomate.

FV	GL	SC	CM	FC	PR >F
VAR	1	42404810.38	42404810.38	2446.15	**<.0001
PROM	3	114551.07	38183.69	2.20	0.0864
SUS	1	290979.95	290979.95	16.79	**<.0001
VAR*PROM	3	19791.48	6597.16	0.38	0.7670
VAR*SUS	1	347352.72	347352.72	20.04	**<.0001
PROM*SUS	3	12809.08	4269.69	0.25	0.8640
VAR*PROM* SUS	3	42059.10	14019.70	0.81	0.4892

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$

Respecto a la utilización de sustratos, el mejor fue la fibra de coco en la variedad Sweet cluster presentando en promedio racimos de 600 g, en tanto que en tratamientos con tezontle el promedio fue de 520 g. En la variedad Silvestre presentó racimos con un peso similar, en promedio se tuvo 100 g por racimo. En la interacción variedad\*sustrato la mejor combinación resultó la utilización de Sweet Cluster y fibra de coco como sustrato con 609.1 g en promedio (Figura 5).



**Figura 5. Peso promedio de racimos en dos cultivares de tomate por efecto de variedad y sustrato.**

En los resultados, se observó la notable disminución del peso del racimo en el cultivar silvestre con diferencias significativas con Sweet Cluster. Esto último indica que la gran cantidad de frutos producidos compensa el menor peso de los frutos, en el cultivar silvestre, y contrariamente el alto peso del fruto (en Sweet Cluster) se equilibra con el bajo número de frutos producidos. Es decir, en los programas de mejoramiento se favorece la calidad comercial de frutos, dependiendo del tipo, en oposición a la cantidad (Florido *et al.*, 2002), de ahí que los racimos de Sweet cluster presentaron mayor peso que los del cultivar silvestre.

Machado *et al.* (2007) encontró que un aumento en el número de racimos planta<sup>-1</sup> favoreció la producción total y comercial en los híbridos de tomate Heinz 9780 y Kátia. Mueller y Wamser (2009) reportaron un incremento en la producción total en función del número de racimos planta<sup>-1</sup>, sin embargo, hubo una disminución cuadrática de la masa media de frutos comerciales a medida que el número de racimos planta<sup>-1</sup> fue mayor (citado por Quintana *et al.*, 2010).

## 5.6 Rendimiento total

El rendimiento de tomate fue significativamente afectado ( $P \leq 0.05$ ) por la variedad y la interacción variedad\*sustrato (Cuadro 11). De acuerdo a la densidad establecida (2.8 plantas  $m^{-2}$ ). Por metro cuadrado se obtuvo un rendimiento promedio de 12.73 kg en Sweet Cluster y 2.2 kg en el cultivar silvestre.

El rendimiento promedio de jitomate en invernadero va de 12 a 17  $kg\ m^{-1}$ ; sin embargo depende de la variedad, ya que en cultivos silvestres oscila entre 2.2 y 2.5  $kg\ m^{-1}$  (Nieto, 2009); por lo que en el presente trabajo se obtuvieron rendimientos superiores a lo reportado en la literatura, para el caso del silvestre, mientras que en el comercial, estuvo dentro del rango normal.

Los tratamientos con mayor rendimiento total, tienden a presentar mayores costos de producción, ya que exigen de mayores cuidados, pero también presentan la mayor rentabilidad e ingreso neto. Por lo cual, estos tratamientos son los más recomendables para el productor.

La variedad Sweet Cluster obtuvo en promedio 4.58 kg por planta en fibra de coco y de 4.50 kg en tezontle, en tanto que el cultivar silvestre 0.84 kg por planta en fibra de coco y 0.73 kg en tezontle (Figura 6). Estos resultados son menores a los de Zarate (2007) con 5.83 kg/planta, y 35  $kg/m^2$ . Sin embargo, más altos son los reportados por Ortiz (2004) con 8.2 kg/planta y 17.2  $kg\cdot m^2$ .

Se obtuvo un rendimiento promedio de 127.3  $Mg\cdot ha^{-1}$ , para la variedad Sweet Cluster, bastante mayor a las 22  $Mg\cdot ha^{-1}$  del cultivar silvestre.

Cuadro 11. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre rendimiento total de frutos de tomate.

FV	GL	SC	CM	FC	PR >F
VAR	1	339238483.0	339238483.0	1241.61	**<.0001
PROM	3	916408.5	305469.5	1.12	0.3468
SUS	1	2327839.6	2327839.6	8.52	0.0046
VAR*PROM	3	158331.9	52777.3	0.19	0.9008
VAR*SUS	1	2778821.8	2778821.8	10.17	**0.0020
PROM*SUS	3	102472.6	34157.5	0.13	0.9451
VAR*PROM* SUS	3	336472.8	112157.6	0.41	0.7459

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$

Los bajos rendimientos en el cultivar silvestre se deben a cuestiones genéticas, como menciona Sevilla (2006), quien indica que las poblaciones nativas no han pasado por un proceso de mejoramiento sistemático y científicamente controlado y sus semillas son producidas por los mismos agricultores. El efecto de sustrato donde se desarrolló la planta fue significativo dentro de la variedad Sweet Cluster en donde los tratamientos con fibra de coco tuvieron 13% más rendimiento que tratamientos con tezontle, dentro del cultivar silvestre no se presentaron efectos de sustrato.

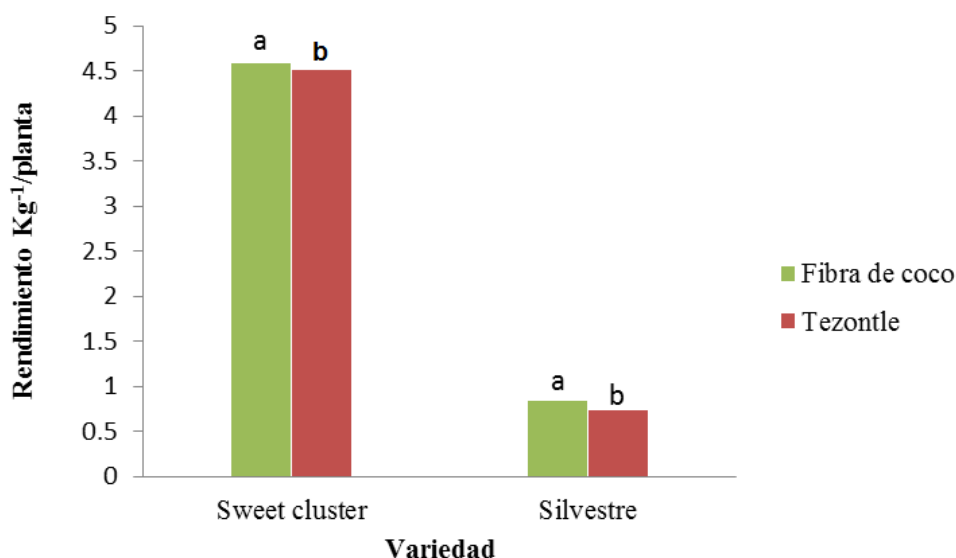


Figura 6. Rendimiento promedio por planta en dos cultivares de tomate por efecto de variedad y sustrato.

No se presentaron diferencias significativas en rendimiento por efecto de aplicación de *Sphingomonas* sp. porque se obtuvo en promedio 4.5 kg planta<sup>-1</sup> para variedad Sweet cluster y 0.7 kg planta<sup>-1</sup> para silvestre, con la inoculación de la bacteria y sin esta fue de 4 kg planta<sup>-1</sup> y 0.6 kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **5.7 Determinación de licopeno por colorimetría**

De acuerdo con la relación del grado de madurez y el contenido de antioxidantes, se estima que en un tomate maduro el contenido de licopeno oscila entre 89-90 % de los carotenos totales, siendo además el que presenta un mayor efecto protector en contra de los radicales libres (Hadley *et al.*, 2002; Voutilainen *et al.*, 2006), mientras que los tomates cosechados en estadios de madurez verdes tienen bajos contenidos de licopeno.

En la estimación de licopeno por colorimetría se presentaron diferencias significativas por efecto de la variedad utilizada, en la interacción promotores de crecimiento\*sustrato y variedad\*promotores de crecimiento\*sustrato (Cuadro 12), presentando las mayores cantidades las plantas silvestres (24.82 mg·100 g<sup>-1</sup>) en comparación con la variedad Sweet Cluster (20.70 mg·100 g<sup>-1</sup>).

Hay evidencias acerca de tomates nativos que producen frutos con mayor cantidad de sólidos solubles, acidez titulable y concentración de licopeno (Juárez *et al.*, 2009; Salgado *et al.*, 2010; Juárez *et al.*, 2011) que los híbridos comerciales.

Al parecer algunas variedades sobre todo silvestres contienen genes que pueden ayudar a mejorar la producción de licopeno en etapas tempranas de la ruta biosintética de este caroteno; estrategia que ha demostrado su utilidad, ya que se ha encontrado que cruza con variedades cultivadas producen frutos, inclusive con mayor contenido de este pigmento que el de las variedades nativas (Tanksley McCouch, 1997).

El licopeno tiene actividad antioxidante y presenta la mayor actividad antioxidante entre todas las sustancias de este tipo. Además de estas propiedades, se ha

demostrado que el licopeno induce a la comunicación celular, y modula a las hormonas, el sistema inmunológico y a otras rutas metabólicas (Binoy *et al.*, 2004).

La concentración de licopeno aumenta con la maduración de los tomates, cuando los cloroplastos cambian a cromoplastos y la síntesis del licopeno aumenta causando el desarrollo de color rojo (Arias *et al.*, 2000). Entre variedades de tomate se encuentran diferencias en la concentración de licopeno, el contenido de este compuesto puede ser incrementando por las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas y la nutrición de las plantas (Raffo *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos fueron aproximados a los de Flores (2011), quien consiguió contenidos de licopeno desde 11.61 hasta 25.11 mg·100 g<sup>-1</sup> en diez genotipos nativos de tomate y dos híbridos comerciales, presentando cantidades mayores los cultivares nativos, de igual forma los resultados son similares a los de Urrieta (2011), quien obtuvo cantidades de 22 a 28 mg· 100 g<sup>-1</sup> en frutos de tres selecciones de tomate costilla, cultivados en hidroponía e invernadero. Diferentes trabajos como los de Macua *et al.* (2005) constatan que el contenido de licopeno en tomate depende fundamentalmente de factores genéticos (material vegetal), ambientales (aporte de nutrientes minerales, condiciones del suelo, épocas de cultivo, etc.) y del grado de madurez.

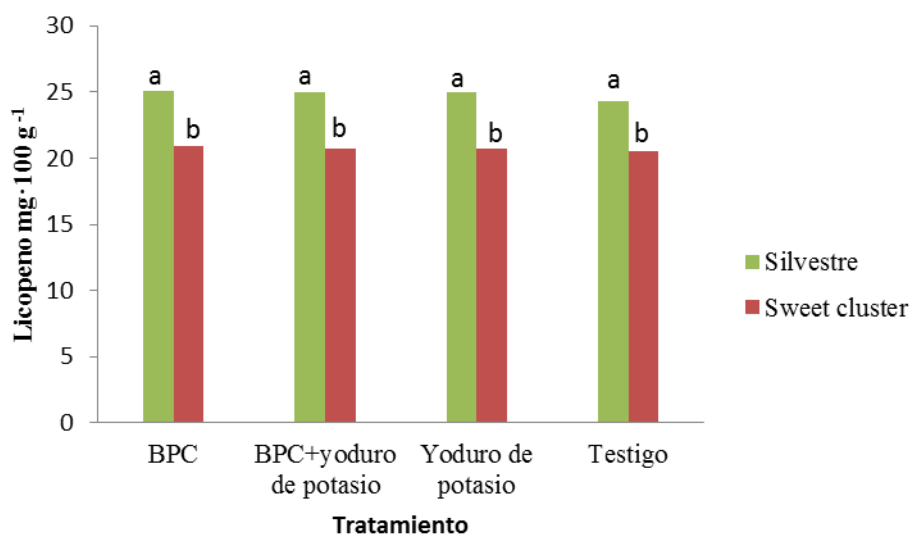
Cuadro 12. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre licopeno cuantificado por colorimetría en frutos de tomate.

FV	GL	SC	CM	FC	PR >F
VAR	1	2041.724511	2041.724511	416.15	**<.0001
PROM	3	19.199756	6.399919	1.30	0.2723
SUS	1	0.731116	0.731116	0.15	0.6997
VAR*PROM	3	5.316483	1.772161	0.36	0.7811
VAR*SUS	1	11.221711	11.221711	2.29	0.1311
PROM*SUS	3	41.309923	13.769974	2.81	*0.0392
VAR*PROM* SUS	3	59.501248	19.833749	4.04	**0.0074

Hay diferencias entre tratamientos si (P >F) < α = 0.05

Los mejores tratamientos fueron el cultivar silvestre + *Sphingomonas* sp. + yodo + tezontle con una cantidad de 25.75 mg·100 g<sup>-1</sup> y el tratamiento cultivar silvestre +

yodo + fibra de coco que tuvo 25.55 mg·100 g<sup>-1</sup> (Figura 7), el tratamiento con la menor cantidad fue Sweet Cluster + yodo + fibra de coco con 20.17, valores que son superiores a los encontrados por Méndez *et al.* (2011) en muestras de tomates nativos (13.7-15.8 mg·100 g<sup>-1</sup>) originarios del estado de Puebla, México, y por Macua *et al.* (2009) para variedades de alto contenido de licopeno (8.69-20.02 mg·100 g<sup>-1</sup>); sin embargo, estos valores son menores a los encontrados por Flores (2012) en variedades de tomates nativos de la región Puebla-Hidalgo con cantidades de 27.19 y 28.08 mg·100 g<sup>-1</sup> de licopeno.



**Figura 7. Contenido de licopeno en frutos de tomate por efecto de variedad y promotores cuantificado por colorimetría.**

Ordookhani *et al.* (2010) indica que tratamientos con bacterias promotoras de crecimiento tienen la capacidad de realizar cambios en el tomate tales como licopeno y la actividad antioxidante. Sin embargo Aranda (2013) concluye que no existe efecto alguno de los microorganismos endófitos en el contenido de licopeno; muy al contrario, se observa una disminución con respecto al control (sin inocular). De hecho, el tiempo de maduración de los frutos fue mucho más lento que en el caso del control.

Basándose en los resultados del presente estudio, el tratamiento con bacterias promotoras de crecimiento más yoduro de potasio aumentó la cantidad de licopeno en comparación con los demás tratamientos y con el tratamiento control.



Los valores muestran una sinergia en el efecto en el tratamiento de la bacteria *Sphingomonas* sp. y el yoduro de potasio en el tomate, además que se reafirma lo comprobado por Ordookhani *et al.* (2010) que el potasio y la concentración de licopeno en tomate tienen una correlación positiva.

Estadísticamente el cultivar silvestre inoculado con *Sphingomonas* sp. y asperjado con yoduro de potasio presentó una cantidad mayor de licopeno en comparación con la variedad Sweet Cluster; sin embargo, cabe señalar que en esta última la concentración más alta se presentó en frutos de plantas inoculadas con *Sphingomonas* sp. o asperjadas con yoduro de potasio (Cuadro 13). Al aplicar yoduro de potasio es posible incrementar la cantidad de antioxidantes como el licopeno.

La elevada actividad antioxidante del licopeno se basa en evitar la oxidación de las células (Kuhad *et al.*, 2008). La cantidad de licopeno del cultivar silvestres fue 15% mayor. El genotipo es uno de los factores que influyen en la concentración de licopeno (Caliman *et al.*, 2010); en este estudio, la concentración de licopeno en tomates nativos varió de 14.28 a 25.11 mg 100 g<sup>-1</sup>, valores que son superiores a los encontrados por Escaff (2006) en variedades comerciales (10.79-17.92 mg 100 g<sup>-1</sup>), por Méndez *et al.* (2011) en muestras de tomates nativos.

El licopeno representa más del 90% de los carotenoides totales en el tomate, está caracterizado por una estructura simétrica y acíclica con 11 dobles enlaces conjugados, lo que le otorga el color rojo característico y aunque no tiene actividad provitamina A, es un protector efectivo contra los radicales libres (Kuc *et al.* 2005). Anguelova y Warthsen (2000) establecieron que la principal causa de la pérdida de licopeno durante el procesamiento de tomate se debe a reacciones de oxidación.

Cuadro 13. Producción de licopeno en cv Sweet cluster y silvestre en diferentes sustratos y con la inoculación de biofortificantes.

Tratamiento	Rendimiento por planta	Lycopeno mg 100g <sup>-1</sup>	Lycopeno por planta mg. planta <sup>-1</sup>
Sweet cluster+ <i>Sphingomonas</i> sp +Tezontle	4286.66	21.058	902.68
Silvestre+ <i>Sphingomonas</i> sp + Tezontle	875.33	25.210	220.67
Sweet cluster+ <i>Sphingomonas</i> sp +Fibra de coco	4774.33	20.716	989.05
Silvestre+ <i>Sphingomonas</i> sp + Fibra de coco	791.33	24.919	197.19
Sweet cluster+ <i>Sphingomonas</i> sp +Yodo+Tezontle	4047.83	20.748	839.51
Silvestre+ <i>Sphingomonas</i> sp +Yodo+Tezontle	835	25.75	215.01
Sweet cluster+ <i>Sphingomonas</i> sp +Yodo+Fibra de coco	4843.22	20.609	998.13
Silvestre+ <i>Sphingomonas</i> sp +Yodo+Fibra de coco	727.5	24.208	176.11
Sweet cluster+ Yodo+Tezontle	4236.5	21.218	898.90
Silvestre+Yodo +Tezontle	550	24.346	133.90
Sweet cluster+Yodo+Fibra de coco	4736	20.171	955.25
Silvestre+ Yodo+ Fibra de coco	705.5	25.550	180.25
Sweet cluster+Tezontle	4315.05	20.555	886.95
Silvestre +Tezontle	948.66	23.550	223.40
Sweet cluster+Fibra de coco	5140.66	20.548	1056.30
Silvestre+Fibra de coco	869.33	25.090	218.11

El color rojo del fruto del jitomate se debe a cambios en la pigmentación causados por una masiva acumulación de licopeno dentro de los plástidos y por la desaparición de la clorofila, de tal forma que la concentración de licopeno esta correlacionada con el grado de maduración del fruto (Went et al., 1942; Martínez, 2003)

En la presente investigación se presentó una gran diferencia en la producción de fruto por planta (rendimiento) entre los dos cultivares en estudio, considerando la cantidad de licopeno que se produce en los diferentes tratamientos es posible obtener una estimación de cuanto licopeno por tratamiento es posible obtener. El Cuadro 13 indica que la variedad Sweet cluster desarrollada en fibra de coco produce 1056.30 mg que equivale a 1.056g de licopeno. Esta producción se da más bien por el alto rendimiento de producción (5.14 kg de fruto. Planta<sup>-1</sup>), ya que la cantidad de licopeno es baja (20.54mg. 100 g<sup>-1</sup>). Se considera importante hacer un análisis de cromatografía para cuantificar la calidad del licopeno y poder correlacionar cantidad y calidad de este antioxidante para ser industrializado y comercializado con fines terapéuticos.

### **5.8 Sólidos Solubles Torales (SST)**

Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en las variedades comerciales de tomate, con valores entre 1.5 -4.5 % del peso fresco (equivalente al 65 % de los sólidos solubles totales). Las variaciones de ácidos orgánicos, azúcares y solidos solubles están relacionadas con la madurez (Nuez, 2001).

Los resultados que se tienen de SST están por encima del rango normal de los SST, esto se debe a la aplicación de *Sphingomonas* sp. y aplicación de yoduro de potasio.

Se presentaron diferencias significativas sobre SST por efecto de promotores (*Sphingomonas* sp. y aplicación de yoduro de potasio). El tratamiento que presentó más cantidad de sólidos fue el cultivar silvestre + fibra de coco (5.9) seguido por el tratamiento cultivar silvestre + *Sphingomonas* sp. + tezontle (5.8). Los resultados

obtenidos son aproximados a los reportados por Juárez-López *et al.* (2009), entre 5.8 y 8.0 °Brix en la evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate. De acuerdo a los resultados obtenidos no se presentaron diferencias significativas por efecto de variedad (Cuadro 14), estos resultados son similares a los encontrados por Méndez *et al.* (2011) en un trabajo en el que se determinó la calidad de frutos en variedades nativas mexicanas de tomate, no se encontraron diferencias significativas en °Brix de 13 materiales nativos estudiados. Para el caso de sustratos no se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 14. Análisis de varianza de los factores variedad (VAR), promotores de crecimiento (PROM) y sustrato (SUS) sobre sólidos solubles totales (SST; °Brix) en frutos de tomate.

FV	GL	SC	CM	FC	PR > F
VAR	1	0.00602083	0.00602083	0.01	0.9234
PROM	3	9.01656250	3.00552083	4.62	**0.0034
SUS	1	0.91002083	0.91002083	1.40	0.2373
VAR*PROM	3	11.70872917	3.90290972	6.00	**0.0005
VAR*SUS	1	4.35102083	4.35102083	6.69	*0.0100
PROM*SUS	3	8.16239583	2.72079861	4.19	**0.0061
VAR*PROM* SUS	3	18.87939583	6.29313194	9.68	**<.0001

Hay diferencias entre tratamientos si  $(P > F) < \alpha = 0.05$

Las interacciones entre los factores variedad, sustrato y promotores resultaron significativas, es decir, los tratamientos no siguen la misma tendencia en SST. En la interacción variedad\*promotores\*sustrato la mejor combinación fue la utilización de variedad silvestre, inoculación de *Sphingomonas* sp y fibra de coco con un promedio de (5.9 °Brix) (Cuadro 15). Respecto a la interacción variedad\*promotores, Sweet Cluster inoculado con *Sphingomonas* sp. presentó más SST; (5.6 °Brix), mientras que en las interacciones variedad\*sustrato los mejores fueron la variedad Sweet Cluster con tezontle con valores promedio de 5.4. El promedio en la interacción promotores\*sustrato fue de 5.7 °Brix y se presentó en los tratamientos inoculados con *Sphingomonas* sp. y tezontle. Los resultados cubren parte de la variación reportada por Crisanto *et al.* (2010), entre 3.8 y 8.9 °Brix y superan los valores encontrados Macua *et al.* (2009) para variedades de alto contenido de licopeno (4.37-5.08).

Los °Brix que se necesitan para diferentes procesos son (Nuez, 2001):

Jugo de tomate: 4.5° Brix como mínimo

Puré de tomate: entre 5 y 12° Brix

Pasta de tomate: entre 12 y 18° Brix

Concentrado de tomate y jugo de tomate concentrado: más de 18° Brix.

Los tratamientos que se tienen son aptos para el jugo de tomate y puré de tomate ya que tienen los ° Brix adecuados, mientras que para la pasta y concentrado de tomate la cantidad de ° Brix que se necesitan es mucho mayor a lo encontrado.

Cuadro 15. Comparación de medias de Tukey  $\alpha = 0.05$  para sólidos solubles totales (SST; °Brix) en la interacción VAR\*PROM\*SUS.

Tratamiento	SST (° Brix)
Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + tezontle	5.6 abcd
Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + tezontle	5.8 ab
Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + fibra de coco	5.5 abcd
Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + fibra de coco	5.0 cde
Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo + tezontle	5.0 cde
Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp.+ yodo + tezontle	5.4 abcde
Sweet Cluster + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo + fibra de coco	4.9 cde
Silvestre + <i>Sphingomonas</i> sp. + yodo+ fibra de coco	5.3 abcde
Sweet Cluster + yodo + tezontle	5.6 abc
Silvestre+ yodo + tezontle	4.8 e
Sweet Cluster + yodo + fibra de coco	5.1 cde
Silvestre + yodo+ fibra de coco	5.1 bcde
Sweet Cluster + tezontle	5.3 abcde
Silvestre + tezontle	4.9 de
Sweet Cluster + fibra de coco	4.9 cde
Silvestre + fibra de coco	5.9 a

Valores con diferente letra, en hileras, son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMS = 0.71.

Aunque estadísticamente no se presentaron diferencias, de acuerdo a los resultados obtenidos los tratamientos que fueron inoculados con *Sphingomonas* presentaron mayor concentración de sólidos solubles totales (°Brix). Estos resultados muestran que existe una variabilidad por efecto de la aplicación de promotores de crecimiento. La mayoría de los tratamientos presentaron mayor cantidad de SST al compararlos con dos variedades comerciales que fueron

evaluados por Flores (2011) en el que encontró que los materiales “Sun 7705” y “Caiman” presentaron 4.9 y 4.6 °Brix respectivamente.

El contenido de sólidos solubles es importante para definir la calidad de los frutos maduros de tomate (De la Cruz *et al.* 2009).

Sin embargo, en este estudio todos los tratamientos presentaron frutos de calidad en cuanto a SST, que el tomate para consumo en fresco debe de tener contenidos mayores de 4.0 ° Brix; sin embargo, Diez (2001) menciona que el tomate, para procesado o consumo en fresco, debe de contar con un contenido de SST de al menos 4.5 °Brix.

## 6. CONCLUSIONES

El contenido de licopeno en frutos de tomate de las variedades estudiadas se incrementó de manera significativa por la aplicación de *Sphingomonas* sp. por lo que se concluye que esta bacteria incrementa antioxidantes en dicho cultivo, en cuanto a la variedad no hubo diferencias significativas.

La altura y el diámetro de tallo fue significativamente más elevada en la variedad Sweet Cluster debido principalmente a las diferencias genéticas de los cultivares, ya que no se encontraron efectos significativos por la utilización de promotores de crecimiento y sustratos.

Las lecturas SPAD presentaron diferencias por el efecto de sustrato, resultando con las lecturas más elevadas las plantas cultivadas en tezontle.

El rendimiento de los dos cultivares no se vio afectado por la utilización de *Sphingomonas* sp. Sweet Cluster presentó mayor rendimiento en plantas de tomate desarrolladas en fibra de coco.

Los sólidos solubles se modificaron entre los cultivares con la aplicación de *Sphingomonas* sp. y aplicación de yoduro de potasio.

Se cumplió con el objetivo del trabajo, se estudió el efecto que las bacterias promotoras de crecimiento del género *Sphingomonas* sp. tienen en la producción de licopeno en el cultivo de tomate encontrando que con su inoculación se incrementan los niveles de este antioxidante en el tomate.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Abad, M., F. Fornes, C. Carrión, V. Noguera, P. Noguera, A. Maquieira, R. Puchades. 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *Horticultural Science* 40: 2138-2144.

Abad, M., P. Noguera, R. Puchades, A. Maquieira and V. Noguera. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82:241-245.

Abushita, A. A., H. G. Daood, P.A. Biacs. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 2075–2081.

Agarwall, S., and V. A. Rao. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal* 163:739-744.

Ahmad, F., I. Ahmad, M. S. Khan. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research* 36:1-9.

Ahn, I.P., S. W. Lee, and S. C. Suh. 2007. Rhizobacteria-Induced Priming in *Arabidopsis* is dependent on ethylene, Jasmonic Acid, and nPr1. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 20:759-768.

Alfonso, E. T., A. Leyva, A. Hernández. 2005. Microorganismos Benéficos como Biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología* 2:47-54.

Aller, A. J., J. L. Bernal, M. J. del Nozal, L. Deban. 1990. Effects of selected trace elements on plant growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 51:447-479.



Anguelova, T. y J. Warthseh. 2000. Lycopene Stability in tomato powders. *Journal of Food Science* 65: 67-70.

Anicua, S. R. 2008. Caracterización física y morfología de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)*. Tesis de doctorado. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 198 p.

Aranda, C. A. 2013. Análisis cualitativo y cuantitativo de licopeno y ácido ascórbico en tomate y fresa, en presencia de microorganismos endófitos Universidad Internacional de Andalucía.

Arias, R., T-C. Lee, L. Logendra, and H. W. Janes. 2000. Correlation of Lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:1697-1702.

Aslantas, R., R. Cakmakci, and F. Sahin. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae* 111: 371–377.

Bai, Y. y P. Lindhout. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany* 100: 1085-1094.

Balkwill, D.L., G. R. Drake, R. H. Reeves, J. K. Fredrickson, D. C. White, D. B. Ringelberg, D. P. Chandler, M. F. Romine, D. W. Kennedy, C. M. Spadoni. 1997. Taxonomic study of aromatic-degrading bacteria from deep-terrestrial-subsurface sediments and description of *Sphingomonas aromaticivorans* sp. nov., *Sphingomonas subterranea* sp. nov., and *Sphingomonas stygia* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 47:191–201.

Baraniecki, C., J. Aislabie, and J. Foght. 2002. Characterization of *Sphingomonas* sp. Ant 17, an aromatic hydrocarbon-degrading bacterium isolated from Antarctic soil. *Microbial Ecology* 43:44-54.

Bastida, A. 1999. *El Medio de Cultivo de las Plantas. Sustratos para Hidroponía y Producción de Plantas Ornamentales*. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, México. 72 p.

Beutner, S., B. Bloedorn, S. Frixel, I. H. Blanco, T. Hoffman, and H. Martin. 2001. Quantitative assessment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. The role of  $\beta$ -carotene in antioxidant functions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81:559-568.

Binoy, G; Kaur, C; Khudiya, D. S; Kapoor, H. C. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.

Blancard, D., H. Laterrot, G. Marchoux y T. Candresse. 2011. *Enfermedades del tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Blasco, B., J.J. Rios, L.M. Cervilla, E. Sánchez-Rodríguez, J.M. Ruiz, and L. Romero. 2008. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology* 152:289–299.

Borde, X., B. Guieysse, O. Delgado, R. H. Kaul, C. N. Chauvin, H. Patin, B. Mattiasson. 2003. Synergistic relationships in algal–bacterial microcosms for the treatment of aromatic pollutants. *Bioresource Technology* 86: 293–300.

Bostock, A. C., G. Shaw, J. N. Bell. 2003. The volatilisation and sorption in coniferous forest, grassland and frozen soils. *Journal of Environmental Radioactivity* 70:29-42.

Burés, S., M. C. Gago, and F. X. Martínez. 1997. Water characterization in granular materials (referred). *Acta Horticulturae* 450:389-396.

Cabrera, R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas de maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura* 5:5-11.

Caiola, M.G., A. Al-Botta, M. del Gallo. 2004. Localization of *Azospirillum brasiliense* Cd in inoculated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) roots. *Annals of Microbiology* 54:365-380.

Caliman, F.R.B., D.J.H. Silva, P.C. Stringheta, P.C.R. Fontes, G.R. Moreira and E.C. Montovani, 2010. Quality of tomatoes grown under a protected environment and field conditions. *IDESIA* 28: 75-82.

Candelas, C. M. G., O. F. del Rio, G. M. Alanis, D. C. García, y J. M. Bautista. 2005. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 4:299-307.

Castellanos, J. Z. y P. Vargas T. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. *In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. J Z Castellanos (ed.) 2ª ed. INTAGRI. México pp: 103-123.

Castellanos, R. J., J. L. Ojodeagua, L. Tijerina C., P. Vargas T., P. Sánchez G., R. M. López R., A. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 375-381.

Castellanos, J. Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRI, S. C. Celaya, Gto. México. 458 p.

Crozier, A., M. E. J. Lean, M. S. McDonald, and C. Black. 1997. Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce, and celery. *Journal Agricultural Food and Chemistry* 45: 590–595.

De la Cruz, E., M. Estrada, V. Robledo, R. Osorio, C. Márquez y R. Sánchez. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y ciencia* 25:59-67.

Dey, R., K. K. Pal, D. M. Bhatt, and S. M. Chauhan. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 159: 371–394.

Diez JM (2001) Tipos varietales. En: Nuez F (ed.). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. D.F. 796 pp.

Döbereiner, J., S. Urquiaga, R.M. Boddey y N. Ahmad. 1995. Alternatives for nitrogen of crops in tropical agriculture. Nitrogen economy in tropical soil. *Fertilizer Research* 42: 339-346.

Egamberdiyeva, D. 2005. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of the Plant Nutrition and Soil Science* 168: 94–99.

Enya, J., S. Y. Shinohara, T. Tsukiboshi, H. Negishi, K. Sumaya, S. Tsushima. 2007. Culturable Leaf-Associated Bacteria on Tomato Plants and Their Potential as Biological Control Agents. *Microbial Ecology* 53: 524–536.

Escaff G., M. 2006. Variedades de tomate para procesamiento: comportamiento agronómico e industrial en Chile. *In*: Saavedra del R., G. and Gonzalez Y., M. (eds.). *producción de tomate para procesamiento*. Serie Actas INIA 32. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. La Platina, Santiago, Chile. pp: 17-28.

Evans, M. R., S. Konduru, R. H. Stamps. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *Horticultural Science* 31:1294-1302.

FAO, Declaración de la FAO sobre Biotecnología, <http://www.fao.org/biotech/es/X438S.htm> (2000).

FAOSTAT. 2010. Dirección de Estadística. Disponible en:  
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

Fernández-Ruiz, M., M. Cámara y J. C. Quintela. 2007. Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* 27:36-40.

Flores G., D. 2011. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) nativos cultivados en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 74 p.

Flores I. D. 2012. Valoración agronómica y de calidad de fruto en poblaciones nativas de jitomate mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 85 p.

Fornes, F., R. M. Belda, M. Abad, P. Noguera, R. Puchades, A. Maquieira, V. Noguera. 2003. The microstructure of coconut coir dusts for use as alternatives to peat in soilless growing media. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1171-1179.

Fredrickson, J. K., D. L. Balkwill, G. R. Drake, M. F. Romine, D. B. Ringelberg, D. C. White. 1995. Aromatic-degrading *Sphingomonas* isolates from the deep subsurface. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 1917–1922.

Gahler, S., K. Otto, V. Bohm. 2003. Alterations of vitamin C, total phenolics and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7962-7968.

Gallegos, C. K., A. Sharma, K. Chopra. 2008. Lycopene attenuates thermal hyperalgesia in a diabetic mouse model of neuropathic pain. *European Journal Pain* 12: 624-632.

Gärdner, C., W. Stahl y H. Sies. 1997. "Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes". *American Journal of Clinical Nutrition* 66: 116-122.

Garza, L. J. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México.

George, B., C. Kaur, D. S. Khurdiya, H. C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.

Glick, B.R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 109–117.

Hadley C. W., Clinton S. K., Schwartz S. J., 2002. The Consumption of Processed tomato products Enhances plasma lycopene concentrations in association with a reduced lipoprotein sensitivity to oxidative damage, human nutrition and metabolism 133: 727-732.

Handelman, G. J. 1996. Carotenoids as scavengers of active oxygen species. *In*: Cadenas, E. y Packer, L. (ed.), *Handbook of antioxidants*. New York: Marcel Dekker. pp. 259-314.

Hao, X. y A. P. Papadopoulos. 2002. Growth photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivates in open or closed rock-wool systems. *Canadian Journal of Plant Science* 82:771-780.

Hernández, M. I. y M. Chailloux. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la Nutrición mineral del tomate. *Cultivos Tropicales* 25: 5-12.

Hernández, R. A., A. N. Hernández L., M. G. Velázquez del, Y Birigimania, K. audenaert, M. Hofte. 2004, Aplicación de Rizobacterias para inducir resistencia en los sistemas frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc y Magnus). *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:100-106.

Howard, M. J. 1998. Hydroponic Food Production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. Woodbridge. Santa Barbara, California. 520 p.

Inden, H. y A. Torres. 2004. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *Acta Horticulturae* 644:205-210.

Jeon, J. S., S. S. Lee, H. Y. Kim, T. S. Ahn, and H. G. Song. 2003. Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. *Journal of Microbiology* 41: 271–276.

Jones, Jr. y J. Benton. 1998. *Plant Nutrition Manual*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Juarez L. P. 2009. Producción y calidad de genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero e hidroponía. Tesis de Doctorado en ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. 97 p.

Juárez, P, R Castro B., T Colinas L., P. Ramírez V., M Sandoval V., D Reed, L Cisneros Z., S King (2009) Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:5-9.

Juárez L. P., D. W. Reed, M. Kent, L. Cisneros, Z. S. King., R. Castro B., P. Ramírez V., M. Sandoval V., T. Colinas L. 2011. Efecto de la concentración de la solución nutritiva en la calidad de frutos de genotipos nativos de jitomate In: memorias de Resúmenes del XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. SOMECH, A. C. (ed). 10-14 de abril. Culiacán, Sinaloa. México, pp: 160.

Kämpf AN, Jun Takane R, Vital de Siqueira, PT. 2006. Floricultura, Técnicas de preparación de substratos. LK Brasilia, Brasil. 132 p.

Karlson, U., F. Rojo, J. Dirk, E. Van, E. Moore. 1995. Genetic and serological evidence for the recognition of four pentachlorophenol-degrading bacterial strains as a species of the genus *Sphingomonas*. *Systematic and Applied Microbiology* 18: 539–548.

Kaur, C. and H. Kapoor. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables-the Millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 703–725.

Khachick, F., G. R. Beecher, and J. C. Smith. 1995. Lutein, lycopene, and their oxidative metabolites in chemoprevention of cancer. *Journal of Cellular Biochemistry* 22: 236-246.

Khachick, F., L. Carvalho, S. P. Bernstein, G. J. Muir, D. Zhao. 2002 Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoides and their impact on human health. *Experimental Biology and Medicine* 227:845-851.

Kim, E., P. J. Aversano, M. F. Romine, R. P. Schneider, G. J. Zylstra. 1996. Homology between genes for aromatic hydrocarbon degradation in surface and deep-subsurface *Sphingomonas* strains. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 1467-1470.

Kim, H., M. Nishiyama, T. Kunito. 1998. High population of *Sphingomonas* species on plant surface. *Journal Applied Microbiology* 85: 731–736.

Konduru, S., E. Michael R., R. H. Stamps. 1999. Coconut husk and processing effects on chemical and physical properties of coconut coir dust. *Horticultural Science* 34: 88–90.

Kramer, P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Centro Regional de Ayuda Técnica. México, D.F. 538 p.

Kuc A., S. Sgroppo y J. Avanza. 2005. Tomates triturados. Cambios físico - químicos durante el almacenamiento. *FACENA* 21: 85-91.



Kuhad, A., R. Sethi, K. Chopra. 2008. Lycopene attenuates diabetes-associated cognitive decline in rats. *Life Sciences* 83:128-134.

Labate, J. A., S. Grandillo, T. Fulton, S. Muños, A. I: Caicedo, I. Peralta, Y. Ji, R. T. Chetalat, J. W. Scott, M. J. Gonzalo, D. Francis, W. Yang, E. van der Knaap, A. M. Baldo, B. Smith-White, L. A. Mueller, J. P. Prince, N. E. Blanchard, D. B. Storey, M. R. Stevens, M. D. Robbins, J-F Wang, B.E. Liedl, M. A. O' Connell, J. R. Stommel, K. Aoki, Y. Iijima, A.J. Slade, S. R. Hurts, D.Loeffler, M. N. Steine, D. Vafeados, C. McGuire, C. Freeman, A. Amen, J. Goodstal, D. Facciotti, J.V. Eck, and M. Causse. 2007. Tomato. *In: Kole C, (ed) Genome mapping and molecular breeding in plant, vol. 5, Vegetables. Springer Verlag, Berlin, pp 1-125.*

Landa, B., O. Mavrodi, M. Raaijmakers, B. McSpadden, L. Thomashow, D. Weller. 2002. Differential ability of genotypes of 2,4-diacetylphloroglucinol-Producing *Pseudomonas fluorescens* strains to colonize the roots of pea plants. *Applied and Environmental Microbiology* 68:3226-3237.

Leblanc, C., C. Colin, A. Cosse, L. Delage, S. La Barre, P. Morin, B. Fiévet, C. Voiseux, Y. Ambroise, E. Verhaeghe, D. Amouroux, O. Donard, E. Tessier, P. Potin. 2006. Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie* 88:1773-1785.

Lee, M. T., and B. H. Chen. 2002. Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. *Food Chemistry* 78:425–432.

Lemaire, F. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Mundi Prensa. Madrid, España. 210 p.

Leonardi, C., P. Ambrosino, F. Esposito, V. Fogliano. 2000. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 4723–4727.

Lu, S., and L. Li. 2008. Carotenoid metabolism: Biosynthesis, Regulation, and Beyond. *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 778-785.

Lucy, M., E. Reed, and B. R. Glick. 2004. Application of free living plantpromoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 86: 1–25.

Ma, Y. A., D. G. Nichols. 2004. Phytotoxicity and detoxification of fresh coir dust and coconut shell. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35: 205-218.

Macua, J. I., Lahoz, J. Garnica, S Calvillo, J. Zuñiga y A. Santos. 2006. Tomate de industria. Instituto Técnico y de Gestión Agrícola. Navarra, España. 21-28 p.

Macua, J. I., Lahoz, A. Santos, J. Zabaleta y S. Calvillo. 2009. Otras variedades de tomate: resultados de la campaña 2008. Instituto Técnico y de Gestión Agrícola. Navarra, España. 21-28 p.

Martínez B. E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37: 363-370.

Matheron, M. 2001. Modes of action for plant disease management chemistries. University of Arizona, Yuma, USA. <http://ag.arizona.edu/crops/diseases/papers/dischemistry.html>; consulta: Julio de 2011.

Mavrodi, O. V., D. Mavrodi, A. Park, D. Weller, L. Thomashow. 2006. The role of dsbA in colonization of the wheat rhizosphere by *Pseudomonas fluorescens* Q8r1-96. *Microbiology* 152:863-872.

Méndez I., I., A.M. Vera G., J.L. Chávez S. and J.C. Carrillo R. 2011. Quality of fruits in mexican tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Landraces. *VITAE* 18: 26-36.

Miller, N. J., J. Sampson, L. P. Candeias, P. M. Bramley, and C. A. Riceevans. 1996. Antioxidants activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters* 384: 240-242.

Morelo, P., L. Poncet, y L. Riviere. 2000. Les supports de cultura horticoles. *Les Matériaux Complementaries Ternatifs a la tourbe*. INRA. Paris. 87 p.

Moreno R., Y. del R., P. Ramírez V., S. Miranda C., C. Saucedo V. y M. Sandoval V. 2010. Diversidad morfológica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de México. *In: Memorias de Resúmenes del XXIII Congreso Nacional y III Internacional de Fitogenética*. SOMEFI. 27 de septiembre-1 de octubre. Universidad Autónoma de Nayarit, México. pp:81.

Nascimbém, P. E. A., J. R. F. Galdiano, J. C. Campanharo, A. L. M. Carareto, L. E. G. Macedo. 2010. Identification and evaluation of bacteria isolated from roots of maize. *Bragantia* 69:123-132.

Neef, A., R. Witzemberger, P. Kämpfer. 1999. Detection of *Sphingomonads* and in situ identification in activated sludge using 16S rRNA-targeted oligonucleotide probes. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 23: 261–267.

Nguyen, M. L. and S. J. Schwartz. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology* 53: 38-53.

Nieto M. J. 2009. Cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentim* Mill.) en invernadero. Tesis de Ingeniería de Ejecución Agropecuario. Universidad de Magallanes. Punta Arenas, Chile.

Noguera, P., M. Abad, R. Puchades, A. Maquieira, V. Noguera. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 593-605.

Nuez, F. 2001. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.

Ocampo, M., M. Caballero y C. Tornero. 2005. Los sustratos en cultivos hortícolas y ornamentales. En agricultura, ganadería, ambiente y desarrollo sustentable. SAGARPA. México, D.F.

Ordookhani, K., K. Khavazi, A. Moezzi and F. Rejali. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. African Journal of Agricultural Research 5:1108-1116.

Ortiz. G. 2004. Comparación de la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía y suelo bajo invernadero en Miahuatlan, Puebla Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 70 p.

Pagani, A., H. E. Echeverría, F. H. Andrade y H. R. Sainz R. 2010. Es posible caracterizar el estatus nitrogenado en maíz con el medidor de clorofila si hay una deficiencia de azufre. Información Agronómica 47: 4.9.

Parker R.S. 1996. Absorption, metabolism and transport of carotenoids. FASEB Journal 10:542-551.

Pastor, S. 2000. Utilización de sustratos en viveros. Terra 17: 213-235.

Periago, M. J., I. Martínez-Valverde, G. Ros, C. Martínez, G. Ros y G. López. 2001. Propiedades químicas; biológicas y valor nutritivo del licopeno. Anales de Veterinaria. Murcia 17: 51-66.

Perking V., P., J. Collins, D. Pair y W. Roberts. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture 81: 983-987

Pilatti R., A., y C. A. Bouzo. 2000. Nota corta: Efecto del bajado de plantas sobre la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en invernadero. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 15:143-150.

Quintana, R. A., H. Balaguera, J. Álvarez, J. Cárdenas y E. Hernando. 2010. Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 4: 199-208.

Raffo, A., C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianeso, F. Giuffrida y G. Quaglia. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicum esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 6550-6556.

Rao A.V. y S. Agarwall. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. Nutrition Research 19: 305-323.

Rao, A. V. y S. Agarwall. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. Journal American College Nutrition 19: 563-569.

Rao, A. V., N. Fleshner, and S. Agarwall. 1999. Serum and tissue lycopene and biomarkers of oxidation in prostate cancer patients: a case-control study. Nutrition and Cancer 33: 159-164.

Rao, A.V., M. R. Ray, L. G. Rao. 2006. Lycopene. Advances in Food and Nutrition Research 51:99-164.

Rodríguez, R. R., R. J. Tabares y S. J. J. A. Medina. 2001. Cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.

Romer, S., P. D. Fraser, J. Kiano, C. A. Shipton, N. Misawa, W. Schuch, and P. M. Bramley. 2000. Elevation of the provitamin A content of transgenic tomato plants. Nature Biotechnology 18: 666-669.

Romualdo Vásquez Ortiz, José Cruz Castillo Rodríguez y Porfirio Ramírez Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8: 49-64.

Salgado, M., L. P. Ramírez y F. Utrera Q. 2010. Contenido de licopeno en acervos de jitomate mexicano. *In*. Memorias del Foro Regional de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A. C. Noviembre. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México. Pp. 35-38.

San Martín H. C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de "tezontle". Tesis de Maestría en Ciencias. Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 98 p.

Scita, G. 1992. Stability of b-carotene under different laboratory conditions. *Methods in Enzymology* 213: 175-185.

Sengupta, A. and S. Das. 1999. The anti-carcinogenic role of lycopene, abundantly present in tomato. *European Journal of Cancer Prevention* 8: 325-330.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>. 2013. Consultado el 15 de marzo de 2012.

Sevilla P., R. 2006. Conceptos básicos para la caracterización. Definiciones conceptuales básicas. *In*: R. Estrada J., T. Medina H. y A. Roldán C. (eds.) Manual ara caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA. Lima, Perú. pp: 17-25.

Shi T, Fredrickson JK, Balkwill DL. 2001. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Sphingomonas* strains isolated from the terrestrial subsurface. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 26:283–289.

Shi, J., and M. Le Maguer. 2000. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40:1–42.

Shimamoto, Y.S., T. Itai, and Y. Takahashi. 2009. Soil column experiments for iodate and iodide using K-edge XANES and HPLC–ICP-MS. *Journal of Geochemical Exploration*. Disponible en línea. 10.1016/j.gexplo.2009.11.001

Shoresh M., I. Yedidia, I. Chet. 2005. Involvement of jasmonic acid/ethylene signaling pathway in the systemic resistance induced in cucumber by *Trichoderma asperellum* T20. *Phytopathology* 95:66-77.

Sies H. y Stahl W. 1998. Lycopene: antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. *Proceedings of the Society Experimental Biology and Medicine* 218:121–124.

Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15:134-154

Steiner, A. A. 1984. The universal solution. pp. 633-649. *Proceedings of the Sixth Int. Congr. On Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.

Tabata, K., K. Kasuya, H. K. Abe, and Y. D. Masuda. 1999. Poly (aspartic acid) degradation by a *Sphingomonas* sp. isolated from freshwater. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4268–4270.

Takeuchi, M., Sakane, T., Yanagi, M., Yamasato, K., Hamana, K., and Yokota, A. 1995. Taxonomic study of bacteria isolated from plants: proposal of *Sphingomonas rosa* sp. nov., *Sphingomonas pruni* sp. nov., *Sphingomonas asaccharolytica* sp. nov., and *Sphingomonas mali* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 45:334-341.

Tangaromsuk, J., P. Pokethitiyook, M. Kruatrachue, and E. S. Upatham. 2002. Cadmium biosorption by *Sphingomonas paucimobilis* biomass. *Bioresource Technology* 85: 103–105.

Tanksley S. D. y S. R. McCouch. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*. 277: 1063-1066.

The SAS System for Windows.

<http://support.sas.com/demosdownloads/setupintro.jsp?listing=vrel&sublist=none>

Tian, R. C., J. C. Marty, E. Nicolas, J. Chiavérini, D. Ruiz-Pino, and M. D. Pizay. 1996. Iodine speciation: a potential indicator to evaluate new production versus regenerated production. *Deep-Sea Research, Part I* 43:723-738.

Tonucci, L.H., J.M. Holden, G.R. Beecher, F. Khachik, C.S. Davis y G. Mulokozi. 1995. Carotenoid content of thermally processed tomato based food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 579- 586.

Tsavkelova, E. A., S. Y. Klimova, T. A. Cherdyntseva, and A. I. Netrusov. 2006. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology* 42:117-126.

Urrestarazu, G. M. 2000. Manual del cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Almería, España.

Urrieta V. J. A. 2011. Crecimiento, desarrollo, extracción nutrimental, rendimiento y calidad del jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* Mill.). Tesis de Doctorado en Ciencias Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 139 p.

Van H. H., K.H. Boer, L.B. Tijburg, B.R. Lucius, I. Zijp, C.E. West, J.G. Hautvast and J.A. Weststrad. 2000. Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. *Journal of Nutrition* 130: 1189-1196.



Vásquez, O., R., J.C. Carrillo R. y P. Ramírez V. (2010). Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Revista Naturaleza y Desarrollo* 8: 49-64.

Vargas T., P. 2007. Caracterización física, química y biológica de polvo de coco y tezontle como sustratos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.

Voitilainen S., Nurmi T., Mursu J., Rissanen T. H., 2006. Carotenoids and cardiovascular health, *American Journal of Clinical Nutrition* 83: 1265-1271.

Weert, S., I. Kuiper, E. L. Lagendijk, E. Gerda, M. Lamers, J. Ben, J. Lugtenberg. 2003. Role of chemotaxis toward fusaric acid in colonization of hyphae of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* by *Pseudomonas fluorescens* WCS365. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 17:1185-1191.

Went F., A. Lerosen, and I. Zechemeister. 1942. Effect of external factors on tomato pigments as studied by chromatographic methods. *Plant physiology* 91-100.

Whitehead, D.C. 1975. Uptake by perennial ryegrass of iodide, elemental iodine and iodate added to soil as influenced by various amendments. *Journal of Science Food Agriculture* 26:361-367.

Wilberg, V. C. and D. B. Rodríguez-Amaya. 1995. HPLC Quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. *Lebensm-Wissu Technology* 28: 474-480.

Wildermuth, M., J. Dewdney, G. Wu, F. Ausubel. 2001. Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defense. *Nature* 414: 562-565.

Wong, G.T.F. 1991. The marine geochemistry of iodine. *Reviews in Aquatic Sciences* 4: 45-73.

Xia, Y., H. Min, G. Rao, Z. M. Luv, J. Liu, X. J. Duan. 2005. Isolation and characterization of phenanthrene-degrading *Sphingomonas paucimobilis* strain ZX4. *Biodegradation* 16: 393–402.

Zambrano, J., J. Moyeja y L. Pacheco. 1995. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Tropical* 46: 61-72.

Zarate, B. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Tesis de maestría en Ciencias C.I.D.I.R. IPN. Oaxaca, México.

Zylstra, G. y E. Kim. 1997. Aromatic hydrocarbon degradation by *Sphingomonas yanoikuyae* B1. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology* 19: 408–414.