UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Uso de elicitores y un coctel esencial de nutrientes (CEN) para incrementar el contenido de licopeno en tomate bajo invernadero.

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniero Agroindustrial

Presenta

Mariana Hernández Maldonado

Dirigida por

M. en C. Luciano Ávila Juárez

Santiago de Querétaro, Querétaro, 2015

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DGBSDI-UAQ

La presente obra está bajo la licencia:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada , brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios . Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales .

SinDerivadas — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Uso de elicitores y un coctel esencial de nutrientes (CEN) para incrementar el contenido de licopeno en tomate bajo invernadero.

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniero Agroindustrial

Presenta:

Mariana Hernández Maldonado

Dirigido por:

M. en C. Luciano Ávila Juárez

SINODALES

M. en C. Luciano Ávila Juárez
Presidente

Dr. J. Jesús de Santiago Pérez
Secretario

Lic. Mariela Arias Arzate
Vocal

M. en C. Reynaldo Hernández Maldonado
Suplente

Centro universitario
Querétaro, Qro.
2015
México

RESUMEN

El tomate es el principal cultivo en invernadero en México y el mundo. Además de su importancia económica, el consumo de tomate ha demostrado ser benéfico para la salud, debido a sus componentes, principalmente el licopeno. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue cuantificar la producción de licopeno en función de la aplicación de elicitores, combinado con un coctel esencial de nutrientes (CEN). Para lo cual se utilizó un experimento factorial 4x3 incompleto, 12 de los cuales fueron generados a partir de la combinación de los 4 elicitores (ácido salicílico (AS), metil jasmonato (MeJ), óxido nítrico (ON) o peróxido de hidrógeno (PHi)) con tres tipos de CEN (Puebla, Jalisco y Veracruz), cuatro más que fueron los testigos (sin CEN) y uno más que fue el testigo general (solución nutritiva de Steiner). Se evaluaron las variables fisiológicas en la planta como son: diámetro de tallo, longitud de hoja y altura de la planta, además de las variables químicas en el fruto de tomate. Los resultados demuestran que el elicitor con mayor efecto en la planta fue el AS en cuanto a la altura de la planta; mientras que en el fruto no se observó efecto alguno. En licopeno no hubo diferencia significativa por la aplicación del elicitor, CEN y tampoco en el testigo.

Palabras clave: coctel esencial de nutrientes, licopeno, nutrición vegetal.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por permitirme terminar una etapa más de mi vida.

A mi familia por darme el apoyo incondicional

A todos los que colaboraron en la trayectoria universitaria

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN i
ÍNDICE GENERAL iii
ÍNDICE DE FIGURAS vi
ÍNDICE DE TABLAS vii
1. INTRODUCCIÓN 1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 2
3. JUSTIFICACIÓN 3
4. HIPÓTESIS 4
5. OBJETIVOS 4
5.1 Objetivo general 4
5.2 Objetivos específicos 4
6. REVISIÓN DE LITERATURA 5
6.1 Características generales del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) 5
6.1.1 Origen del tomate 5
6.1.2 Morfología y taxonomía 5
6.2 Importancia económica del tomate 5
6.3 Importancia nutracéutica del tomate 6
6.4 FIMs en la Agricultura 7
6.5 Nutrición vegetal 12
6.5.1 La solución nutritiva 12
6.5.2 Clasificación de elementos químicos 12
6.5.3 Macronutrientes 13
6.5.4 Micronutrientes 13
6.5.5 Elementos no Esenciales 14
6.6 Agricultura Convencional v.s Agricultura Orgánica 14
6.7 Coctel Esencial de Nutrientes (CEN) 16
7. MATERIALES Y MÉTODOS 17
7.1 Lugar del experimento 17

7.2 Características del invernadero 17
7.3 Sistema de riego 18
7.4 Sustrato 19
7.5 Diseño experimental 19
7.5.1 Diseño del experimento 19
7.6 Diseño experimental 20
7.7 Metodología del cultivo 21
7.7.1 Producción de plántula 21
7.7.2 Primer transplante de la planta de tomate 21
7.7.3 Segundo transplante de la planta de tomate 22
7.7.4 Nutrición 22
7.8 Variables fisiológicas en planta de tomate 23
7.9 Variables químicas en fruto de tomate 23
7.10 Dosis y preparación de elicitores 24
7.11 Selección de los suelos para la extracción del CEN 25
7.11.1 Extracción del suelo 25
7.12 Determinación de licopeno con HPLC 26
7.12.1 Instrumentación 26
7.12.2 Preparación de la muestra para su análisis 27
7.12.3 Análisis con HPLC 28
7.13 Análisis estadístico 28
8. RESULTADOS 29
8.1 Análisis químico de los suelos seleccionados 29
8.2 Variables fisiológicas en planta de tomate 29
8.2.1 Anova de variables fisiológicas 29
8.2.2 Desarrollo de la planta de tomate 30
8.3 Características del fruto de tomate 31
8.3.1 Contenido de color en fruto de tomate(a*/b*) 31
8.3.2 Anova de variables químicas 32
8.3.3 Diámetro ecuatorial, peso y pH de fruto 33

8.3.4 Contenido de licopeno en fruto de tomate 34
9. DISCUSIÓN 39
9.1 Coctel esencial de nutrientes (CEN) 39
9.2 Elicitores 39
10. CONCLUSIÓN 41
11. REFERENCIAS 42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.1. Producción de tomate a nivel internacional 6
Figura 7.1. Ubicación del área experimental. 17
Figura 7.2. Invernadero tipo dos aguas 18
Figura 7.3. Sistema de riego 18
Figura 7.4. Sustrato de tabla de lana de roca 19
Figura 7.5. Ubicación de los tratamientos en el invernadero. 20
Figura 7.6. Producción de plántula de tomate 21
Figura 7.7. Primer transplante de la planta de tomate 22
Figura 7.8. Segundo transplante de la planta de tomate 22
Figura 7.9. Análisis de color de tomate 24
Figura 7.10. Suelos elegidos para la extracción del CEN 25
Figura 7.11. Extracción del CEN 26
Figura 8.1. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de As y CEN 36
Figura 8.2. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de MeJ y CEN 37
Figura 8.3. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de ON y CEN 37
Figura 8.4. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de PHi y CEN 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Aplicación de elementos no esenciales en las plantas 14
Tabla 7.1. Combinación y codificación de los tratamientos 20
Tabla 8.1. Análisis químicos de los tres tipos de suelos..... 29
Tabla 8.2. Anova de las variables fisiológicas en la planta de tomate 30
Tabla 8.3. Efectos principales del CEN y los elicitores en las variables fisiológicas en la planta de tomate 31
Tabla 8.4. Efectos en la combinación del CEN y los elicitores en el color en fruto de tomate 32
Tabla 8.5. Anova de las variables químicas en la planta de tomate 33
Tabla 8.6. Efectos principales del CEN y los elicitores de las variables químicas en fruto de tomate 34
Tabla 8.7. Efectos principales del CEN y los elicitores en licopeno en fruto de tomate..... 35

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia de la nutrición en humanos, se ha orientado a evitar deficiencia de nutrientes y tener una nutrición "óptima". La investigación se ha enfocado a la identificación de componentes biológicamente activos en los alimentos, ya que con estos se obtiene un bienestar físico y se puede reducir el riesgo de enfermedades vasculares. Algunas frutas y verduras contienen componentes benéficos para la salud (Canene *et al.*, 2005). Por ejemplo, los carotenos que son antioxidantes, los cuales ayudan a contrarrestar los efectos dañinos de radicales libres (Krzyzanowska *et al*., 2010), además que presentan el valor nutricional más alto en tomate. De hecho en algunas investigaciones se ha visto que específicamente, el licopeno reduce varios tipos de cáncer y el riesgo de ataque al corazón (Kun *et al.*, 2006).

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional para el 2050 se estima en 9.1 mil millones (USDC, 2012), lo que demandará no solo más alimento, sino también de mejor calidad.

El cambio de vida de la población ha generado un incremento de enfermedades crónico degenerativas, una de las razones es la baja ingesta en elementos nutracéuticos. Se ha reportado de que las muertes a nivel mundial, el 60% es debido a enfermedades crónicas en personas menores a 60 años (WHO, 2011).

La baja ingesta de alimentos funcionales en parte se debe al tipo de producción agrícola convencional (AC), que tiene por objetivo reducir el estrés para que la planta exprese su máximo potencial de rendimiento, se ha visto que los bioactivos son producidos bajo condiciones de estrés. Por ejemplo, en tomate, los rendimientos alcanzados son de 500 t ha^{-1} en AC, mientras que en la agricultura orgánica (AO) es apenas de 180 t ha^{-1}. La diferencia se debe a que en la AO se encuentra siempre en un estado de estrés, esto hace que los frutos sean de mayor calidad nutritiva. Por lo anterior, la producción de bioactivos de interés en tomate no deberá ser constitutiva para no afectar el rendimiento, sino deberá ser inducida en determinado momento y sitio específico en la planta para poder elevar las cosechas y su propiedad nutritiva.

Las plantas nutridas actualmente con soluciones nutritivas (SN) universales, como la de Steiner (1984), tienen sólo 16 elementos químicos esenciales para desarrollar el potencial de rendimiento, pero no son suficientes para activar o ayudar a la activación de rutas metabólicas para la generación de bioactivos en las plantas.

No se tiene conocimiento de prácticas agrícolas donde se pueda incrementar la producción de bioactivos en tomate. Las investigaciones relacionadas con algún tipo de Factores de Inducción de Metabolismo (FIMs) no reportan de manera concisa las dosis, los momentos de aplicación y en qué parte de la planta se deben de aplicar.

3. JUSTIFICACIÓN

Se necesita contribuir a la salud pública a través de alimentos nutritivos, desarrollando técnicas para elevar el rendimiento de los cultivos, así como sus propiedades nutraceúticas. En esta investigación se utilizó el tomate debido a que el licopeno, es un caroteno que presenta el valor nutricional más alto, además de ser compuesto anti cancerígeno.

Es necesario que la producción agrícola se oriente a la obtención de alimentos nutritivos, dado que éstos son los que contribuyen a prevenir enfermedades o para el tratamiento de las mismas, pero para producir este tipo de alimentos, se requiere desarrollar y mejorar las técnicas de producción en invernadero, para incrementar la calidad nutritiva, especialmente tomate, así como en otros productos pero sin afectar el rendimiento del cultivo.

4. HIPÓTESIS

La aplicación del ácido salicílico, metil jasmonato, óxido nítrico o peróxido de hidrógeno, combinado con un coctel esencial de nutrientes (CEN) incrementa el contenido de licopeno en tomate.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación del ácido salicílico, metil jasmonato, óxido nítrico o peróxido de hidrógeno, combinado con un coctel esencial de nutrientes (CEN) para incrementar la producción de licopeno sin afectar el rendimiento en el tomate.

5.2 Objetivos específicos

1. Extracción y caracterización de los suelos de: Puebla, Jalisco y Veracruz

2. Determinar si la acción de la combinación de elicitores con un CEN incrementa la producción de licopeno en fruto de tomate.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Características generales del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

6.1.1 Origen del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de la región de los Andes, cerca de los 30° latitud sur de la línea ecuatorial (Robertson y Labate, 2007). México es considerado el centro de domesticación del tomate (*S. lycopersicum*) (Rick, 1976), principalmente en los estados de Puebla, Jalisco, San Luis Potosí, Sinaloa, Colima y Veracruz (CONABIO, 2012).

6.1.2 Morfología y taxonomía

El tomate pertenece a la familia Solanaceae. Antes conocido como *Lycopersicum esculentum* (Cervilla, 2009). Es una planta herbácea y perenne que puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas). En su sistema radicular tiene una raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. También tiene un tallo principal, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10. Además tiene hojas compuestas e imparipinadas y se disponen de forma alternativa sobre el tallo. Su fruto es una baya bi o plurilocular. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Moreno, 2007).

6.2 Importancia económica del tomate

A nivel nacional e internacional, el tomate es la hortaliza más cultivada y consumida (Valenzuela *et al.,* 2014). La producción mundial se estima en 1,26 millones de toneladas

métricas, China y EE.UU. son los principales productores (FAOSTAT, 2012). En México, se cosecharon 44 932 ha (SIAP, 2011), con una producción de 1 872 481.69 t, con un valor de 10 336 684 921 pesos.

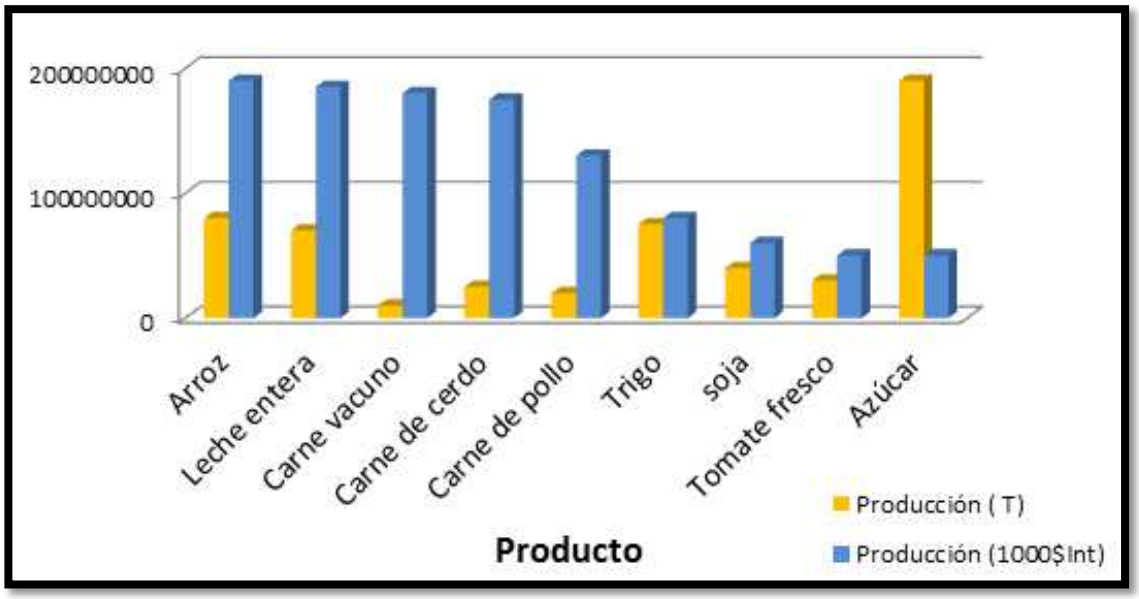

Figura 6.1. Producción de tomate a nivel internacional, (FAOSTAT, 2013).

6.3 Importancia nutracéutica del tomate

El tomate es fuente de sustancias antioxidantes como carotenoides, fenoles, flavonoides, vitamina C y E, y tocoferol (Periago y Garcia-Alonso, 2009).

Estudios epidemiológicos reportan que el consumo de altas cantidades de licopeno, en personas presenta bajo riesgo de contraer cáncer de próstata (Giovannucci, 2005) o enfermedades cardiovasculares (Giovannucci, 2002a, b). Por ejemplo, en un estudio reporta que con un consumo de diez o más porciones de productos que contengan tomate, se reduce en hombres, hasta un 34% el riesgo de contraer cáncer de próstata (Omoni y Aluko, 2005).

6.4 FIMs en la Agricultura

A los diversos tipos de estrés en fisiología se les conoce como Factores de Inducción de Metabolismo (FIMs) que son compuestos que generan cambios en la estructura de las células vegetales, desencadenando rutas de señalización molecular que cambian los patrones de expresión de genes (trasncriptoma), que se reflejan en cambios de expresión de proteínas (proteoma), para generar la producción de diversos metabolitos primarios y secundarios (metaboloma) para dar respuesta al factor estimulante inicial (Torres y Guevara, 2012), éstos son cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico por debajo de la tasa máxima que podría alcanzar (Lambers *et al*., 1998), ejemplo de esto es el déficit o exceso de agua, temperaturas extremas, salinidad (en su componente iónico o toxico) (Spoel y Dong, 2012), radiación UV, presencia de metales pesados, toxinas, carencia o exceso de elementos minerales (Azcón y Talón, 2008), incremento de dióxido de carbono (Idso *et al*., 2002) y compuestos químicos denominados elicitores como ácido salicílico (AS), metil jasmonato (MeJ) (Tierranegra *et al*., 2011), óxido nítrico (ON) (Scherer y Holk, 2000) y peróxido de hidrógeno (PHi) (Arencibia *et al*., 2012).

Recientemente se estudian los efectos de los FIMs para elevar la cantidad de bioactivos en plantas, por ejemplo el metil jasmonato, ácido salicílico, óxido nítrico y peróxido de hidrógeno, así como la composición química de la solución nutritiva (SN) y presencia de elementos traza en la SN (Challaraj *et al*., 2010). Sin embargo, para la obtención de un metabolito en particular, se requiere la determinación de una dosis óptima y el tiempo adecuado de aplicación del FIMs, así como la respuesta en el tiempo del cultivo (Thanh *et al*., 2005), por ejemplo:

Metil jasmonato

Es un compuesto de la planta, derivado de ácido jasmónico (AJ), activa las enzimas responsables de la biosíntesis de polifenoles como la Fenilalanina Amonio Liasa (PAL) por sus singlas en inglés. Su biosíntesis es la de los octadecanoides (Turner *et al*., 2002). Participa en el crecimiento de la raíz, la tuberización, la maduración de frutos, senescencia y desarrollo del polen (Rojo *et al*., 2003). Ha sido ampliamente estudiado en cultivos, principalmente para combatir los efectos causados por algún tipo de patógeno, por ejemplo,

en plantas de tomate, dosis de 10 mM, inhibe la lesión de *Botrytis cinérea* en fruto (Zhu y Tian, 2012), también se reportan incrementos de tricomas en hojas con 7.5 mM (Boughton *et al*., 2005), con dosis de 0.02 mM en fruto verde ocasiona incremento de la enzima aminociclopropano 1- carboxilato oxidasa (Yu *et al*., 2011), y con 10 mM incrementa la enzima polifenol oxidasa en fruto (Thaler, *et al*., 1996), con 0.1 µM se incrementan los glucósidos de quercetina en trigo (Horbowicz *et al*., 2011), en germinados de trigo se han obtenido aumentos de fenoles totales y capacidad antioxidante con dosis de 0.1 mM (Lee *et al*., 2013), por otro lado, dosis de 2 µL en hojas de *Fallopia sachalinensis* incrementan el contenido de linalol, así como el β-ocimeno (Noge *et al*., 2011), en otros trabajos como en germinados de trigo con 0.1 mM se incrementan los fenoles totales (Young *et al*., 2013), en uva con una concentración de 1 mM, incrementa el resveratrol (Mahmoodi *et al*., 2008), se ha logrado incrementar el ácido caféico por la aplicación exógena de 0.5 mM en lechuga (Kim *et al*., 2007), la mejor dosis para incrementar 4b-hidroxiwhitanólido E en *Physalis peruviana* L. esta entre 0.1 y 1 mg L^{-1} (Piñeros *et al*., 2009), en otra investigación la piña a una concentración de 1 mM afecta notablemente el rendimiento (Nilprapruck *et al*., 2008).

Ácido salicílico

Puede ser generado por dos vías enzimáticas que requieren del metabolito primario corismato (Chen *et al*., 2009), el aminoácido L-fenilalanina, una mediante el intermediario benzoato y la otra mediante el ácido cumárico, a través de reacciones enzimáticas inicialmente catalizadas por la enzima PAL (Wildermuth *et al*., 2001). Induce la expresión de genes de relación con la patogénesis, resistencia contra virus, bacterias y hongos patógenos (Najafian *et al*., 2009). Participa en la síntesis de lignina, en la actividad alelopática y en algunos compuestos relacionados a la defensa como fitoalexinas, está implicado en la tolerancia del estrés abiótico principalmente (Khan *et al*., 2010). Regula procesos fisiológicos como cierre estomatal, toma y transporte de iones, inhibición de la biosíntesis del etileno, transpiración, permeabilidad de la membrana, fotosíntesis y crecimiento (Khan *et al*., 2010), da tolerancia a metales pesados (Saruhan *et al*., 2012). Por ejemplo, se han probado dosis de 0.001 a 2 mili Moles (mM) de AS en tomate, incrementando: el total de sólidos solubles (TSS) con 0.5 mM (Yıldırım y Dursun, 2009), el color en el fruto con 0.01 mM (Chang *et al*.,

2002), peso seco con 0.01 mM (Ben Ahmed *et al*., 2009), se han realizado algunos trabajos que ayudan a tener conocimiento sobre las propiedades del fruto de tomate como el contenido de vitamina C y °Brix con 0.01 M realizado por (Javaheri *et al*., 2012). Resistencia a patógenos como B. *cinérea* con 5 mM (Wang *et al*., 2011), enzimas como catalasa con 1mM en trigo (Agarwal *et al*., 2005), peróxidasa y catalasa en tomate con 0.1 mM (Ortega *et al*., 2007), 4b-hidroxiwithanólido E con 10 mM en *Physalis peruviana* L. (Piñeros *et al*., 2009), el área foliar y peso de materia seca con 0.01mM en plántula de tomate (Larqué *et al*., 2010), altura de tallo con 2 mM y prolina en maíz (Levent *et al*., 2007), así como contenido de clorofila y potasio en hoja de maíz con 150 ppm del elicitor (Rao *et al*., 2012), sin embargo, se ha observado que con altas dosis (0.1 M) reduce el rendimiento en tomate (Salehi *et al*., 2011).

Peróxido de hidrógeno

Es producido durante un estrés ambiental, puede actuar como un agente de estrés oxidativo y como un regulador de enzimas antioxidantes que intervienen en ayudar a la planta frente al estrés oxidativo, (Guo *et al*., 1997). El PHi es un radical libre que puede iniciar una reacción en la membrana celular desarrollando una peroxidación lipídica y consecuentemente una alteración de la fluidez y permeabilidad de la misma (Taylor *et al*., 1993). Debajo de condiciones normales, las enzimas oxigeno-detoxificadoras como la superóxido dismutasa, catalasa, peróxidasas y glutatión reductasas, están presentes en las células de las plantas para prevenir el daño por especies reactivas de oxigeno (ROS) (Burdon y Sexton, 1990). El PHi induce también en el cierre estomatal (Zhang *et al*., 2001). Por ejemplo se ha probado en dosis de 1 hasta 60 mM, por ejemplo 10 mM aplicados foliarmente en plántula de pepino, incrementa el peso seco, así como el número de raíces adventicias (Li *et al.*, 2007), lo mismo ocurre en plántulas de frijol pero con 30 mM (Li *et al.*, 2009). También en trigo a una dosis de 0.5 mM incrementa enzimas como: superóxidasa dismutasa, ascorbato peróxidasa (APX) y catalasa (CAT) (Sairam y Srivastava, 2000), en otro trabajo aplicaron 10 mmol L^{-1} en hojas de arroz e incremento el contenido de antocianinas (Hung *et al.*, 2008), un incremento de enzimas como superóxidasa (SOD), glutación peróxidasa (GPD) y ascorbato APD en pepino, fueron debidas a una dosis de 1.5

mM (Zhang *et al.*, 2011), en raíz de chícharo se encontró un incremento de la actividad de catalasa con una dosis de 10 mM, pero con 40 mM, se incrementó la APD, CAT y peroxidasa (POD) (Jiang *et al*., 2012), se ha usado para aclimatar el maíz a un medio de estrés por salinización una concentración de 1 µM en la SN, incrementando también la actividad de CAT (De Azevedo *et al*., 2005), en manzana, aplicaciones semanales a concentración de 5 mM, incrementa la transpiración, SST, con 20 mM, reduce la caída de fruto e incrementa el tamaño y el rendimiento así como el contenido de antocianinas carotenos (Khandaker *et al*., 2012), en bioreactores, dosis de 5 mM, es necesario para activar las rutas de los fenilpropanoides y mantener activo el sistema defensivo en caña de azúcar (Arencibia *et al*., 2012), en plántula de pepino, tratamientos con dosis de 1.5 mM, elimina el crecimiento lento causado por estrés por altas temperaturas (Cao *et al*., 2013), con la misma dosis pero en pepino, causa una protección a la estructura de los cloroplastos por efecto de estrés por altas temperaturas, así como un incremento en enzimas como POD, deshidroascorbato reductasa (DAR) y APD (Gao *et al*., 2010), en papa, aplicaciones con dosis de 5 mM, incrementan la tolerancia a estrés por frío, e incluso incrementan la actividad de CAT (Mora at al., 2005), con una concentración de 10 mM en soya, tuvo efectos adversos, inhibe la enzima Fe-SOD (Bhattacharya *et al*., 2004) y rubisco (Badger *et al*., 1980). Ya se mencionó sobre el efecto del PHi aplicado exógenamente en hojas o raíces de ciertas plantas, sin embargo, éste elicitor puede ser aplicado al suelo teniendo un efecto similar que el de manera foliar, por ejemplo: en fruto de melón, se incrementó la glucosa, fructuosa, sacarosa y el rendimiento total con dosis de 20 mM aplicado al suelo (Ozaki *et al*., 2009).

Óxido nítrico

Es producido a través de varias enzimas, principalmente nitrato reductasa que cataliza la reducción de nitrito a ON (Besson *et al*., 2009). De las funciones fisiológicas que participa están: ciclo de regulación de la célula, diferenciación y morfogénesis, incluyendo floración y formación radicular, promueve la adaptación a infección por patógenos mediante la activación de genes de respuesta sistémica adquirida (RSA) (Neill *et al*., 2008). Además actúa como una molécula bioactiva involucrada como agente antioxidante y antiestrés en la respuesta de tolerancia al estrés abiótico, es uno de los elicitores de reciente uso, algo

interesante es que para su biosíntesis necesita de un cofactor, el cual es un elemento traza, el molibdeno (Harrison, 2002). En una investigación (Polverari *et al.*, 2003) realizó aplicaciones exógenas de ON y dieron como resultado la activación de genes de resistencia a patógenos en Arabidopsis y en tomate también (Santa, *et al.*, 2010), incremento en el contenido de clorofila y enzimas como CAT en haba y trigo, aplicando una concentración de 0.075 mM donde incrementó el contenido de carbohidratos solubles, así como de frútanos 1-fructosiltransferasa (FFT) por otro lado (Li *et al.*, 2013), realizó un trabajo en plántula de pepino, con una dosis de 50 µM, que incrementó el peso seco de área vegetativa y raíces, así como de la actividad enzimática de CAT y SOD (Shi *et al.*, 2007), en hojas y raíz de tomate, con 100 µM, se incrementa la actividad de CAT, POD y APX, y con esa misma dosis, contra resta el efecto tóxico causado por la presencia de (Cu) (Cui *et al.*, 2009), aplicación de S-nitrosoglutation, un donador de ON, a una dosis de 100 µM en plantas de tomate en ausencia de fierro, incrementa la actividad de Fierro quelato reductasa, disminuyendo el efecto por deficiencia de éste elemento (Graziano y Lamattina, 2007), en tratamientos contra estrés por frio, aplicaciones exógenas en dosis de 0.02 mM en fruto de tomate cosechado, reduce el daño por frío e induce la expresión de genes de respuesta (LeCBF1) ante éste estrés, así como las actividades de CAT, POD, SOD y APX (Zhao *et al.*, 2011), para contrarrestar el efecto por exceso de cobre en arroz, se ha usado una dosis de 100 µmol L^{-1} (nitroprusiato de sodio (NPS), un donador de ON), logrando incrementar la actividad de POD y SOD (Yu *et al.*, 2005), tratamientos con 100 µM en plántulas de pepino, contrarrestan el efecto por estrés hídrico y a su vez incrementan la actividad de la enzima lipoxigenasa (LOX) (Arasimowicz *et al.*, 2009), en clavel con 0.1mmolL^{-1} (de NPS), incrementa la actividad de SOD, POD, CAT y APX, además del peso seco, esto podría significar una mayor vida de anaquel (Zeng *et al.*, 2011), con una dosis de 100 µM de NPS, se contrarresta el estrés oxidativo causado por exceso de Niquel en plantas de tomate, así como la disminución del contenido de prolina y PHi, e incrementa la actividad de CAT y APX (Kazemi, 2012), en *Perennial ryegrass*, en presencia de estrés por cadmio (Cd), una dosis de 100 µM de NPS disminuyen el trasporte de Cd hacia las hojas, e inclusive incrementa la actividad de SOD, POD, CAT y APX (Wang *et al.*, 2013), resultados similares se reportan con plántula de pepino bajo condición de estrés salino, con 100 µM de NPS, se contrarresto el efecto por la

sal, a su vez, se incrementa la actividad de SOD, POD, CAT, APX, guayacol peroxidasa (GPX) y glutatión peroxidasa (GR) (Lin *et al.*, 2012), en *Tagetes erecta*, aplicaciones con 10 µM en forma de NSP, incrementan el desarrollo radicular y contenido de proteína en hoja, así como de una reducción de almidón en la planta (Liao *et al.*, 2012).

6.5 Nutrición vegetal

6.5.1 La solución nutritiva

Una solución nutritiva es una mezcla de elementos químicos, cuya concentración favorece la absorción nutrimental por el cultivo. Las primeras soluciones nutritivas surgieron en 1860 y continuaron su desarrollo hasta mediados del siglo pasado, algunas de estas son: Knop en 1860, Crone en 1900, Arnon en 1902 y Hougland en 1950. En 1961 Steiner en Holanda, propuso el concepto de la solución nutritiva universal. Esta solución nutritiva clasifica a los nutrimentos según su carga eléctrica (Castellanos, 2013).

6.5.2 Clasificación de elementos químicos

Los elementos que se encuentran en el sistema suelo-planta pueden ser:

i) Esenciales: sin ellos la planta no vive.

ii) Benéficos: con ellos aumenta el crecimiento y la producción en situaciones particulares o la tolerancia a condiciones desfavorables del medio (clima, plagas, enfermedades, compuestos tóxicos del suelo, del agua o del aire), pero la planta puede vivir sin ellos.

iii) Tóxicos: con ellos disminuye su crecimiento y producción, pudiendo llegar a provocar la muerte (por ej. Al, Pb, Cr, Cd, Hg). Cabe aclarar que todo elemento es potencialmente tóxico en altas concentraciones. Los elementos categorizados como tóxicos, lo son inclusive a muy bajas concentraciones (Malavolta *et al.*, 1997).

Un elemento es considerado esencial cuando cumple con uno o con los dos criterios de esencialidad establecidos por Arnon y Stout (1939):

a) Directo: el elemento participa de algún compuesto vital o de alguna reacción crucial para la vida de la planta
b) Indirecto: en ausencia del elemento la planta no completa su ciclo de vida, muestra síntomas de carencia y muere, ya que no puede ser sustituido por ningún otro elemento. En general, cada uno de los elementos esenciales confirma los dos criterios de esencialidad

Actualmente son 16 elementos que se usan para preparar soluciones nutritivas empleadas en la Agricultura Convencional (AC) (Malavolta *et al*., 1997) y se dividen en:

6.5.3 Macronutrientes

Los macronutrientes se refiere a aquellos que las plantas los requieren en mayor cantidad, como es el caso del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Escalona *et al*., 2009).

6.5.4 Micronutrientes

El término “micronutriente” es utilizado en agricultura para denominar aquellos elementos esenciales para los cultivos, que se presentan en concentraciones extremadamente bajas en los suelos y tejidos vegetales. Hasta el momento se ha demostrado la esencialidad de siete elementos en todas las especies vegetales: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn). A diferencia de los macronutrientes, su concentración en el tejido vegetal es muy baja, del orden de mg kg^{-1} y generalmente sigue el orden Mn > Fe > Zn > B > Cu > Mo, aunque puede modificarse según la especie vegetal o las condiciones de crecimiento. La excepción es el Cl, porque su concentración en tejido vegetal puede llegar a ser del mismo orden de magnitud que la de los macronutrientes (Fan *et al.*, 2008).

Las soluciones nutritivas universales más representativas son la de Steiner y Hoagland, sin embargo, la AC está orientada a la obtención de mayor rendimiento por

unidad de área, ocupando solo los elementos esenciales (EE) en sus formulaciones, lo anterior, porque se ha observado que optimizan el rendimiento en los cultivos (Steiner, 1984).

6.5.5 Elementos no Esenciales

Se ha observado en la agricultura el uso de elementos clasificados como no esenciales, logrando incrementar la calidad nutracéutica de vegetales de ciertas especies (Wang *et al*., 2007), por lo cual podemos decir que con la disponibilidad de elementos no esenciales, podría ayudar a la activación de reacciones para la generación de bioactivos en plantas (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Aplicación de elementos no esenciales en las plantas

Elemento	Cultivo	Efecto	Autor
Mercurio	Frijol	Retinol y α-tocoferol ↑	(Zengin y Munzuroglu, 2005)
Cerio	Arroz	Actividad de SOD, CAT y APX ↑	(Xu y Chen, 2011)
Cadmio	Tomate	Actividad de malato deshidrogenasa y fosfoenol piruvato carboxilasa, así como α-tocoferol ↑	(López *et al.,* 2009), (He´diji *et al.,* 2010)
Selenio	Brócoli	Sulfurafano ↑	(Robbins *et al.,* 2005)
Lantano	Haba	Actividad de SOD y APX ↑	(Wang *et al.,* 2011)
Terbio	Rábano	Ácido ascórbico ↓	(Wang *et al.,* 2009),
Mercurio	Frijol	Clorofila ↓	(Zengin y Munzuroglu, 2005)

↑: Incrementa, ↓: Disminuye.

Lo anterior nos demuestra que para formular un Coctel Esencial de Nutrientes (CEN) adecuado se deberá de probar en diversas especies y con diferentes concentraciones.

6.6 Agricultura Convencional v.s Agricultura Orgánica

La agricultura convencional se basa en darle al cultivo todos los requerimientos climáticos, nutricionales y cuidados fitopatológicos necesarios para maximizar los

rendimientos (Kovacevic *et al*., 2012). Lo anterior se traduce en un estado de “Confort” para la planta (Bennett *et al*., 2012), provocando una disminución de síntesis de compuestos fotoquímicos (FQ), ya que éstos normalmente se producen bajo condiciones de estrés (Frost *et al*., 2008). La agricultura orgánica (AO) se caracteriza por la ausencia de fertilizantes y pesticidas sintéticos, además de la utilización frecuente de materia orgánica para mantener la fertilidad del suelo (Van Bruggen, 1995), ésta comúnmente se encuentra en un constante estrés por nutrición, principalmente debido al desbalance de los componentes químicos y la presencia de elementos no esenciales para planta, sin embargo, los rendimientos de la AO son apenas del 30% respecto a la AC (Ramos-Solano *et al*., 2010), lo anterior es debido al desgaste de energía por la planta, que en lugar de mandarla a generar rendimiento, la manda a la síntesis de bioactivos que entre los que más destacan están los compuestos constitutivos, afectando notablemente el rendimiento.

Por otro lado, hay evidencia de que en cultivos de tomate nutridos de manera orgánica, existe traslocación de elementos traza en fruto (Demira *et al*., 2010; Matos-Reyes *et al*., 2010) como: Ag, As, Ba, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, La, Li, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Tl, U, V, Y, Yb y Zr (Sheppard *et al.,* 2010) y mayor calidad nutracéutica que la AC, por ejemplo, hay incremento en fenoles y capacidad antioxidante en tomate bajo la AO (Vallverdú *et al*., 2012), el licopeno, se incrementó significativamente a 9.3 mg 100^{-1}g de PF en AO respecto a 7.97 mg 100^{-1}g de PF en AC (Juroszek *et al*., 2009), hubo incremento significativo en el contenido de ácido ascórbico y fenoles totales en AO (27 y 112 mg 100^{-1} g de PF respectivamente), que en AC (21 y 79 mg 100^{-1}g de PF respectivamente) (Lumpkin, 2005), lo mismo obtuvo Barrett y colaboradores (2007), encontrando un incremento significativo en licopeno de tomate en AO (1641 µg g^{-1} de PS), que en AC (1426 µg g^{-1} de PS), Mitchell y colaboradores (2007), encontraron en tomate, mayor cantidad de quercetina (115.5 ± 8.0 mg g^{-1} de PS) en AO respecto a lo encontrado en AC (64.6 ± 2.4 mg g^{-1} de PS), lo mismo ocurrió para caso de kaempferol, se encontró con AO, un incremento significativo (63.3 ± 5.21 mg $g\text{-}^{1}$ de PS) respecto a la AC (32.06 ± 1.94 mg g^{-1} de PS), así como de un incremento de naringenina (39.6 ± 1.58 mg g^{-1} de PS) en AO respecto a lo encontrado en AC (30.2 ± 1.57 mg g^{-1} de PS).

Por lo anterior el cultivo de tomate es un excelente modelo para comparar entre AO y AC por el uso intensivo de insumos agrícolas y el contenido de MS (Drinkwater *et al*., 1995), además de que es uno de los productos más consumidos a nivel mundial (FAOSTAT, 2012), es una fuente rica en vitaminas, licopeno, flavonoides, ácidos orgánicos, fenoles y clorofila (Giovanelli y Paradiso, 2002). Además de tener como una tercera opción que sería el "manejo integrado de cultivo" (MIC), que es una agricultura entre lo convencional y lo orgánico (García-Mier *et al*., 2013). El objetivo de MIC es una producción sustentable, manteniendo ingresos a los agricultores, protegiendo el medio ambiente y respondiendo al consumidor con productos de alta calidad nutracéutica (Hanson y Franzluebbers, 2008).

6.7 Coctel Esencial de Nutrientes (CEN)

La combinación de FIMs con el método de AO, ayuda a producir metabolitos secundarios específicos. Por ejemplo, en la AO, incrementa significativamente los niveles de licopeno (46%) (Kapoulas, 2011). Es probable que los minerales presentes en el suelo, actúen como cofactores en las reacciones de metabolismo (Trudell y Ozbun, 1970) y la cantidad disponible de esos nutrientes, puede influenciar en la proporción y cantidad de síntesis de metabolitos secundarios (Meyling *et al.*, 2010).

En esta investigación se propone un nuevo término, CEN, se le llama así la cantidad presente de elementos esenciales y no esenciales en un determinado suelo, y que se cree que estos influyen en la producción de metabolitos en las plantas.

Por todo lo anterior el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del uso de FIMs combinada con un CEN para incrementar la producción de licopeno y sin afectar el rendimiento en el tomate.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Lugar del experimento

El área donde se desarrolló el experimento fue en el municipio de Amealco de Bonfil Querétaro, sobre la carretera Amealco-Temascalcingo Km. 1 en la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amealco de la Facultad de Ingeniería, que tiene una ubicación geográfica al norte 20º 22´, al sur 20º 01´ de latitud norte; al este 99º 55´, al oeste 100º 19´ de longitud oeste (INEGI, 2005) (Figura 7.1).

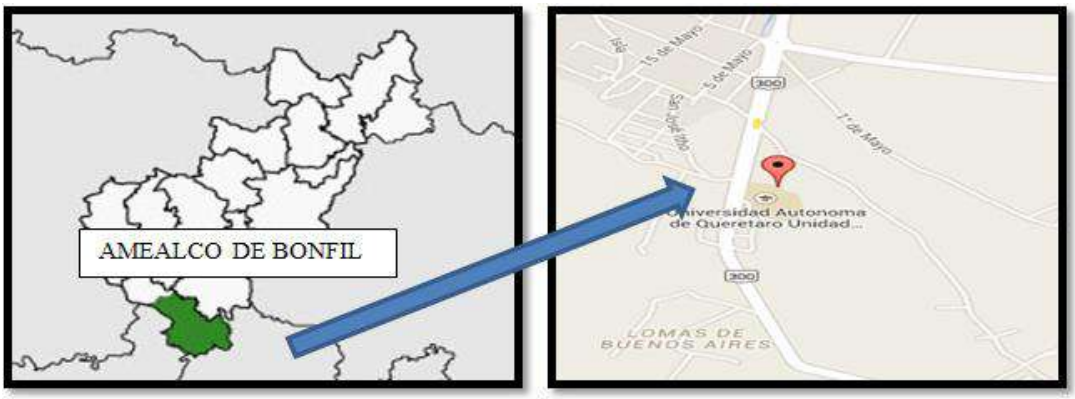

Figura 7.1. Ubicación del área experimental. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México (e-local, 2014)

7.2 Características del invernadero

Se utilizó un invernadero tipo capilla a dos aguas de 630 m^2, construido de perfil de acero de 2”, con una cubierta plástica de polietileno de 800 galgas de espesor, con ventanas laterales y frontales móviles, así como un acolchado de plástico bicolor (Figura 7.2).

Figura 7.2. Invernadero tipo dos aguas

7.3 Sistema de riego

El sistema de riego fue por goteo, con mangueras plásticas de 16 mm de diámetro, goteros autocompensantes que tienen un gasto de 4 L/h y estacas con un gasto de 2 L/h (Figura 7.3), tinacos de 2 500 L de capacidad que abastecieron el suministro de agua a las plantas experimentales, controlado automáticamente por un timer marca Calcon. La frecuencia de riego fue de 21 min, con un total de 25 riegos diarios, repartidos en un periodo de las 8 am a las 5 pm. La cantidad de agua se controló mediante el drenaje desechado por la planta, el cual se mantuvo en un 25%.

Figura 7.3. Sistema de riego

7.4 Sustrato

El sustrato que se usó fue material inerte “lana de roca”, donde se utilizó cubos de lana de roca (GRODAN®) y tabla de lana de roca (GRODAN®), los cuales se colocaron sobre el acolchado bicolor (Figura 7.4).

Figura 7.4. Sustrato de tabla de lana de roca

7.5 Diseño experimental

7.5.1 Diseño del experimento

Se utilizó bloques completos al azar, mientras que el arreglo experimental fue al azar. Hubo tres repeticiones y la unidad experimental fue de tres plantas (Figura 7.5). Teniendo un total de 17 tratamientos. El diseño de tratamientos fue un factorial 4x3 incompleto; donde 12 de los cuales fueron generados a partir de la combinación de los 4 tipos de elicitores con los tres tipos de CEN, y cuatro más que fueron los testigos (sin CEN) y uno más que fue el testigo general (solución nutritiva de Steiner, 1984) (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Combinación y codificación de los tratamientos

	Coctel Esencial de Nutrientes (CEN) + Steiner (1984)			**Steiner (1984)**
Elicitor	CEN Jalisco (CJ)	CEN Veracruz (CV)	CEN Puebla (CP)	Control*
Ácido salicílico (AS)	ASCJ (T1)	ASCV (T2)	ASCP (T3)	AS (13)
Metil jasmonato (MeJ)	MeJCJ (T4)	MeJCV (T5)	MeJCP (T6)	MeJ (14)
Óxido nítrico (ON)	ONCJ (T7)	ONCV (T8)	ONCP (T9)	ON (15)
Peróxido de hidrogeno (PHi)	PHiCJ (T10)	PHiCV (T11)	PHiCP (T12)	Phi (16)
Solución nutritiva universal (STN)				STN (17)**

T= tratamiento, * El control solo llevara la aplicación de elicitores sin CEN, ** testigo solo llevara la aplicación de Steiner sin elicitores y sin CEN

7.6 Diseño experimental

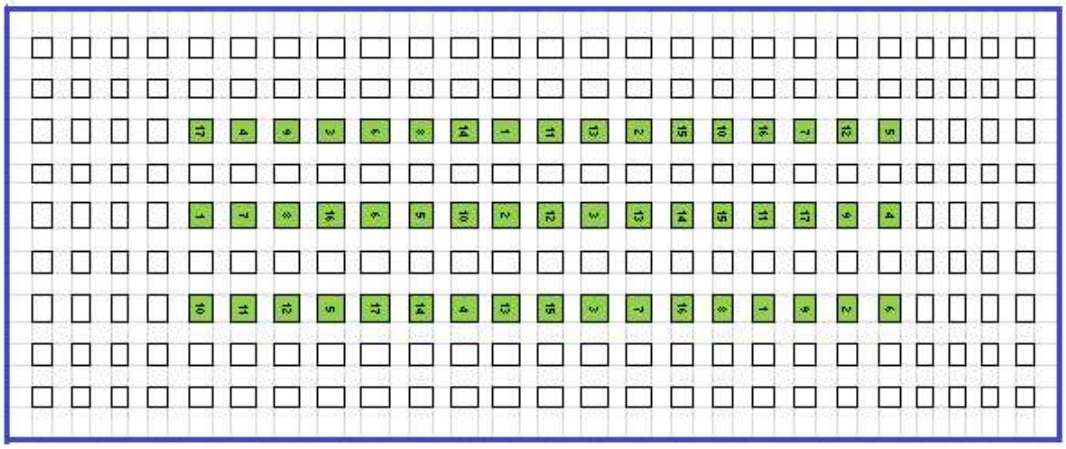

Figura 7.5. Ubicación de los tratamientos en el invernadero. Los recuadros verdes indican los bloques de cada tratamiento. Los recuadros en blanco son plantas que no se usaron en el experimento.

7.7 Metodología del cultivo

7.7.1 Producción de plántula

El cultivo a emplear fue tomate *Solanum lycopersicum* cv. Rafaello. Se sembró en charolas de polipropileno con 50 cavidades, estas se llenaron con ¾ de sustrato peat moss humedecido, posteriormente las semillas se colocaron de 1-2 cm de profundidad, se cubrió con una capa de vermiculita y finalmente se aplicó un riego ligero por aspersión. Las charolas se cubrieron con plástico de color negro hasta la germinación de la semilla, posteriormente se colocaron en un mini invernadero de 4 m de largo por 2 m de ancho que se construyó para la propagación y desarrollo de la planta, donde se efectúo calefacción a una temperatura entre 20-28 °C hasta hacer el segundo transplante (Figura 7.6).

Figura 7.6. Producción de plántula de tomate

7.7.2 Primer transplante de la planta de tomate

Una vez que las plantas presentaron dos hojas verdadera, se hizo un primer transplante a cubos de lana de roca (GRODAN®) de 10 x 10 x 10 cm. Donde permanecieron hasta presentar 4 hojas verdaderas, la densidad fue de 100 plantas m^{-2} (Figura 7.7).

Figura 7.7. Primer transplante de la planta de tomate

7.7.3 Segundo transplante de la planta de tomate

Las plantas fueron trasplantadas por segunda ocasión en tablas de lana de roca (GRODAN®) y allí permanecieron hasta finalizar el cultivo, la densidad en este transplante fue de 2.5 plantas m^{-2} (Figura 7.8). Las labores culturales, manejo de plagas y enfermedades se hicieron de acuerdo a Guzmán y Sánchez (2000).

Figura 7.8. Segundo transplante de la planta de tomate

7.7.4 Nutrición

La solución nutritiva empleada para la nutrición de las plantas fue con la solución nutritiva universal de Steiner (1984) y se dividió en tres etapas: a) al momento del segundo transplante hasta el tercer racimo amarrado con una Ce de 1.5 dS m^{-1}, b) del tercer racimo amarrado al sexto, con una Ce de 2 dS m^{-1} y c) del sexto racimo hasta finalizar el ciclo, con una Ce de 2.5 dS m^{-1}. En todo momento el pH de la solución nutritiva fue de 5.8.

7.8 Variables fisiológicas en planta de tomate

Se midió el diámetro de tallo (DT) en mm; la medición se hizo en el último racimo floral (al menos con 50% de flores abiertas), altura de la planta (AP) en cm, longitud de hoja (LH) en cm; se hizo en la cuarta hoja joven desarrollada. Las variables anteriores se hicieron una vez a la semana, utilizando vernier o flexómetro según sea el caso.

7.9 Variables químicas en fruto de tomate

Para la cosecha del fruto. Se cosecharon todos los frutos de los 17 tratamientos y sus repeticiones hasta el racimo 10. Los frutos cosechados tuvieron una maduración en el color 6 de acuerdo a USDA (1976). Aunque, esta decisión es subjetiva porque depende del investigador, así que una vez que se cosecho el fruto en este color, se prosiguió a someter cada tomate a un análisis de color, basado en la escala internacional de color (CIE) L*, a* y b*, usando los valores absolutos de a* y b* (estos valores fueron medidos por un colorímetro Konica Minolta CR-400, Japón) (Figura 7.9). De esta manera, los valores comprendidos para la coloración 6 de USDA, corresponden a los valores a*/b* de 0.95-1.21 (Batu, 2004), sin embargo, nosotros solo empleamos el valor a*/b*= 0.9, que es el valor menor, lo anterior para saber si nuestro fruto estaba maduro de acuerdo a una escala numérica, nosotros empleamos una escala de a*/b* de 0.90 a 1.56. Además se midió: diámetro ecuatorial del fruto (DEF) en mm, peso fresco del fruto (PFF) en gr, grados Brix (°Brix); utilizando un refractómetro (HI 96801, Hanna Instruments Inc. USA), donde se colocó una pequeña gota de pulpa del tomate sobre la celda del aparato. La medición de °Brix fue hecha en jugo extraído una vez que se cosecho el fruto, también se midió el pH del fruto; utilizando un potenciómetro (Conductronic PC18).

Además, se cuantificó el contenido de licopeno en el racimo 5. Cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, para lo cual se siguió los siguientes pasos:

Figura 7.9. Análisis de color de tomate

7.10 Dosis y preparación de elicitores

El experimento constó de la aplicación de cuatro elicitores que son:

Ácido salicílico (Sigma-Aldrich) a 0.5 mM (Yıldırım y Dursun, 2009); para su preparación se empleó agua bidestilada, el pH de la disolución fue de 6.5, se ocupó ácido cítrico para acidular.

Metil jasmonato (Sigma-Aldrich) a 0.5 mM (Ding *et al*., 2002); el MeJ se disolvió en 5 ml de etanol al 10% antes de la dilución en agua bidestilada de acuerdo a Yu *et al*. (2011).

Peróxido de hidrógeno (marca) a 5 mM (Mora *et al*., 2005); para su preparación se empleó agua bidestilada.

Óxido nítrico aplicado en forma de nitroprusiato de sodio (NPS, Golden Bell) como donador de ON, a una concentración de 100 µM (Graziano y Lamattina, 2007); la disolución se hizo con agua bidestilada de acuerdo a Zeng *et al*. (2011).

Las aplicaciones se hicieron en las cuatro hojas jóvenes desarrolladas y en el envés de las hojas a punto de goteo siguiendo la metodología de Hull *et al*. (1975), la frecuencia fue de dos veces por mes, hasta que la planta alcanzo 10 racimos (finalización del ciclo) y se comenzó 30 días después del transplante, la aplicación fue por la mañana (9:00 am). Las aplicaciones se hicieron con un atomizador manual, con una dosis de 100 ml por aplicación/planta.

7.11 Selección de los suelos para la extracción del CEN

Para la extracción del CEN, se eligieron tres estados que reporta la CONABIO (2012) como centro de distribución del tomate en México, se buscó que los suelos no fueran repetidos entre ellos. Las zonas elegidas fueron: Zontecomatlan, Veracruz (20°46’00” N y 98°21’00” W), Tecamachalco, Puebla (18°53’00”N y 97°44’00” W) y Autlán de Navarro, Jalisco (19°46’00” N y 104° 22’00” W) (Figura 7.10)

Figura 7.10. Suelos elegidos para la extracción del CEN

7.11.1 Extracción del suelo

La extracción del CEN fue con los suelos seleccionados previamente, el método de extracción fue por medio de columna de desplazamiento (Adams *et al*., 1980).

7.11.1.1 Extracción del CEN

7.11.1.1.1 Pre tratamiento de la muestra de suelo

De acuerdo a Rao *et al*. (2010), las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas a 20 °C para su posterior análisis.

7.11.1.1.2 Solución extractora del CEN

Para la extracción del CEN, fue con la metodología de Mohamed y colaboradores (2013) modificada, donde se utilizó cubetas de plástico de 15 L previamente lavadas con una solución de ácido nítrico al 20% seguido de un lavado con agua doblemente destilada de acuerdo a Grieve (1996). Para posteriormente introducir la muestra de suelo, agregar agua desionizada y mezclar hasta llevar a su capacidad de campo (CC) el suelo. Las muestras fueron guardadas y monitoreadas por 2 días a temperatura ambiente, después de esto, se recolecto el lixiviado, se filtró con una malla 0.297 mm de diámetro y se refrigero a 2 °C en garrafas de plástico de 20 L para su posterior uso (Figura 7.11).

La aplicación de cada CEN fue un día antes de aplicar los elicitores con una frecuencia de 2 veces por mes y 100 ml por aplicación/planta a una conductividad de 0.5 y un pH de 5.8 usando ácido cítrico para acidular.

Figura 7.11. Extracción del CEN

7.12 Determinación de licopeno con HPLC

7.12.1 Instrumentación

El análisis por HPLC fue conducido en un equipo Waters (Millipore Corp., Waters Chromatography Division, Milford, MA) compuesto de un sistema de suministro múltiple de

solvente 600E equipado con un detector de matriz de fotodiodos (2998 Waters) y un desgasificador electrónico (MetaChem Technologies, Inc.). El control del equipo, la adquisición de datos, el procesado de datos y la gestión de la información fueron realizados con el software Empower3 (Waters).

7.12.2 Preparación de la muestra para su análisis

Los frutos de tomate del racimo 5 recién cosechados, fueron cortados en cubos y envueltos en aluminio, posteriormente se congelaron con nitrógeno y se refrigeraron a -80 °C hasta que se completaran todos los tratamientos. Ya que no se tuvo una maduración homogénea.

Primero, la muestra fue molida con hielo seco en una licuadora industrial (International, México) hasta conseguir un polvo fino. Posteriormente se pesó 2 gr de muestra congelada con un tubo falcón de 15 ml, después se agregaron 500 µl de etanol + BHT 0.1% y se agito con un agitador vórtex. Luego se calentó a 80 °C por 5 minutos, se agregó 10 µl de KOH 80% y se volvió agitar. Nuevamente se calentó a 80 °C por 10 minutos y se puso en hielo 15 minutos, enseguida se añadió 500 µl de agua destilada fría y se agitó, también, se agregó 500 µl de hexano y se agitó rigurosamente. Posteriormente se centrifugó a 13000 rpm por 5 minutos a 4°C, se extrajo 400 µl de la fase superior (se ve oleosa) y se pasó a un tubo eppendorf. Nuevamente se centrifugó a 13000 rpm por 5 minutos a 4 °C y se volvió a extraer 200 µl de la fase superior, se pasó a otro tubo eppendorf, se evaporó el hexano con flujo de N_2 y se conservó a -20 °C protegido de la luz.

Para la preparación de la muestra final, el residuo que se almacenó a -20 °C se resuspendió en 200 µl de etanol HPLC con BHT al 0.1%, se Centrifugó a 13000 rpm/5 minutos a 4 °C y se tomó 100 µl. Se pusieron los viales color ámbar en insertos y se almacenó a -20 °C hasta hacer el análisis en HPLC.

7.12.3 Análisis con HPLC

7.12.3.1 Cuantificación de licopeno

Para el análisis de licopeno, una columna de carotenoides YMC de fase reversa (Merck) (C30; 150 x 4.6 mm d.i.; S-3 µm) fue usada. Un sistema binario de gradiente lineal compuesto de A: metanol/metil-t-butil-éter (MTBE)/H_2O (81:15:4), y B: metanol/MTBE/H_2O (6:90:4) fue usado. El modo de elución fue acorde al fabricante de la columna, p.e. 1 ml min^{-1} de 0 a 100% de B (0-90 min), seguido de la columna de re-equilibrio por 10 min. La detección fue hecha a 450 nm. Para la preparación de la muestra para la inyección, el extracto total obtenido con el secado con hexano fue re-disuelto en 10 ml de una mezcla de CH_2Cl_2 y fase móvil B (1:1). Alícuotas de esa disolución fueron filtradas a través de acrodiscos y 20 µl fueron inyectados a un Rheodyne (7725i) previsto con un loop de 20 µl. La identificación de los compuestos fue hecha por comparación de los tiempos de retención y λ_{max} de los picos en la muestra y los del estándar puro comercial de licopeno (Sigma-Aldrich). La cuantificación de los compuestos se lograron utilizando una curva de calibración obtenida con licopeno a concentración de 0, 0.2, 1.5, 4.5 y 6 µg de licopeno en 20 µl de CH_2Cl_2 y una fase móvil B (1:1). Los resultados fueron expresados como mg kg^{-1} de fruto fresco.

7.13 Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) con las variables antes descritas, la idea principal fue conocer si había efecto por factores. Después se hizo una prueba de Tukey para la comparación de medias. El nivel de significancia empleado fue de $p \leq 0.05$. El software usado para estos análisis fue Origin Pro 8.0 (Origin ®).

8. RESULTADOS

8.1 Análisis químico de los suelos seleccionados

El contenido del CEN puebla mostró un 231.05% más de Fe de lo que normalmente se mete a una solución nutritiva. Otro compuesto que en exceso puede ser toxico es el boro, que resultó 36 veces mayor que los demás cocteles, y 25 veces mayor que la solución nutritiva de Steiner (1984), también se mostró en cobre un aumento en los tres tipos de suelo, teniendo mayor contenido el CEN Jalisco en un 397%, además en el CEN de Veracruz el manganeso mostró el doble respecto a la solución de Steiner (1984) (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Análisis químicos de los tres tipos de suelos

ELEMENTO	CEN JALISCO (PPM)	CEN VERACRUZ (PPM)	CEN PUEBLA (PPM)	STEINER (1984) (PPM)
CALCIO	75	132	37	183
MAGNESIO	13.2	9.6	18.2	49
POTASIO	102	3.13	6.26	277
BORO	0.55	0.02	0.01	0.44
FIERRO	0.3061	1.1723	3.0729	1.33
MANGANESO	0.1721	1.4014	0.6046	0.62
COBRE	0.0794	0.0369	0.0582	0.02
ZINC	0.0241	0.0204	0.0251	0.11

8.2 Variables fisiológicas en planta de tomate

8.2.1 Anova de variables fisiológicas

El Anova realizado en las variables fisiológicas del tomate, se obtiene un $\alpha < 0.05$ en el ácido salicílico respecto a la altura de la planta (Tabla 8.2).

Tabla 8.2. Anova de las variables fisiológicas en la planta de tomate

Variable		F Value	Prob>F
Altura de planta	(AS)	3.8968	0.03689
	(MeJ)	1.91752	0.18404
	(ON)	0.20098	0.9321
	(PHi)	0.04731	0.99508
Diámetro de tallo	(AS)	0.84038	0.53018
	(MeJ)	2.15081	0.14866
	(ON)	0.71459	0.6007
	(PHi)	0.14624	0.96053
Longitud de hoja	(AS)	1.61121	0.24608
	(MeJ)	0.39114	0.81048
	(ON)	0.72293	0.5958
	(PHi)	0.07367	0.98862

8.2.2 Desarrollo de la planta de tomate

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en lo que se refiere al diámetro de tallo y la longitud de la hoja. Pero se puede observar que hay una diferencia significativa de comparación de medias en el elicitor de AS, sobresaliendo la aplicación de AS + Steiner con respecto a la aplicación de AS + CEN Veracruz e incluso el de Steiner control, lo que significa, que el mejor tratamiento y el que tiene una mayor influencia es el elicitor de AS con respecto a la altura de la planta (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Efectos principales del CEN y los elicitores en las variables fisiológicas en la planta de tomate

Tratamiento		Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de hoja (cm)
AS	CEN Jalisco	18.542	6.970	35.242
	CEN Veracruz	17.990	6.917	36.170
	CEN Puebla	18.605	6.691	36.040
	Steiner	20.157	6.863	39.350
Steiner control[1]		17.961	6.559	34.964
ANOVA		*	ns	ns
MeJ	CEN Jalisco	17.510	6.315	34.278
	CEN Veracruz	18.007	6.782	35.611
	CEN Puebla	17.801	6.974	35.265
	Steiner	16.964	6.687	34.967
Steiner control[1]		17.961	6.559	34.964
ANOVA		ns	ns	ns
ON	CEN Jalisco	17.915	6.883	35.935
	CEN Veracruz	18.078	6.352	34.046
	CEN Puebla	18.585	6.823	35.660
	Steiner	18.212	6.730	36.507
Steiner control[1]		17.961	6.559	34.964
ANOVA		ns	ns	ns
PHi	CEN Jalisco	17.892	6.705	35.258
	CEN Veracruz	18.108	6.632	35.585
	CEN Puebla	18.163	6.726	35.464
	Steiner	18.082	6.809	35.281
Steiner control[1]		17.961	6.559	34.964
ANOVA		ns	ns	ns

[1]control universal donde no se le aplico elicitor ni coctel, CEN: coctel esencial de nutrientes, Ns: indica ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y *: indica diferencia estadísticamente significativa. Se representan medias ± desviación estándar (tres replicas por tratamiento).

8.3 Características del fruto de tomate

8.3.1 Contenido de color en fruto de tomate(a*/b*)

La combinación del factor elicitor con el CEN no mostro diferencia significativa en cuanto al color del fruto de tomate (Tabla 8.4).

Tabla 8.4. Efectos en la combinación del CEN y los elicitores en el color en fruto de tomate

	TRATAMIENTO				
	AS				
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control[1]
Colorímetro: a*/b*	1.33 ± 0.01	1.28 ± 0.06	1.23 ± 0.07	1.35 ± 0.09	1.21 ± 0.05
ANOVA			ns		
	MeJ				
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control[1]
Colorímetro: a*/b*	1.18 ± 0.07	1.27 ± 0.07	1.30 ± 0.06	1.18 ± 0.06	1.21 ± 0.05
ANOVA			ns		
	ON				
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control[1]
Colorímetro: a*/b*	1.24 ± 0.08	1.22 ± 0.14	1.31 ± 0.04	1.21 ± 0.06	1.21 ± 0.05
ANOVA			ns		
	PHi				
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control[1]
Colorímetro: a*/b*	1.28 ± 0.05	1.25 ± 0.02	1.25 ± 0.06	1.23 ± 0.11	1.21 ± 0.05
ANOVA			ns		

8.3.2 Anova de variables químicas

El Anova realizado en las variables químicas del tomate se obtiene un $\alpha < 0.05$ en el ácido salicílico respecto al diámetro del fruto (Tabla 8.5).

Tabla 8.5. Anova de las variables químicas en la planta de tomate

Variable		F Value	Prob>F
Licopeno	(AS)	1.21545	0.36353
	(MeJ)	1.22693	0.35937
	(ON)	0.18266	0.94215
	(PHi)	1.76821	0.21174
pH	(AS)	0.01589	0.99941
	(MeJ)	0.50498	0.73344
	(ON)	0.54354	0.70785
	(PHi)	1.30868	0.33119
° Brix	(AS)	0.4833	0.74799
	(MeJ)	1.15952	0.38451
	(ON)	0.53466	0.71371
	(PHi)	0.63884	0.64669
Diámetro de fruto	(AS)	5.5638	0.01275
	(MeJ)	1.8292	0.19989
	(ON)	1.14456	0.39034
	(PHi)	1.38416	0.30728
Peso del fruto	(AS)	2.16998	0.14612
	(MeJ)	1.52097	0.26862
	(ON)	0.93824	0.48056
	(PHi)	2.18864	0.14369
Color de fruto	(AS)	2.79979	0.08505
	(MeJ)	2.40697	0.11852
	(ON)	0.77279	0.56714
	(PHi)	0.49575	0.73963

8.3.3 Diámetro ecuatorial, peso y pH de fruto

No hubo diferencias significativas debido a los factores principales: elicitor y CEN en cuanto a las variables: pH de fruto y peso del fruto, pero en el diámetro ecuatorial del fruto, mostró diferencia significativa por el efecto CEN, ya que se tuvo un aumento con el de Puebla, respecto al Jalisco y al Steiner control. Siendo el primero, el que tuvo un mayor diámetro ecuatorial en el fruto de tomate. (Tabla 8.6).

Tabla 8.6. Efectos principales del CEN y los elicitores de las variables químicas en fruto de tomate

Tratamiento		Peso de fruto (g)	Diámetro ecuatorial (mm)	°Brix	pH
AS	CEN Jalisco	145.932	56.351	4.978	4.646
	CEN Veracruz	156.665	57.417	4.706	4.649
	CEN Puebla	158.031	58.282	4.799	4.644
	Steiner	153.463	57.771	4.774	4.640
Steiner control		146.206	56.665	4.833	4.643
ANOVA		ns	*	ns	ns
MeJ	CEN Jalisco	142.021	55.637	4.615	4.601
	CEN Veracruz	154.954	59.288	4.549	4.620
	CEN Puebla	153.680	57.369	4.683	4.662
	Steiner	143.787	56.313	4.591	4.631
Steiner control		146.206	56.665	4.833	4.643
ANOVA		ns	ns	ns	ns
ON	CEN Jalisco	146.321	56.257	4.932	4.605
	CEN Veracruz	136.341	54.927	5.096	4.646
	CEN Puebla	150.779	57.237	4.779	4.662
	Steiner	146.820	56.680	4.794	4.646
Steiner control		146.206	56.665	4.833	4.643
ANOVA		ns	ns	ns	ns
PHi	CEN Jalisco	146.323	56.777	4.988	4.729
	CEN Veracruz	138.363	55.277	5.043	4.657
	CEN Puebla	156.118	57.246	4.848	4.648
	Steiner	149.746	56.980	4.916	4.652
Steiner control		146.206	56.665	4.833	4.643
ANOVA		ns	ns	ns	ns

[1] este fue el control universal donde no se le aplico elicitor ni coctel, CEN: coctel esencial de nutrientes, Ns: indica ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y *: indica diferencia estadísticamente significativa. Se representan medias ± desviación estándar (tres replicas por tratamiento).

.

8.3.4 Contenido de licopeno en fruto de tomate

El cálculo de la concentración de licopeno se hizo tomando como base la relación entre la concentración conocida del estándar y el área del pico correspondiente; así, conociendo el área del pico en cada muestra, se pudo calcular la concentración respectiva. Se puede ver los promedios de la concentración de licopeno en mg/100g de peso fresco

(PF), donde nos muestra que no hay diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de licopeno de los tratamientos (Tabla 8.7).

Tabla 8.7. Efectos principales del CEN y los elicitores en licopeno en fruto de tomate

TRATAMIENTO					
AS					
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control
Licopeno (mg/100g)	0.952 ± 0.342	1.053 ± 0.242	1.243 ± 0.086	0.969 ± 0.113	1.225 ± 0.202
ANOVA			ns		
MeJ					
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control
Licopeno (mg/100g)	1.001 ± 0.197	1.198 ± 0.299	0.962 ± 0.224	0.922 ± 0.139	1.225 ± 0.202
ANOVA			ns		
ON					
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control
Licopeno (mg/100g)	1.256 ± 0.158	1.125 ± 0.560	1.241 ± 0.108	1.088 ± 0.276	1.225 ± 0.202
ANOVA			ns		
PHi					
CEN	Jalisco	Veracruz	Puebla	Steiner	Steiner control
Licopeno (mg/100g)	1.064 ± 0.254	1.618 ± 0.822	1.494 ± 0.119	0.866 ± 0.069	1.225 ± 0.202
ANOVA			ns		

[1]control universal donde no se le aplico elicitor ni coctel, CEN: coctel esencial de nutrientes, Ns: indica ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y *: indica diferencia estadísticamente significativa. Se representan medias ± desviación estándar (tres replicas por tratamiento).

8.3.4.1 Contenido de licopeno en fruto de tomate con aplicación de AS y CEN

El tratamiento que mostró mayor contenido de licopeno fue el de AS con el CEN de Puebla con 1.243 mg/100g de peso fresco, sin embargo no se tiene una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos (Figura 8.1).

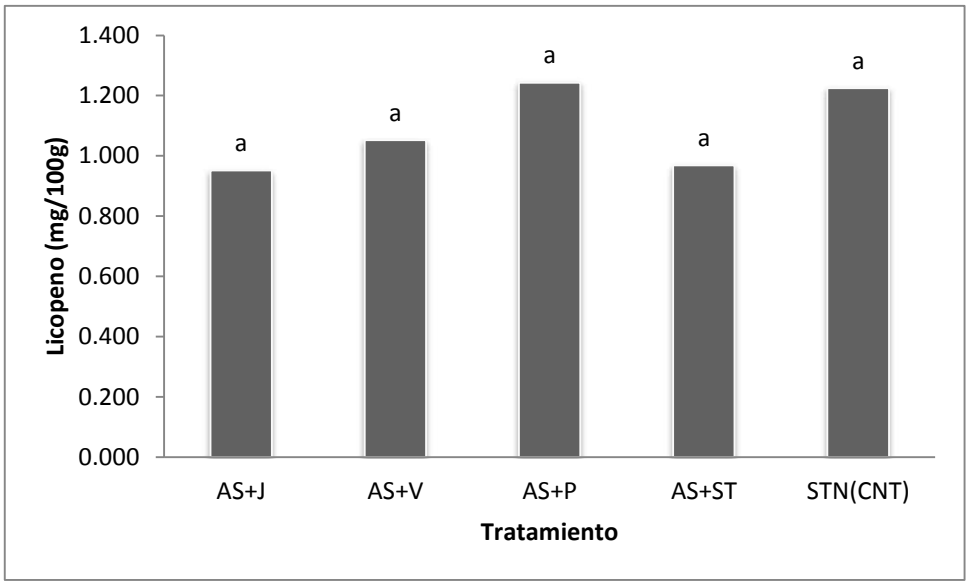

Figura 8.1. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de As y CEN

8.3.4.2 Contenido de licopeno en fruto de tomate con aplicación de MeJ y CEN

El tratamiento que mostró mayor contenido de licopeno fue el de Steiner control con 1.225 mg/100g de peso fresco, sin embargo no se tiene una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos (Figura 8.2).

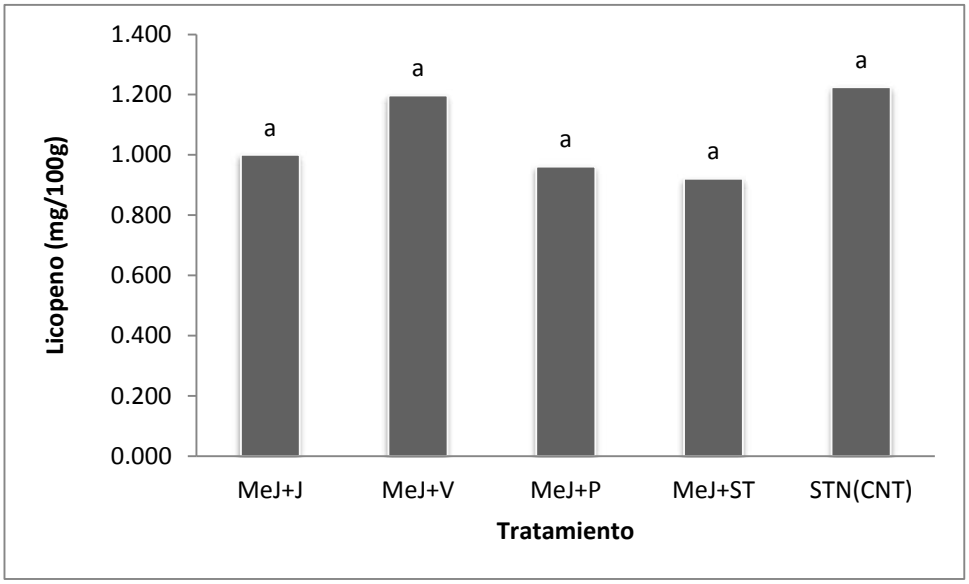

Figura 8.2. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de MeJ y CEN

8.3.4.3 Contenido de licopeno en fruto de tomate con aplicación de ON y CEN

El tratamiento que mostró mayor contenido de licopeno fue el de ON con el CEN de Jalisco con 1.256 mg/100g de peso fresco, sin embargo no se tiene una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos (Figura 8.3).

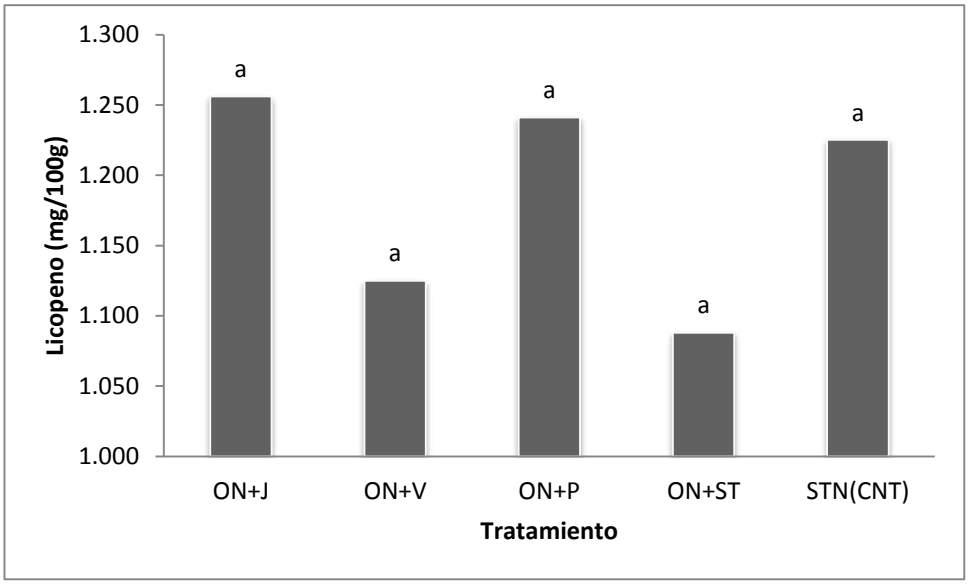

Figura 8.3. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de ON y CEN

8.3.4.4 Contenido de licopeno en fruto de tomate con aplicación de PHi y CEN

El tratamiento que mostró mayor contenido de licopeno fue el de PHi con el CEN de Veracruz con 1.618 mg/100g de peso fresco, sin embargo no se tiene una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos (Figura 8.4).

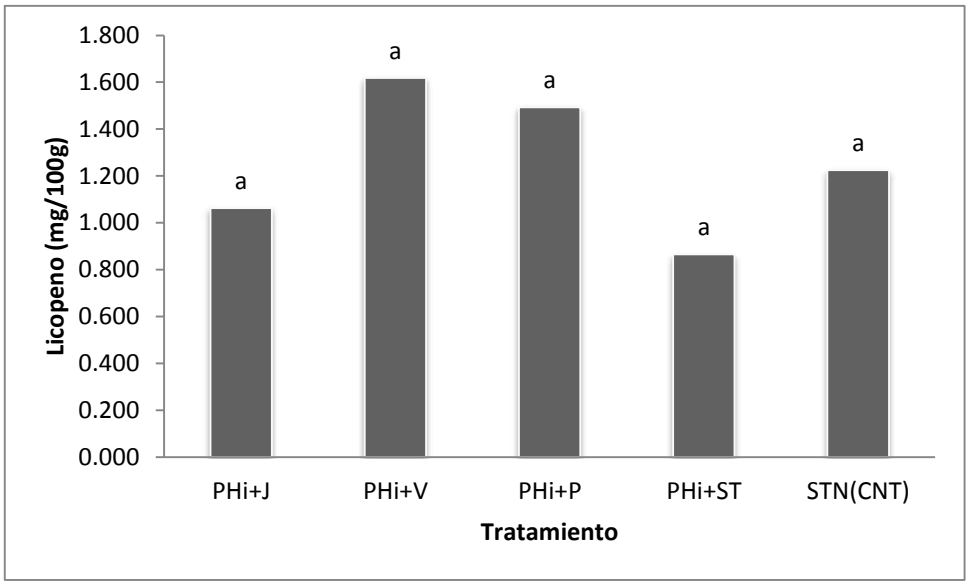

Figura 8.4. Contenido de licopeno en tomate con aplicación de PHi y CEN

9. DISCUSIÓN

9.1 Coctel esencial de nutrientes (CEN)

La fertilidad del suelo tiene interacciones positivas y negativas entre macro y micronutrientes, además pueden inducir alteraciones a nivel subcelular manifestando cambios en tasas de división y expansión celular, utilización y traslocación de carbohidratos y ácidos orgánicos, fotosíntesis, respiración, etc; la influencia neta de estos cambios se traduce finalmente en el rendimiento y fisiología de los frutos cosechados (Fageria, 2001), esto se ve reflejado en nuestros resultados obtenidos, ya que con el CEN de Puebla aumentó el diámetro de fruto de tomate. Los datos obtenidos fueron opuestos a los registrados por Vázquez *et al* (2015), quienes establecieron la aplicación de dos abonos orgánicos (composta y té de composta) no tiene efecto alguno con respecto al diámetro de fruto.

La concentración de licopeno aumenta con la maduración del tomate, cuando los cloroplastos cambian a cromoplastos y la síntesis de licopeno aumenta causando el desarrollo de color rojo (Arias *et al*., 2000). Además, puede presentar grandes variaciones según la variedad, condiciones del cultivo como el tipo de suelo y clima, tipo de almacenamiento, etc. (Gutiérrez y Castro, 2007) y la nutrición de las plantas (Raffo *et al*., 2002), El desarrollo del color en tomates se debe a la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides como el licopeno (Grierson y Kader, 1986). La síntesis del licopeno, depende de la disponibilidad de O_2 (Hobson y Davies, 1971). De hecho se ha demostrado que con el espacio de color Ciel a*/b* se puede cuantificar el contenido del tomate en fruto. En nuestros resultados no obtuvimos diferencia significativa respecto al color, por lo que podemos asegurar que los tratamientos fueron cosechados en igualdad de condición de color. Sin embargo, Zapata *et al.,* 2007 demostraron que obtuvieron deferencias significativas entre cada etapa del tomate.

9.2 Elicitores

En general, el proceso de activación para la producción de metabolitos secundarios está dado, por una señal extra o intracelular que es percibida por un receptor de la

endomembrana o la membrana plasmática, que a su vez activa señales de transducción que regulan la expresión de genes involucrados en la biosíntesis de los metabolitos secundarios (Zhao *et al.,* 2005). Vías de señalización, como la del jasmonato, han sido observadas como rutas transductoras de señales elicitoras para la producción de metabolitos secundarios en diversas especies vegetales (Farmer *et al.,* 2003). Aplicaciones exógenas de ácido jasmónico (JA) y metil-jasmonato (MeJA) en cultivo de células vegetales estimulan la vía de señalización del jasmonato que activan genes biosintéticos de diversos metabolitos secundarios. La inducción de metabolitos secundarios por la vía de señalización del jasmonato utilizando JA ó MeJA, estimula la acumulación de una amplia variedad de biocompuestos como terpenoides, flavonoides, alcaloides y fenilpropanoides, entre otros (Zhao *et al.,* 2005). Nuestros resultados demuestran que no hubo diferencia significativa en cuento al licopeno, debido a la aplicación de elicitores, puede ser que la dosis o la frecuencia fueron menores como para activar ciertas rutas.

Las plantas tratadas con inductores o también llamados elicitores generalmente desarrollan resistencia al hospedante, por lo que la aplicación de elicitores exógenos en la superficie de la planta activa múltiples rutas de señalización de defensa intracelular (Holopainen et al., 2009), debido a esto las hormonas vegetales modifican el crecimiento y desarrollo de las plantas induciendo cambios en procesos celulares, fisiológicos y morfológicos (Browse, 2009). Nuestros resultados demuestran que con la aplicación de ácido salicílico se incrementa la altura de la planta y el diámetro del fruto respecto al control. Estos mismos resultados obtiene Yıldırım y Dursun (2009) y Larqué *et al* (2010), quienes encontraron que el AS tiene un efecto positivo en el desarrollo de las plantas, debido a que al AS es un regulador de crecimiento, ya que actúa sobre el balance óxido/reducción de las células vegetales, induce respuestas adaptativas, fisiológicas y morfológicas en las plantas. Participa en la actividad de las catalasas y otras enzimas encargadas de controlar la oxidasa de las mitocondrias (Raskin, 1992). Además de que el aminoácido L-fenilalanina, puede ser convertido en ácido salicílico por dos vías, una mediante el intermediario benzoato y la otra mediante el ácido cumárico, a través de una serie de reacciones enzimáticas inicialmente catalizadas por la enzima fenilalanina amonio liasa (FAL) (Chen *et al.,* 2009).

10. CONCLUSIÓN

Las variables químicas y fisiológicas evaluadas en el racimo 5 del tomate, mostraron diferencias significativas en cuanto al diámetro de fruto y a la altura de la planta, pero no fueron significativamente diferentes en cuanto al licopeno, con la combinación de los elicitores: ácido salicílico, metil jasmonato, óxido nítrico o peróxido de hidrógeno y el CEN de: Jalisco, Puebla o Veracruz. Sin embargo, es pertinente hacer más pruebas sobre las dosis y frecuencias de aplicación de los factores en estudio (CEN y elicitor) para poder observar efectos significativos en la planta.

11. REFERENCIAS

Adams, F., Burmester, C., Hue, N. V., Long, F. L. (1980). A Comparison of Column-Displacement and Centrifuge Methods for Obtaining Soil Solutions. *Soil Science*. Society . American. J.44: 733.

Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Tyagi, A., Meena, R. C. (2005). Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedlings. *Plant Sci* 169: 559-570.

Arasimowicz, J. M., Floryszak, W. J., Kubis, J. (2009). Involvement of nitric oxide in water stress-induced responses of cucumber roots. *Plant Science* 177: 682-690.

Arencibia, A. D., Bernal, A., Zayas, C., Carmona, E., Cordero, C., González, G., García, R., Santana I. (2012). Hydrogen peroxide induced phenylpropanoids pathway eliciting a defensive response in plants micropropagated in Temporary Immersion Bioreactors (TIBs). *Plant Science* 195: 71-79.

Arias, R., Lee, T.C., logendra, L., y Janes, H.W. (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.

Arnon, D. I., y Stout, P. R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol*. 142: 371-375.

Azcón, B. J., y Talón, M. (2008). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Capítulo 29: fisiología de las plantas y el estrés. *Ed. Interamericana-McGraw-Hill*. España. Pp. 577-597.

Badger, M., Andrews, T., Canvin, D., Lorimer, G. (1980). Interactions of hydrogen peroxide with ribulose bisphosphate carboxylase oxygenase. *Journal of Biological Chemistry* 25: 7870-7875.

Basu, A., y Imrhan, V. (2007). Tomatoes versus lycopene in oxidative stress and carcinogenesis: conclusions from clinical trials. *Eur Journal of Clinical Nutrition* 61: 295-303.

Batu A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. Journal of Food Engineering 61: 471-475.

Ben Ahmed, H., Abidi, F., Manaa, A., Mimouni, H., Zid, E. (2009). Salicylic acid induced changes on some physiological parameters in tomato grown under salinity. *UC Davis*: *Department of Plant Sciences*, UC Davis. Recuperado de http://www.escholarship.org/uc/item/5j07c5vj. Consultado en julio del 2013.

Besson, B. A., Astier, J., Rasul, S., Wawera, I., Dubreuil-Maurizi, C., Jeandroz, M., Wendehenne, D. (2009). Current View of Nitric Oxide Responsive Genes in Plants. *Plant Science.* 177: 302-309.

Bhattacharya, J., GhoshDastidar, K., Chatterjee, A., Majee, M., Majumder, A. L. (2004). Synechocystis Fe superoxide dismutase gene confers oxidative stress tolerance to Escherichia coli. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 316: 540-544.

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.

Boughton, A. J., Hoover, K., Felton, G. W. (2005). Methyl Jasmonate Application Induces Increased Densities of Glandular Trichomes on Tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Chemical Ecology* 31: 2211-2216.

Browse, J. Annu. (2009). *Journal of Plant Biological*. 60, 183-205

Burdon, J. N., y Sexton, R. (1990). Fruit abscission and ethylene production of red raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae* 43: 95-102.

Californian Tomato Commission. (2002). Retrieved 20 September, 2002. Disponible en: http://www.tomato.org/retail/color.html.

Canene, A. K., Campbell, J. K., Zaripheh, S., Jeffery, E. H., Erdman, J. W. (2005). The tomato as a functional food. *Journal of Nutrition* 135: 1226-30.

Cao, Y. Y., Gao, Y., Sun, W. J., Huang, Y. W., Zhang, J., Bai, J. G. (2013). Role of hydrogen peroxide pretreatment in heat-induced alteration of DNA methylation in cucumber leaves. *Scientia Horticulturae* 151: 173-183.

Castellanos, J. Z. (2013). Las soluciones nutritivas para cultivos protegidos. Editorial INTAGRI. México.

Castillo, M.M. (2009). Estudio comparativo del contenido de licopeno en jitomate (*solanum lycopersicum*) cultivado por campo abierto y por hidroponía mediante HPLC. Universidad Veracruana. Facultad de Ciencias Químicas.

Challaraj, E. S. E., Anandkumar, B., Natesan, M., Maruthamuthu, S. (2010). Efficacy of rare earth elements on the physiological and biochemical characteristics of Zea mays L. *AJCS* 4: 289-294.

Chang, K. D., Chien, Y. W., Kenneth, C., Gross, D., Smith, L. (2002). Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta* 214: 895-901.

Cervilla, M. L. M. (2009). Respuesta fisiológica y metabólica a la toxicidad por boro en plantas de tomate. Estrategias de tolerancia. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de fisiología vegetal. Pp. 26.

Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z., Fan, B. (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling and Behavior* 4: 493-496.

Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). (2012). http://www.conabio.gob.mx/. Consultado en Julio del 2013.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México (e-local). http://www.e-local.gob.mx. (2013). Consultado en Septiembre del 2014.

Cui, X., Zhang Yi., Chen, X., Hong, J., Xiaobin, Wu. (2009). Effects of exogenous nitric oxide protect tomato plants under copper stress. IEEE 1-7. Doi 10.1109/ICBBE.2009.5162740.

De Azevedo, N. A. D., Prisco, J. T., Eneas, F. J., Rolim, M. J. V., Gomes, F.E. (2005). Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt stress acclimation in maize plants. *Journal of Plant Physiology* 162: 1114-1122.

Demira, K., Sahinb, O., Kadiogluc, Y. K., Pilbeamd, D. J., Gunesb, A. (2010). Essential and non-essential element composition of tomato plants fertilized with poultry manure. *Scientia Horticulturae* 127: 16-22.

Drinkwater, L. E., Letourneau, D. K., Workneh, F., Van Bruggen, A. H. C., Shennan, C. (1995). Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5: 1098-1112.

Durner, J., Wendehenne, D., Klessig, D. F. (1998). Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 95: 10328-10333.

Escalona, C.V., Alvarado, V.P., Monardes, M. H., Urbina, Z. C., Martin, B.A. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pp. 30.

Fageria, V. D. (2001). Nutrients interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1269-1290.

Fan, M., Zhao, F. S., Fairweather, T. P. Poulton. S., Dunham, S.P. (2008). Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years, J Trace Elements Med Biol 22: 315-324.

Farmer, E, E., Alméras, E., Krishnamurthy, V. (2003). Jasmonates and oxilipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. Curr Opin Plant Biol. 6: 372-378

Frost, C. J., Mescher, M. C., Carlston, J. E., de Moraes, C. M. (2008). Plant defense priming against herbivores: getting ready for a different battle. *Plant Physiol*. 146: 818-824.

García, M. L., Guevara, G. R. G., Mondragón, O. V. M., Verduzco, C. B. del R., Torres, P. I. (2013). Agriculture and Bioactives: Achieving Both Crop Yield and Phytochemicals. *Int. J. Mol. Sci*. 14: 1-x manuscripts: doi: 10.3390/ijms140x000x.

Gao, Y., Guo, Y. K., Lin, S. H., Fang, Y. Y., Bai, J. G. (2010). Hydrogen peroxide pretreatment alters the activity of antioxidant enzymes and protects chloroplast ultrastructure in heat-stressed cucumber leaves. *Scientia Horticulturae* 126: 20-26.

Giovanelli, G., y Paradiso, A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 7277-7281.

Giovannucci, E. (2002a). Lycopene and prostate cancer risk. Methodological considerations in the epidemiologic literature*. Pure Appl. Chem*. 74: 1427-1434.

Giovannucci, E. (2002b). A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene, and prostate cancer. Exp. *Biol. Med.* 227: 852-859.

Giovannucci, E. (2005). Tomato products, lycopene, and prostate cancer: A review of the epidemiological literature. *Journal of Nutrition* 135: 2030-2031.

Graziano, M., y Lamattina, L. (2007). Nitric oxide accumulation is required for molecular and physiological responses to iron deficiency in tomato roots. *Journal of Plant* 52: 949-960.

Grieve, C., I. (1996). Effects of the centrifuge drainage method on total organic carbon concentrations in soil solutions from peaty soils.Geoderma 74: 115-123.

Guo, Z. F., Lu, S. Y., Li, B. S., Li, M. Q., Li, Y. C. (1997). Response of rice seedlings in different drought tolerant cultivars to oxidative stress. Acta *Bot. Sinica* 39: 748-752.

Gutiérrez, R. J. M., Castro, L. M. D. 2007. Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. TrAC Trends in Analytical Chemistry 26(2), 163-170.

Guzmán, M., y Sánchez, A. (2000). Sistemas de Explotación y Tecnología de Producción. En Castellanos, J. Z. y Guzmán, M. Ingeniería, Manejo y Operación de invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Ed. *Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola S. C*.

Hanson, J. D., y Franzluebbers, A. (2008). Principles of integrated agricultural systems. *Renew. Agric. Food Syst*. 23: 263-264.

Harrison, R. (2002). Structure and function of xanthine oxidoreductase: where are we now? *Free Radic. Biol. Med.* 33: 774-797.

He´diji, H., Djebali, W., Cabasson, C., Maucourt, M., Baldet, P., Bertrand, A., Boulila, L., Zoghlami, A., Deborde, C., Moing, A., Brouquisse, R., Chaı¨bi, W., Gallusci, P. (2010). Effects of long-term cadmium exposure on growth and metabolomic profile of tomato plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1965-1974.

Hobson, G., Grierson, D. (1993). Tomato. In: SEYMOUR, G., TAYLOR, J.; TUCKER, A. eds. Biochemistry of Fruit Ripening. London: Chapman & Hall,. p. 405-442.

Horbowicz, M., Chrzanowski, G., Koczkodaj, D., Mitrus, J. (2011). The Effect of Methyl Jasmonate Vapors on Content of Phenolic Compounds in Seedlings of Common Buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 80: 5-9.

Hull, H.M., Morton, H.L., Wharrie, J.R. 1975. Environmental influence on cuticle development and resultant foliar penetration. Bot. Rev. 41:421-451.

Hung, K. T., Cheng, D. G., Hsu, Y. T., Kao, C. H. (2008). Abscisic acid-induced hydrogen peroxide is required for anthocyanin accumulation in leaves of rice seedlings. *Journal of Plant Physiology* 165: 1280-1287.

Idso, S. B, Kimball, B. A., Shaw, P. E., Widmer, W., Vanderslice, J. T., Higgs, D. J., Montanari, A., Clark, W. D. (2002). The effect of elevated atmospheric CO2 on the vitamin C concentration of (sour) orange juice. *Agric Ecosyst Environ*. 90: 1-7.

Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A., Zaker, T. F. (2012). Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Intl. J. Agri. Crop Sci*. 4: 1184-1187.

Jiang, J., Su, M., Wang, L., Jiao, C., Sun, Z., Cheng, W., Li, F., Wang, C. (2012). Exogenous hydrogen peroxide reversibly inhibits root gravitropism and induces horizontal curvature of primary root during grass pea germination. *Plant Physiology and Biochemistry* 53: 84-93.

Juroszek, P., Lumpkin, H. M., Yang, R.Y., Ledesma, D. R., Ma, C. H. (2009). Fruit Quality and Bioactive Compounds with Antioxidant Activity of Tomatoes Grown On-Farm: Comparison of Organic and Conventional Management Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 1188-1194.

Kapoulas, N., Ilić, Z. S., Đurovka, M., Trajković, R., Milenković, L. (2011). Effect of organic and conventional production practices on nutritional value and antioxidant activity of tomatoes. *African Journal of Biotechnology* 10: 15938-15945.

Kazemi, N. (2012). Effect of exogenous nitric oxide on alleviating nickel-induced oxidative stress in leaves of tomato plants. *International Journal of AgriScience* 2: 799-809.

Khan, N. A., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R., Iqbal, N. (2010). Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology:* 10.4081/pb.2010.e1.

Khandaker, M. M., Boyce, A. N., Osman, N. (2012). The influence of hydrogen peroxide on the growth, development and quality of wax apple (Syzygium samarangense, [Blume] Merrill & L.M. Perry var. jambu madu) fruits. *Plant Physiology and Biochemistry* 53: 101-110.

Kim, H. J., Fonseca, J. M., Choi, J. H., Kubota, C. (2007). Effect of methyl jasmonate on phenolic compounds and carotenoids of romaine lettuce (Lactuca sativa L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 10366-72.

Kovacevic, D., y Branka, L. (2012). Modern trends in the development of agricultural and demands on plants breeding and soil management. *Genetika* 44: 201-216.

Krzyzanowska, J., Czubacka A., Oleszek W. (2010). Dietary phytochemicals and human health. *Bio-Farms for Nutraceuticals*: Funcional food and safety control by biosensors. Chapter 7. 75-97.

Kun, Y., Lule, U.S., Xiao-Lin, D. (2006). Lycopene: its properties and relationship to human health. *Food Reviews International* 22, 309–333.

Lambers, H., Stuart, C. I. F., Pons, T. L. (1998). Plant Physiological Ecology. *Springer Verlag*. New York.

Larqué, S. A., Martín, M. R., Nexticapan, G. Á., Vergara, Y. S., Gutiérrez, R. M. (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 183-187.

Lee, Y. J., Kim, K. J., Park, K. J., Yoon, B. R., Lim, J. H., Lee, O. H. (2013). Buckwheat (Fagopyrum esculentum M.) Sprout Treated with Methyl Jasmonate (MeJA) Improved Anti-Adipogenic Activity Associated with the Oxidative Stress System in 3T3-L1 Adipocytes. *Int. J. Mol. Sci*. 14: 1428-1442. doi: 10.3390/ijms14011428.

Levent, T. A., Kaya, C., Dikilitas, M., Yokas, I., Burun, B., Altunlu, H. (2007). Comparative Effects of Various Salicylic Acid Derivatives on Key Growth Parameters and some Enzyme Activities in Salinity Stressed Maize (Zea mays L.) *Plants Pak Journal of Botany.* 39: 787-798.

Li, C., Li, T., Zhang, D., Jiang, L., Shao, Y. (2013). Exogenous nitric oxide effect on fructan accumulation and FBEs expression in chilling-sensitive and chilling-resistant wheat. *Environmental and Experimental Botany* 86: 2-8.

Li, S., Xue, L., Xu, S., Feng, H., An, L. (2007). Hydrogen peroxide involvement in formation and development of adventitious roots in cucumber. *Plant Growth Regul*. 52: 173-180.

Liao, W. B., Huang, G. B., Yu, J. H., Zhang, M. L. (2012). Nitric oxide and hydrogen peroxide alleviate drought stress in marigold explants and promote its adventitious root development. *Plant Physiology and Biochemistry* 58: 6-15.

Lin, Y., Liu, Z., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F. (2012). Exogenous nitric oxide (NO) increased antioxidant capacity of cucumber hypocotyl and radicle under salt stress. *Scientia Horticulturae* 142: 118-127.

López, M. A. F., Sagardoy, R., Solanas, M., Abadía, A. and Abadía, J. (2009). Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in hydroponics. *Environmental and Experimental Botany* 65: 376-385.

Lumpkin, H. (2005). A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems. *Technical Bulletin* No. 34. AVRDC publication number 05-623. Shanhua, Taiwan: AVRDC-The World Vegetable Center. p. 48.

Mahmoodi, A. P. M., Esna-Ashari, Karami, O., Hesari, M. (2008). Effect of Methyl Jasmonate on Resveratrol Production in Leaf and Fruit of Two Iranian Grape (Vitis vinifera L.) Cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 45: 571-579.

Malavolta, E., Vitti, G. C., De Oliveira, S. A. (1997). El estado nutricional de las plantas: principios y aplicaciones. Ed. *POTAFOS*. Ed. 2ª. Brasil p. 319.

Meyling, N. V., Navntoft, S., Eilenberg, J. (2010). *Organic farming systems benefit biodiversity and natural pest regulation in white cabbage*. Recuperado de http://orgprints.org/16988/1/16988.pdf. Consultado en Agosto del 2013.

Mitchell, A. E., Hong, Y. J., Koh, E., Barrett, D. M., Bryant, D. E., Denison, R. F., Kaffka, S. (2007). Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 6154-6159.

Mohamed, A. M., Efligenir, A., Husson, J., Persello, J., Fievet, P., Fatin, R., N. (2013). Extraction of heavy metals from a contaminated soil by reusing chelating agent solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1: 363–368.

Mora, H. M. E., López, D. H., Castillo, M. A., Foyer, C. H. (2005). Salicylic acid and H2O2 function by independent pathways in the induction of freezing tolerance in potato. *Physiologia Plantarum* 125: 430-440.

Moreno, N. R., Ponce, M. J. F., Hernández, Z. C., Machain, S. G. M. (2007). Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. Pp. 3-4.

Najafian, S., Khoshkui, M., Tavallali, V., Saharkhiz, M. J. (2009). Effect of salicylic acid and salinity in thyme (Thymus vulgaris L.): investigation on changes of gas exchange, water

relations and membrane stabilization and biomass accumulation. Australian *Journal of Basic and Applied Sciences.* 3: 2620-2626.

Neill, S., Barroso, R., Bright, J., Desikan, R., Han-cock, J., Harrison, J., Morris, P., Ribeiro, D., Wilson, J. (2008). Nitric Oxide, Stomatal Closure, and Abiotic Stress. *Journal of Experimental botany*. 59: 165-176.

Nilprapruck, P., Pradisthakarn, N., Authanithee, F., Keebjan, P. (2008). Effect of Exogenous Methyl Jasmonate on Chilling Injury and Quality of Pineapple (Ananas comosus L.) cv. Pattavia. *Silpakorn U Science & Tech*. J. 2: 33-42.

Nisen, A.,Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martínez, G. P. S., Monteiro, A., Verlodt, H., Villele, O., Zabeltitz, C.H., Denis, I. U., Baudoin, W. O. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO. Plant production and protection paper núm. 90. Rome, Italy.

Noge, K., Abe, M., Tamogami, S. (2011). Phenylacetonitrile from the Giant Knotweed, Fallopia sachalinensis, Infested by the Japanese Beetle, Popillia japonica, Is Induced by Exogenous Methyl Jasmonate. Molecules 16: 6481-6488.

Nuez, F. 1995. El cultivo de tomate. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España 793 p.

Omoni, A.O., y Aluko, R.E. (2005). The anticarcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. Trends Food Sci Technol. 16:344-350.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT). (2012). Recuperado de www.faostat.org. Consultado en Julio del 2013.

Ortega, O. H., Benavides, M. A., Mendoza, V. R., Ramírez, R. H., De Alba, R. K. (2007). Enzymatic Activity in Tomato Fruits as a Response to Chemical Elicitors. *J. Mex. Chem. Soc.* 51: 141-144.

Ozaki, K., Uchida, A., Takabe, T., Shinagawa, F., Tanaka, Y., Takabe, T., Hayashi, T., Hattori, T., Rai, A. K., Takabe, T. (2009). Enrichment of sugar content in melon fruits by hydrogen peroxide treatment. *Journal of Plant Physiology* 166: 569-578.

Perez, V. F., Duarte, J. (2010). Phytochemicals and cardiovascular protection: flavonols and cardiovascular disease. *Mol Aspects Med*. 31: 478-94.

Periago, M. J., y García, J. (2009). Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. International *Journal of Food Sciences and Nutrition* 60: 694-708.

Piñeros, C. Y., Otálvaro, Á. Á. y Velásquez, L. M. (2009). Efecto de la aplicación de elicitores sobre la producción de 4B-hidroxiwithanólido E, en raíces transformadas de Physalis peruviana L. *Universitas Scientiarum* 14: 23-28.

Polverari, A., Molesini, B., Pezzotti, M. (2003). Nitric oxide-mediated transcriptional changes in Arabidopsis thaliana. Mol. *Plant Microb. Interact*. 16: 1094-1105.

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

Ramos, S. B., Algar, E., García, V. A., García, C. J., Lucas, G. J. A., Gutiérrez, M. F. J. (2010). Biotic elicitation of isoflavone metabolism with plant growth promoting rhizobacteria in early stages of development in Glycine max var. Osumi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 1484-1492.

Raoa, M.C.R., Sahuquillob, A., Lopez, S. J. F. (2010). Comparison of single and sequential extraction procedures for the study of rare earth elements remobilisation in different types of soils. *Analytica Chimica Acta* 662: 128–136.

Rao, S. R., Qayyum, A., Razzaq, A., Ahmad, M., Mahmood, I., Sher, A. (2012). Role of Foliar Application of Salicylic Acid and L-Tryptophan in Drought Tolerance of Maize. The *Journal of Animal & Plant Sciences* 22: 768-772.

Raskin, I. (1992). Role of salicylic acid in plants. Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43:439-463.

Rick, C. M. (1976). Tomato *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). In: Evolution of Crop Plants, Simmonds NW. Ed. *Longman. London*. UK. Pp: 268-273.

Robbins, R. J., Keck, A. S., Banuelos, G., Finley, J. W. (2005). Cultivation conditions and selenium fertilization alter the phenolic profile, glucosinolate, and sulforaphane content of broccoli. *Journal of Medical Food* 8: 204-214.

Russell, W., y Duthie, G. (2011). Session 3: Influences of food constituents on gut health Plant secondary metabolites and gut health: the case for phenolic acids. *Proceedings of the Nutrition Society* 70: 389-396.

Robertson, L. D., y Labate, J. A. (2007). Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. In: Genetic Improvement of Solanaceous Crop, Vol. 2: Tomato. Razdan, M. K., Mattoo, A. K. Ed. *Science Publishers*. Enfield. New Hampshire USA, Pp: 25-75.

Rodríguez, L. V. (2009). ¿Qué sabe Ud. acerca de los medicamentos y remedios herbolarios, nutracéuticos y alimentos funcionales? *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 40: 47-48.

Rodríguez, M. M. N.; Alcántar, G. G.; Aguilar, S. A; Etchevers, B. J. D.; Santizó, R. J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Terra 16 (2): 8135-141.

Rojo, E., Solano, R., Sánchez, S., J. J. (2003). Interactions between signaling compounds involved in plant defense. *Journal of Plant Growth Regulation* 22: 82-98.

Sairam, R. K., y Srivastava, G. C. (2000). Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biol. Plant*. 43: 381-386.

Salehi, S., Khajehzadeh, A., Khorsandi, F. (2011). Growth of Tomato as Affected by Foliar Application of Salicylic Acid and Salinity. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 11: 564-567.

Sánchez, C.J.D. (2004). Aplicación exógena de inductores de tolerancia y su efecto en la actividad enzimática antioxidante en frutos de tomate (*lycopersicon esculentum* mill). Universidad Autónoma Agraria " Antonio Narro”.

Santa, C. D. M., Pacienza, N. A., Polizio, A. H., Balestrasse, K. B., Tomaro, M. L., Yannarelli, G. G. (2010). Nitric oxide synthase-like dependent NO production enhances heme oxygenase up-regulation in ultraviolet-B-irradiated soybean plants. *Phytochemistry* 71: 1700-1707.

Saruhan, N., Saglam, A., Kadioglu, A. (2012). Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 97-106.

Scherer, G. F. E., y Holk, A. (2000). NO donors mimic and inhibit cytokinins in betalaine accumulation in Amaranthus caudatus. *Plant Growth Regul*. 32: 345-50.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2011). *Cierre de la producción agrícola por cultivo 2011*. En: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Recuperado de http:///www.siap.gob.mx./index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&itemid=350. Consultado en Agosto del 2013.

Sesso, H. D., Liu, S. M., Gaziano, J. M., Buring, J. E. (2003). Dietary lycopene, tomato-based food products and cardiovascular disease in women. *Journal of Nutrition* 133: 2336-2341.

Sheppard, S. C., Long, J. M., Sanipelli, B. (2010). Plant/soil concentration ratios for paired field and garden crops, with emphasis on iodine and the role of soil adhesion. *Journal of Environmental Radioactivity* 101: 1032-1037.

Shi J. y Le Maguer M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. Critical Reviews in Biotechnology 20 (4): 293 – 334.

Shi, Q., Ding, F., Wang, X., Wei, M. (2007). Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 45: 542-550.

Singh, B., y Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Grow. Regul*. 39: 137-141.

Spoel, S. H., y Dong, X. (2012). How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. *Nature Reviews Immunology* 12: 89-100.

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient Solution. In: Sixth International Congress on Soilless Culture. *Proceedings International Society for Soilless Culture*. Lunteren. The Netherlands Pp. 633-650.

Surh, Y. J., Hurh, Y. J., Kang, J. Y. (1999). Resveratrol, an antioxidant present in red wine, induces apoptosis in human promyelocytic leukemia (HL-60) cells. *Cancer Lett.* 140:1-10.

Taylor, J. E., Webb, S. T. J., Coupe, S. A., Tucker, G. A., Roberts, J. A. (1993). "Changes in polygalacturonase activity and solubility of polyuronides during ethylene-stimulated leaf abscission in sambucus nigra". *Journal of Experimental botany*. 44: 93-98.

Thaler, J. S., Stout, J. M., Karban, R., Duffey, S. S. (1996). Exogenous Jasmonates Simulate Insect Wounding in Tomato Plants (*Lycopersicon esculentum*) in the Laboratory and Field. *Journal of Chemical Ecology* 22: 1767-1781.

Thanh, N., Murthy, H., Yu, K., Hahn, E., Paek, K. (2005). Methyl jasmonate elicitation enhanced synthesis of ginsenoside by cell suspension cultures of Panax ginseng in 5-l balloon type bubble bioreactors. *Applied Microbial and Biotechnology* 67: 197-201.

Tiensing, T., Preston, S., Strachan, N., Paton, I. G. (2001). Soil solution extraction techniques for microbial ecotoxicity testing: a comparative evaluation. *Journal of Environmental Monitory* 3: 91-96.

Tierranegra, G. N., Salinas, S. P., Torres, P. I., Ocampo, V. R. V., Rico, G. E., Mendoza, D. S. O., *et al.* (2011). Effect of foliar salicylic acid and methyl jasmonate applications on protection against pill-bugs in lettuce plants (Lactuca sativa). *Phytoparasitica* 39: 137-144.

Torres, P. I., y Guevara, G. R. G. (2012). Relación de la inmunología vegetal y la producción de alimentos. *CIENCIA@UAQ* Pp. 1-7.

Trudell, M. J., y Ozbum, J. L. (1970). Retaionship between chlorophylls and carotenoids of ripening tomato fruit as influenced by potassium nutrition. *Journal of Experimental botany* 69: 881-886.

Tsao, R., Yang, R., Xie, S. (2005). Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple? *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4989-4995.

Turner, J. G., Ellis, C., Devoto, A. (2002). The jasmonate signal pathway. *Plant Cell* 14: 153-164.

U. S. Department of Commerce (USDC). (2012). *World POPClock Projection*. Recuperado de http://www.census.gov/main/www/popclock.html. Consultado en Agosto del 2013.

USDA. 1976. United States Standards for Grade of Fresh Tomatoes. US. Dept. Agri., Mktg. Serv., Washington DC. P. 10.

Valenzuela, L. M., Partida, R.L., Díaz, V. T., Velázquez, A. T.J., Bojórquez, B.G., Enciso, O. T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 5, núm. 5. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México. pp. 807-818.

Vallverdú, Q. A., Medina, R. A., Casals, R. I. Lamuela, R. R. M. (2012). Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices?. *Food Chemistry* 130: 22-227.

Van Bruggen, A. H. C. (1995). Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* 79: 976-984.

Vasconsuelo, A., Boland, R. (2007). Molecular aspects of the early stages of elicitation of secondary metabolites in plants. *Plant Science* 172 (2007) 861–875.

Vázquez, C., M.A., Jiménez, G. S.N., Torres, P. I., Anaya, U.I., Mendoza, L.H.J., Guevara, G. R.G. (2012). Comportamiento de plantas de tomate (*solanum lycopersicum*) asperjadas con ácido salicílico cultivadas bajo diferentes condiciones climáticas en invernadero. División de

Estudios de Posgrado, C.A. Universidad Autónoma de Querétaro. Ingeniería de Biosistemas, Facultad de Ingeniería.

Vázquez, V. P., García, L.M.Z., Navarro, C.M.C., García, H.D. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*lycopersicum esculentum* mill.) en invernadero. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. XIX, núm. 36, pp. 1351-1356.

Wang, L., Zhou, Q., Huang, X. (2009). Photosynthetic responses to heavy metal terbium stress in horseradish leaves. *Chemosphere* 77: 1019-1025.

Wang, Q., Liang, X., Dong, Y., Xu, L., Zhang, X., Hou, J., Fan, Z. (2013). Effects of exogenous nitric oxide on cadmium toxicity, element contents and antioxidative system in perennial ryegrass. *Plant Growth Regul*. 69: 11-20.

Wang, S. Y., Chen, C. T., Wang, C. Y., Chen, P. (2007). Resveratrol content in strawberry fruit is affected by preharvest conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 55: 8269-8274.

Wang, Y. Y., Li, B. Q., Qin, G. Z., Li, L., Tian, S. P. (2011). Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Scientia Horticulturae* 129: 183-188.

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

World Health Organization (WHO). (2011). Global Status Report on Noncommunicable Diseases *2010*; *World Health Organization*. Rome. Italy.

Xu, Q. M., y Chen, H. (2011). Antioxidant responses of rice seedling to Ce4+ under hydroponic cultures. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 1693-1699.

Yıldırım, E., y Dursun, A. (2009). Effect of Foliar Salicylic Acid Applications on Plant Growth and Yield of Tomato under Greenhouse Conditions. *Acta Hort.* 807: 395-400.

Young, J. L., Kui, J. K., Kee, J. P., Bo, R. Y., Jeong, H. L., Ok-Hwan, L. (2013). Buckwheat (Fagopyrum esculentum M.) Sprout Treated with Methyl Jasmonate (MeJA) Improved Anti-

Adipogenic Activity Associated with the Oxidative Stress System in 3T3-L1 Adipocytes. *Int. J. Mol. Sci*. 14: 1428-1442. doi: 10.3390/ijms14011428.

Yu, C. C., Hung, K. T., Kao, C. H. (2005). Nitric oxide reduces Cu toxicity and Cu-induced NH4 + accumulation in rice leaves. *Journal of Plant Physiology* 162: 1319-1330.

Yu, M., Shen, L., Zhang, A., Sheng, J. (2011). Methyl jasmonate-induced defense responses are associated with elevation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase in *Lycopersicon esculentum* fruit. *Journal of Plant Physiology* 168: 1820-1827.

Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Oliva,L.,Schvab, M (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Ciencias Exactas y Naturales - Ingenierías y Tecnologías. Nº 34, Año XVIII.

Zeng, C. I., Liu, L., Xu, G. Q. (2011). The physiological responses of carnation cut flowers to exogenous nitric oxide. *Scientia Horticulturae* 127: 424-430.

Zengin, F. K., y Munzuroglu, O. (2005). Effects of Some Heavy Metals on Content of Chlorophyll, Proline and Some Antioxidant Chemicals in Bean (Phaseolus vulgaris L.) Seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia* 47: 157-164.

Zhang, X. L., Jia, X. F., Yu, B., Gao, Y., Bai, J. G. (2011). Exogenous hydrogen peroxide influences antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in cucumber leaves at low light. *Scientia Horticulturae* 129: 656-662.

Zhang, X., Zhang, L., Dong, F., Gao, J., Galbraite, D. W., Song, C. P. (2001). Hydrogen peroxide is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in Vicia faba. *Plant Physiol*. 126: 1438-48.

Zhao, J., Davis, L, C., Verpoorte, R., (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. Biotechnology Advances. Review. 23: 283-333

Zhao, R., Sheng, J., Lv, S., Zheng, Y., Zhang, J., Yu, M., Shen, L. (2011). Nitric oxide participates in the regulation of LeCBF1 gene expression and improves cold tolerance in harvested tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 62: 121-126.

Zhu, Z., y Tian, S. (2012). Resistant responses of tomato fruit treated with exogenous methyl jasmonate to Botrytis cinerea infection. *Scientia Horticulturae* 142: 38-43.