

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



Efecto de Nanopartículas de Cobre Sobre el Cultivo de Tomate Bola (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero.

Por:

**JESÚS LÓPEZ VELASCO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Nanopartículas de Cobre Sobre el Cultivo de Tomate Bola (*Solanum lycopersicum L.*) Bajo Condiciones de Invernadero.

Por:

**JESÚS LÓPEZ VELASCO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Neymar Camposeco Montejo  
Asesor Principal



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Coasesor



Dra. Hortensia Ortega Ortiz  
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019.

## AGRADECIMIENTOS

Durante mi desarrollo en la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, le agradezco a esta prestigiada institución por brindarme sus puertas y darme una formación de Ingeniero Agrónomo en Horticultura, dándome sus principios de respeto, valor y honestidad; así como las herramientas necesarias para emprender hacia un camino de éxito.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por darme la oportunidad de realizar mi trabajo para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en Horticultura, siendo una persona admirable y de respeto.

Al **Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente** por ser parte de esta investigación siendo una persona admirable y de mucho prestigio en la UAAAN por sus grandes aportaciones como investigador y sus enseñanzas a estudiantes.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz** y al Centro de Investigación en Química Aplicada por ser parte de esta investigación, proporcionando las Nanopartículas de cobre y apoyo en la realización de la tesis.

Gracias Alma Terra Mater por brindarme tu casa, amigos, docentes, por ser parte de mi formación y darme las herramientas necesarias por emprender y portar orgullosamente “Buitres”.

## DEDICATORIAS

Este trabajo de investigación para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura, se lo dedico:

A mis padres; Andrés Simón López López e Isabel Velasco López, ya que siempre he contado con su apoyo más que nada por sus consejos, que me fortalecieron durante el trascurso de estudios fuera de casa, me han colocado una confianza en donde no hay límites, donde como persona puedes aspirar a lo que te propongas sin importar que tan complicado sea el camino, siempre y cuando tengas esas confianza y fortaleza de seguir tus objetivos.

A mis hermanos, por el camino que me han reflejado a seguir, por sus apoyos incondicionales, fortalezas que me brindaron durante mi estancia fuera de casa, mis agradecimientos de todo corazón.

A mis compañeros Fernando Enrique Hernández Flores, Rolando Gonzales Díaz y Alfredo Morales San Juan por el tiempo que me apoyaron durante el ciclo del cultivo de dicha investigación.

A mis amigos Arely Gutiérrez Villanueva, Urbano Gómez Gómez y Víctor Hernández Sánchez, por su amistad en la trayectoria de mi formación, siendo personas honestas, comprensibles y sobre todo sobresalientes, gracias por sus consejos.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<i>ii</i>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<i>iii</i>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<i>iv</i>
<b>ÍNDICE DE CUADRO</b> .....	<i>vii</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<i>viii</i>
<b>RESUMEN</b> .....	<i>ix</i>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVO GENERAL</b> .....	2
2.1. Objetivo específico.....	2
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>IV. REVISION DE LITERATURA</b> .....	4
4.1. Origen.....	4
4.2. Producción mundial de tomate.....	4
4.3. La agricultura protegida en México.....	6
4.4. Importancia del tomate en México.....	7
4.5. La innovación en el cultivo de tomate.....	9
4.6. Sustratos.....	10
4.7. La nanotecnología.....	11

4.8. Aplicaciones de la nanotecnología.....	12
4.9. La nanotecnología en la agricultura.....	12
4.10. Estándares de calidad del tomate.....	13
4.11. Estudios con nanopartículas.....	14
4.12. El cobre.....	15
4.13. El cobre en el ambiente.....	16
4.14. Formas de absorción del cobre.....	17
4.15. Síntomas de deficiencia de cobre en las plantas.....	17
4.16. Las nanopartículas de cobre en el cultivo de tomate.....	18
4.17. Absorción y transporte del cobre en el interior de la planta.....	19
4.18. Funciones del cobre en las plantas.....	20
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
5.1. Ubicación y localización.....	21
5.2. Material vegetal.....	21
5.3. Establecimiento en campo y manejo del cultivo.....	21
5.4. Eliminación de la yema apical.....	22
5.5. Tratamientos.....	22
5.6. Nutrición del cultivo.....	23
5.7. Labores culturales.....	24
5.8. Control de plagas y enfermedades.....	25

5.9. Aplicación de nanopartículas de cobre.....	25
5.10. Cosecha.....	26
5.11. Variables agronómicas evaluadas.....	27
5.12. Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>35</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> varianza y comparación de medias de variables evaluadas en tomate bola tratado con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre por aplicación foliar.....	29
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Plántula con dos ápices después de la incisión del ápice principal.....	22
<b>FIGURA 2.</b> Repetición cuatro plántulas por boli de fibra de coco.....	23
<b>FIGURA 3.</b> Imagen izquierdo eliminación del ápice principal de la planta.....	25
<b>FIGURA 4.</b> Imagen derecho aspecto del cultivo debido a bajas temperaturas (temporada invernal 5-12 °C) invernadero sin calefacción.....	25
<b>FIGURA 5.</b> Primer llenado de racimo del tomate bola.....	26
<b>FIGURA 6, 7.</b> Daños por la helada, rompimiento de células del follaje y del fruto.....	26
<b>FIGURA 8.</b> Frutos para evaluar las variables morfológicas.....	27
<b>FIGURA 9.</b> Cambios en el peso promedio de fruto respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm aplicadas al cultivo de tomate. Comparación de medias entre tratamientos (LSD $\leq 0.05$ ) para la variable peso promedio del fruto.....	30
<b>FIGURA 9.</b> Sólidos solubles totales del tomate respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm. Comparación de medias entre tratamientos con nanopartículas de cobre (LSD $\leq 0.05$ ) para la variable sólidos solubles totales.....	31
<b>FIGURA 9.</b> Firmeza del fruto respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm. Comparación de medias entre tratamientos con nanopartículas de cobre (LSD $\leq 0.05$ ) para la variable firmeza de fruto.....	32
<b>FIGURA 9.</b> Rendimiento del tomate respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm. Comparación de medias (LSD $\leq 0.05$ ) para la variable rendimiento calculado en ton/ ha.....	33

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. El material genético fue Evimeria F1 tomate tipo bola de la empresa SYNGENTA, se cultivó en boli de fibra de coco de la marca Leyton Green House and Supply S. de R.L. de C.V. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de las nanopartículas de cobre (NPs de Cu) en diferentes dosis aplicadas de forma foliar, con la finalidad de encontrar la dosis óptima, que beneficie el desarrollo de la planta, rendimiento y calidad de frutos. Las aplicaciones foliares fueron bajo las siguientes concentraciones; 0, 5, 10, 15 y 20 ppm por cada litro de agua destilada, el tratamiento "0" como testigo absoluto. Estas concentraciones se aplicaron tres veces durante el ciclo de cultivo, no obstante, debido a las circunstancias de la temporada invernal se evaluó solamente al quinto racimo, y por cada 2 nuevos racimos florales que presentaba la planta se aplicaron las NPs de Cu. En el experimento se utilizó el arreglo experimental y análisis estadístico como completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones cada uno. El análisis de varianza no mostró significancia estadística entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. Sin embargo en la variable de peso promedio del fruto destaca el tratamiento con 5 ppm de NPs de Cu y el testigo, ya que tuvieron el mismo peso promedio por sobre los otros tratamientos. Para la variable de sólidos solubles totales el tratamiento con 10 ppm fue ligeramente superior a los demás tratamientos con 3.72 °Brix ya que superó al testigo con 4.6%. En cuanto a firmeza del fruto se observó un incremento con la mayor concentración de NPs de Cu siendo el tratamiento con 20 ppm y el testigo los que mostraron mejores resultados. El rendimiento decreció mientras se incrementó la concentración de las NPs de Cu, en el el testigo fue de 117. 62 ton/ha y en el tratamiento con 5 ppm fueron 117.48 ton /ha y en el tratamiento con 20 ppm disminuyó aún más el rendimiento hasta 104.53 ton/ha con una diferencia del 12%.

**Palabras clave:** cobre, nanotecnología, rendimiento, tomate.

## I.- INTRODUCCIÓN

México se caracteriza por la domesticación del cultivo de tomate, a nivel mundial ocupa el décimo lugar en producción y es uno de los principales exportadores, en las últimas décadas ha incrementado la superficie sembrada, en el año 2016 se registró un promedio de 51,861 hectáreas, con una producción de 3.35 millones de toneladas (SAGARPA, 2017). En el 2017 se posicionó en el noveno lugar con una producción de 3.46 millones de toneladas de tomate rojo y 773 mil toneladas de tomate verde, siendo Sinaloa el principal productor de tomate, con una participación de 937 mil toneladas (SIAP, 2018).

El tomate es uno de los frutos más consumidos a nivel nacional, es uno de los cultivos hortícolas con más investigación y mejoramiento genético, para incrementar rendimientos (Castañeda *et al.*, 2007), no obstante, el cambio climático ha repercutido en la producción de este cultivo (Boulard y Baille, 1993; Francisco, 2005), dichas problemáticas como plagas, enfermedades, suelos salinos, falta de agua y temperaturas extremas, llevaron a la construcción de infraestructura como los invernaderos, con el fin de evadir dichas problemáticas (Nidumolu *et al.*, 2009). Por otra parte la aplicación de nanopartículas de cobre (NPs de Cu) sobre los cultivos, se ha utilizado para la reducción de estos tipos de estrés, ya que las NPs de Cu pueden inducir la formación de compuestos bioactivos como las vitaminas C y licopeno, mismos que influyen en la calidad del fruto del tomate, y por ende se mejora la dieta humana (López 2017). Otros efectos benéficos son el aumento del peso seco de la raíz y el rendimiento por planta, además de aumentar la actividad APX, CAT y GPX, generando efectos positivos como antioxidantes ante los diferentes tipos de estrés (Rivera, 2017). Así mismo las nanopartículas en hidrogeles de quitosán en concentraciones de 10 ppm incrementan el rendimiento hasta en 16%, la biomasa fresca y seca, (Vásquez 2016). Con la información recabada y la falta de información suficiente relacionada con la aplicación de las NPs de Cu por vía foliar, se planteó investigar el efecto de las NPs de Cu aplicadas foliarmente sobre el cultivo de tomate bola.

## **II.- OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de las nanopartículas de cobre (NPs Cu) aplicadas de forma foliar sobre el cultivo de tomate y su efecto en el rendimiento y calidad del fruto.

### **2.1. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre sobre el rendimiento y componentes del rendimiento del cultivo de tomate.

Evaluar las características de calidad del fruto provenientes de las plantas tratadas con nanopartículas de cobre.

### **III.- HIPÓTESIS**

Las nanopartículas comerciales de cobre de forma esférica y de un tamaño de 25 nm o menos presenta mejores propiedades que sus similares de tamaño micro por lo que presentan efectos más efectivos (potencializados) en plantas a menor concentración, por lo que se espera que al menos una de las concentraciones de nanopartículas de cobre causará efecto benéfico en el rendimiento y calidad del fruto de tomate.

## **IV.- REVISIÓN DE LITERAURA**

### **4.1. Origen**

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de los Andes del Perú, donde apareció de manera silvestre como una fruta redonda de color rojo, posteriormente su domesticación fue en México (Margie, 2006). El cultivo de tomate o jitomate es una especie herbácea, en México, hay dos tipos de variedades clasificadas como determinado (llega a una etapa de crecimiento en donde lo distingue el ultimo ramillete de producción) utilizado más para campo abierto (Rodríguez, 1997). El indeterminado (como su nombre lo dice su crecimiento es hasta donde el productor lo permita, solo que entre más grande o más vieja, es más propenso a enfermedades, baja el rendimiento y es más costoso en mano de obra e insumos) lo utilizan más bajo cubiertas (Bolaños, 1998). Es una planta semileñosa, con radícula fibrosa, entrenudos que oscilan de 10-30 cm dependiendo de cada variedad, su etapa de cultivo varia de 6 a 12 meses (Chamarro, 1995).

### **4.2. Producción mundial de tomate**

La superficie terrestre total es de 14, 894 millones de hectáreas. Datos de la FAO indican que en 2010, la superficie total destinada a la agricultura era de 4, 762 millones de hectáreas, mientras que para 2016 esta superficie se incrementó a 4, 863 millones de hectáreas, con un incremento de 100 millones de hectáreas, Food and Agriculture Organization (FAO, 2019).

De acuerdo información de la FAO la superficie cultivada de tomate a nivel mundial en 2016 fue de 5 millones de hectáreas cuadradas, con una producción de 170.8 millones de toneladas, en la cual resaltan cuatro países con más altos rendimiento a nivel mundial correspondientes a China (19.8 %), India (18.8 %), Nigeria (10.8 %), y Turquía (6.4%). México ocupa la décima posición mundial, con 1.9 % de la superficie de esta hortaliza (FAO, 2017).

La superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.7% entre 2004 y 2014 donde se cultivaron 5 millones de hectáreas cuadradas, cuyo promedio por hectárea fue de 34 toneladas, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2017).

En México la superficie total agrícola registrada en el 2014 fue de 109, 254, 749 millones de hectáreas (SAGARPA-INEGI, 2014). En el 2017 tuvo un registro de 110, 258, 153 millones de hectáreas, de los cuales solo están en producción 32.4 millones de hectáreas, en la cual el 6.8 millones de hectáreas son de riego y el 25.6 millones de hectáreas es de temporal, el 77.8 millones de hectáreas restante corresponde a superficie de agostadero, enmontada y de otro tipo. En tan solo tres años la superficie agrícola tuvo un aumento de más de un millón de hectáreas, Encuesta Nacional Agropecuaria-Instituto Nacional de Estadística y Geografía (ENA-INEGI, 2018).

México ha sido uno de los países en donde se producen distintos tipos de cultivos, esto es debido a sus diferentes climas que permiten el crecimiento de diversos cultivos y que a la vez son el sostén de muchos trabajadores y productores, por lo que la asistencia técnica es de muy gran utilidad, con la finalidad de incrementar la producción, el cuidado en la inocuidad del producto final así como el trabajo de trazabilidad hasta los consumidores, estos son lineamientos o normas que las empresas grandes, medianas y pequeñas llevan a cabo para cumplir con los requisitos del mercado, dando un producto confiable al consumidor, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SAGARPA-SENASICA, 2016).

La agricultura en México ha sido un medio de sostén para muchos empresarios dedicados a la actividad, se ha caracterizado por ser un país con amplios cultivos, principalmente los granos, debido a que es un alimento nutricional consumido en la dieta humana así como en complementos de origen animal, lamentablemente sigue existiendo hasta la fecha desnutrición y hambre, debido a las circunstancias del medio ambiente que ha dificultado satisfacer la

demanda alimentarias de la población nacional, ya que en los últimos años se ha recrudecido los efectos ambientales derivados del cambio climático, como el aumento drástico de temperatura, altas precipitaciones, bajas temperaturas a causa de estos factores se ha ocasionado pérdidas en el área agrícola lo que ha ocasionado buscar nuevas alternativas (FAO, 2018).

De los cultivos más producidos en el campo mexicano están los cereales, como primer lugar está el maíz (*Zea mays*) que es el alimento básico, seguido del sorgo (*Sorghum*) por su alto contenido de proteína, rico en fibra consumido por el hombre y los animales, en tercer lugar se tiene a los cítricos, la naranja (*Citrus X sinensis*) ya que es consumido y adquirido para la industrialización, en el cuarto lugar tenemos al grupo de las solanáceas el tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más consumidas en México y en el mundo, que año tras año incrementa exageradamente la superficie cultivada, en este caso está clasificado como la hortaliza más cultivada en México, seguido del quinto cultivo en general y la segunda hortaliza es el chile verde (*Capsicum annum*) que es uno de los cultivos presentes para los mexicanos por su alto contenido de capsicina (SAGARPA, 2018).

#### **4.3. La agricultura protegida en México**

Debido al mal uso de agroquímicos y al cambio climático se han tomado nuevas medidas en la producción de cultivos, ya que por este medio se controlan los factores que repercuten en el metabolismo y crecimiento de la planta, se tiene un mejor control y manejo fitosanitario, una mayor densidad de población de plantas y buena calidad de frutos combinado con altos rendimientos (Boulard y Baille, 1993). La agricultura protegida es una superficie cubierta completamente de un plástico transparente u opaco (polietileno) en la que su estructura puede ser macro túneles, micro túneles, malla sombra e invernaderos de diferentes diseños (Alpi y Tognoni, 1991).

Es un medio de crecimiento de frutas, frutos, vegetales, leguminosas, granos, especies, ornamentales, entre otros que pueden ser de baja tecnología como tecnología de punta, en donde consiste en manipular los factores agroclimáticos como, radiación solar, humedad relativa, temperatura, riegos, entre otros (Jaramillo *et al.*, 2007).

#### **4.4. Importancia del tomate en México**

En México el cultivo de tomate es la hortaliza número uno en su producción, nuestra participación en el mercado de exportación es del 25.11%, durante 2016 el tomate mexicano cubrió 90.67% de las importaciones de Estados Unidos y 65.31% de Canadá. En el 2016 tuvo una superficie de 51, 861 hectáreas sembradas, donde el 95.70% eran mecanizadas, el 73.26% conto con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que el 76% del territorio sembrado con este cultivo conto con asistencia técnica (SAGARPA, 2017).

En el 2017 México obtuvo una producción de 3'469,000 toneladas de tomate, ocupando el estado de Sinaloa la mayor participación con una producción de 937,796 toneladas con una superficie sembrada de 14,611 hectáreas y un 15.7% en la producción de esta hortaliza, seguido de San Luis Potosí con 340,836 toneladas en 2,847 hectáreas, participando con el 13.2% y en tercer lugar lo ocupa Michoacán con una producción de 253,576 toneladas en una superficie de 6,136 hectáreas, Baja California ocupa el sexto lugar en producción de tomate con 179,574 toneladas con el 9.5%. De manera general México participa con el 21.5% en producción de hortalizas a nivel nacional y un 2.3% en producción de tomate a nivel mundial ocupando el noveno lugar, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018).

Desde el año 1975 hasta la actualidad, se han incrementado las innovaciones en el área agrícola, tales como invernaderos, maquinaria agrícola, captaciones de agua, métodos de germinación, métodos de riego, nutrición vegetal, manejo de cultivo, productos industrializados entre otros, esto ha llevado al productor a un manejo adecuado y eficiente de los cultivos, con lo que se ha

logrado obtener mayores rendimientos en la agricultura. Los métodos de innovación dependen mucho del medio de trabajo de cada empresa, en la manera de pensar del equipo de trabajo y del líder. El líder como objetivo, debe de tener visión a futuro, metas a largo y corto plazo, ser una persona curiosa e instintiva en todos los aspectos, desde ver el problema menos significativo.

La innovación no solo es obtener maquinarias sofisticadas, sino también implementar estrategias de trabajo en equipo y técnicas de cultivo, para poder obtener un cultivo con características importantes. La innovación en el campo mexicano es un método o cambio que ha modificado la implementación en el área, como la productividad, calidad, el comercio, la tecnología, maquinaria, ciencia, biología, química, entre otros, estos métodos han generado competitividad en el mercado nacional como internacional, Instituto Interamericano de cooperación Para la Agricultura (IICA, 2014).

En el área agrícola nos falta realizar investigación sobre el cambio climático, ya que en estos últimos años ha aumentado drásticamente la temperatura, lo que ha ocasionado la degradación de la capa de ozono, ha aumentado el CO<sub>2</sub>, se ha descongelado drásticamente el polo norte y la contaminación de los mantos acuíferos aumenta a causa de estos factores ambientales. Debido a estos sucesos los productores de baja tecnología se ven afectados reportando pérdidas en sus cultivos, ya que el clima tiende a cambiar repentinamente dañando del 50% hasta el 100% del producto total (Francisco, 2005).

En el siglo XXI se ha implementado la utilización de drones conocidos como VAN (Vehículo Aéreo no Tripulado Reutilizable), estos aparatos pueden ser tripulados mediante su mecanismo de programación remota o manejada por inteligencia artificial, es un vehículo que apenas está entrando al área agrícola y que tiene como objetivo facilitar el diagnóstico y coadyuvar en el desarrollo del cultivo hasta obtener la producción, evitando en su momento algún problema que pueda retrasar o perjudicar la etapa fenológica del cultivo mediante monitoreos del área, tal como la presencia de deficiencia nutricional, plagas y enfermedades

e identificación de estrés hídrico en plantas, así como los sensores de temperatura, humedad relativa y en la cual puede llegar a sacar mapas cartográficos en 3D donde especifique la pendiente del terreno o la superficie (Guardado *et al.*, 2017).

Por otra parte, tenemos los teléfonos inteligentes en los cuales se pueden instalar APPs, que son aplicaciones en base a la agricultura, que pueden proporcionar los insumos como agrofertilizantes, agroquímicos, otras aplicaciones tienen la capacidad de identificar la deficiencia nutricional de la planta así como la presencia de alguna plaga e identificaciones de las enfermedades, diagnosticando cada una de ellas, en donde dicho programa sugiere la aplicación de algún producto químico (Torres 2012).

#### **4.5. Las innovaciones en el cultivo de tomate**

El cultivo de tomate ha aumentado drásticamente debido a que es una fruta complementaria para la dieta mexicana, además de ser una fuente de ingresos para productores y trabajadores (Soria, 1993). Este cultivo es de manejo complejo y laborioso en todos sus aspectos, en donde el productor le apuesta al mercado nacional e internacional, no obstante, en ocasiones se aprecian pérdidas económicas, principalmente por el cambio climático seguido de un mal manejo de suelos y de cultivos (Boulard y Baille, 1993; Francisco, 2005).

La innovación en el campo mexicano ha permitido desarrollar nuevas estrategias de trabajo que permiten el aumento de la producción en menor superficie (Nidumolu *et al.*, 2009).

El alimento suministrado a la planta es por medio del riego localizado de acuerdo a su etapa fenológica calculando la proporción de nutrientes, donde la planta tiene un medio de sostén, este puede ser un sustrato orgánico como inorgánico dándole los requerimientos adecuados hasta llegar a la producción (Yescas *et al.*, 2011). El método por hidroponía trae consigo grandes ventajas, ya que se obtiene un manejo eficiente del agua como de nutrientes minerales,

buen aprovechamiento de superficie en cuanto a densidad de población, se han obtenido una aceleración fenológica del cultivo, y una disminución de plagas y enfermedades lo que ha ocasionado grandes resultados (Castañeda et al., 2007).

#### **4.6. Sustratos**

Los nutrientes deben de estar disponibles de manera que la planta los pueda absorber por medio de sus raíces en el momento que los requiera (Ansorena, 1994). La disponibilidad de estos elementos en el sustrato varía dependiendo de la CE y pH del sustrato. La estructura de los sustratos juega un papel muy importante ya que sirven como almacenamiento de nutrientes, por su estructura porosa retienen oxígeno y en el caso de los activos la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Pire y Pereira, 2003). Actualmente los sustratos se han convertido en un tema interesante debido a su manejo ya que estos pueden ser activos e inertes, a través de los años el método de cultivo más utilizado es el de hidroponía o cultivo sin suelo, este consiste en cultivar en contenedores rellenos de sustrato que pueden ser orgánicos e inorgánicos, en este sistema la nutrición es inyectada por medio del riego por cintilla o sistema de goteo (Magan, 1999).

En los sustratos debemos de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas ya que al no tener un conocimiento amplio podemos tener graves repercusiones en la etapa fenológica del cultivo (Canavas, 1999).

El cultivo de tomate como se ha mencionado es una planta tediosa, que en su etapa de desarrollo lleva consigo aplicaciones que hacen parte de su fisiología como morfología en donde entran los biorreguladores o también llamados por algunos investigadores como fitorreguladores o biohormonales. En los biorreguladores se clasifican 5 hormonas vegetales con funciones que caracterizan a las plantas por su comportamiento fisiológico, tenemos a las giberelinas GA3, citoquininas, ácido abscísico, auxina y etileno (Weaver, 1990).

Como se ha investigado las hormonas vegetales tienen diferentes funciones en la planta y su aplicación va dependiendo de su etapa morfológica, cabe mencionar que estas hormonas tienen su mismo comportamiento en distintas especies de plantas. Dentro de los biorreguladores existen otros grupos conocidos como brasinoesteroides, ácido jasmónico, ácido salicílico, poliaminas, salicilatos, oligopéptidos y óxido nítrico en este grupo se podría incluir a las oligosacarinas y la glucosa (Azcon y Talon, 2000).

Todas las fitohormonas son reguladores de crecimiento producidos naturalmente por las plantas, en el mercado existen una infinidad de hormonas a base de productos químicos sintéticos, que son utilizados como herbicidas, defoliantes de crecimiento entre otras funciones que traen repercusión en la planta.

#### **4.7. La nanotecnología**

La palabra nanopartícula es usada extensivamente para definir la ciencia y técnicas que se aplica al nivel de nanoescala, esto es una medida extremadamente pequeña “nano” ( $10^{-9}$ ) lo que permite manipular las estructuras y sus átomos, su tamaño va de 100 nm o menos, en pocas palabras es una millonésima parte de un milímetro (Mulero *et al.*, 2002).

En término “Nanotecnología” fue definido por el investigador Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio, debido a sus trabajos de tecnologías de procesamiento de alta precisión, por lo cual señaló que a través del tiempo serían equipos a nivel manométrico (Taniguchi, 1974).

La Universidad RICE en E.E.UU. obtuvo el descubrimiento de una molécula formada por 60 átomos de carbono que le dio el nombre de fulerenos, por el descubrimiento del físico Richard Smalley Buckminster Fuller, los átomos están estructurados de forma redonda con estructura hueca (Maher, 2010).

#### **4.8. Aplicaciones de la nanotecnología**

A través de los años se ha estudiado gran parte de la nanotecnología y se han encontrado grandes beneficios para el desarrollo sustentable sin embargo son trabajos tediosos, la nanotecnología estudia la física, ciencia y biología que se encarga de manipular la materia a escala nanométrica a nivel de átomos, moléculas y se enfoca en distintas áreas como la tecnología nuclear, industrial, medicina, electrónica y la biodiversidad (Ma *et al.*, 2012).

#### **4.9. La nanotecnología en la agricultura**

Uno de los principales desarrollos de la nanotecnología se encuentra en los sectores de la agricultura y la alimentación, se ha acuñado el término “nanobiotecnología” que se combinan numerosas disciplinas científicas tan relacionadas como la biotecnología y la nanotecnología (Andaluz y Sánchez, 2006).

En la agricultura el uso de fertilizantes sintéticos que lo conforma estructuras moleculares enlazadas entre iones para su absorción por la planta (Marschner, 1995). En el caso de los agroquímicos encontramos diversos productos como los insecticidas, fungicidas, bactericidas, acaricidas, productos para erradicar alguna maleza como son los herbicidas entre otros, en el mercado existen infinidad de agroquímicos con el mismo ingrediente activo pero con distinto nombre comercial, son los selectivos y tiene especialmente un solo objetivo, por su rápido modo de acción fue creciendo el uso indiscriminado y por su alta residualidad afectan gran parte del ecosistema y sistemas inmunológico humano (Armstrong y Stiles, 1973). Debido a este problema hoy en día existe un control de sanidad en las empresas y al mismo tiempo los productos orgánicos tienen el mismo fin, con la diferencia que no son tóxicos y son amigable con el medio ambiente (Prieto *et al.*, 2007). No obstante se han realizado estudios en base a la nutrición de los cultivo, ya que entre productos sintéticos perjudicamos aceleradamente el ecosistemas, principalmente suelos y aguas de los mantos freáticos de los que se abastece la humanidad y los animales (Kabata-Pendias, 2000).

En la agricultura ya se han llevado a cabo numerosos estudios, en los que se desarrollan herramientas para mejorar la capacidad de los cultivos en la absorción de los nutrientes del suelo, resistencia a los cambios ambientales drásticos, resistencia a plagas y enfermedades, entre otros factores, permitiendo aumentar considerablemente la productividad, hoy en día hay estudios en donde se han aplicado en la alimentación métodos de detección de microorganismos perjudiciales para el ser humano (Castañeda *et al.*, 2011).

La nanotecnología en la agronomía en cuando agroquímicos han llegado a ser más precisa, por la estructura molecular se adhiere y obtiene una rápida acción que es más confiable (Armstrong y Stiles, 1973).

La nanotecnología le permite descubrir nuevas fórmulas para dirigirse con más eficiencia a la destrucción de los organismos perjudiciales y para prevenir mejor la resistencia a los principios activos, como desdoblamiento de proteínas y enzimas. En definitiva, la Nanotecnología es una alternativa más amigable con el medio ambiente para el caso concreto del control de vectores, reduciendo la toxicidad y enfocándose directamente en la síntesis de los organismos, además se facilita la absorción de nutrientes por la planta (Araya *et al.*, 2014).

#### **4.10. Estándares de calidad del tomate**

Los estándares de calidad en el tomate son de mucha importancia debido a las cualidades organolépticas aceptados por los consumidores, las cualidades que rige el mercado es un fruto fresco, de aspecto firme con un color rojo uniforme y aromático (Chaib *et al.*, 2007). En la actualidad se siguen realizados estudios, desde la etapa de germinación, etapa vegetativa o inicio de postcosecha, con la finalidad de encontrar un fruto de calidad (Ruelas-Chacón *et al.*, 2013).

En postcosecha los frutos son tratados con ceras artificiales o vegetales para tener una baja tasa de respiración y menor pérdida de agua para conservar la calidad del fruto (Guevara, 2010), el efecto de un recubrimiento a base de sábila y aceite esencial de canela mejoraron la conservación y firmeza del fruto

además de actuar como agente microbiano, alargando la vida de anaquel del fruto (Molocho y Orbegoso, 2017).

El tomate es un fruto climatérico, su maduración es extremadamente acelerada y tiende a haber repercusiones severas ya sea por cosecha inadecuada o factores climáticos que dan origen a patógenos comúnmente hongos seguido de bacterias (Ferreira *et al.*, 2005). El estudio con bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre *Botrytis cinérea* en poscosecha, los resultados indicaron que la concentración de 1% de  $\text{KHCO}_3$  inhibió por completo el hongo en un tiempo de 6 días, seguido de la concentración de 0.5% que inhibió el 65% (Bombelli y Wright, 2006).

Ochoa *et al.*, (2009) evaluaron el efecto de recubrimiento de cera de candelilla y como activo antioxidante el ácido elálgico en el fruto de manzana, el resultado obtuvo significancia estadística, el recubrimiento de estos componentes bioactivos, mantuvo el epicarpio en buen estado sin presencia de patógenos. Morales (2018) comprobó la técnica realizando el mismo procedimiento en el fruto de tomate y observó que durante 10 días los frutos sin tratar estaban en su punto final comestible, mientras los frutos tratados se extendió hasta los 25 días, por otra parte los frutos sin tratar presentaban daños de pérdida de turgencia con daños por microorganismos y patógenos no apto para comercialización a los 25 días, en comparación con los frutos tratados que presentaban apariencia firme y comestible hasta el día 45.

#### **4.11. Estudios con nanopartículas.**

El experimento se llevó a cabo en el centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM (CNyN) en Ensenada, Baja California, estudios en la actividad de nanopartículas de cobre en la vida de anaquel del fruto de papaya (*Carica papaya*), este estudio se realizó escogiendo frutos sanos, los métodos fueron dos tratamientos de 10 mM y 30 mM, asperjándolo de NPs Cu, sintetizadas en extracto de algas y envolviendo la papaya con papel especialmente de uso en el mercado, teniendo en cuenta al testigo, esto se

visualizó durante 10 días y cada 24 horas, eso se realizaba para ver si no presentaban algún micelio que terminara con la vida del fruto.

En efecto la aplicación de 10 mM de NPs de Cu, tuvo un efecto positivo en cuando a la vida de anaquel del fruto de papaya, el cobre actuó de forma fúngica sintetizando la parte del epicarpio del fruto como oxidación y reducción (Betanzos, 2017).

En la investigación que se llevó a cabo en injertos se realizaron aplicación de NPs de Cu en el sustrato del cultivo, utilizando variedades de pepino induran RZ F1 y el híbrido de calabaza criolla (*Cucúrbita máxima*) utilizado como portainjertó, las variables fueron, sin injerto y sin NPS, con injerto y sin NPs, sin injerto y con NPs por ultimo con injerto y con NPs, la firmeza del fruto se mejoró con el tratamiento sin injerto con NPs de Cu, es decir 47% más de firmeza en sus frutos, en cuando al peso del fruto obtuvo se encontraron respuestas similares entre las plantas sin injerto con NPs y con injerto y NPs de Cu, mientras que la longitud de la raíz fue superior con injerto sin NPs de Cu.

El área foliar (cm<sup>2</sup>) y el rendimiento mostraron diferencias significativas en las variables con injerto y con NPs de Cu. Los investigadores concluyeron que las nanopartículas de cobre tienen un efecto positivo en la calidad de los frutos (Hernández *et al.*, 2018).

#### **4.12. El cobre**

La planta como todo organismo requiere de ciertos elementos como de cuidado para su desarrollo, en este caso hablaremos de los elementos menores, que son minerales metálicos requeridos en mínimas concentraciones, como es el caso del hierro (Fe), zinc (Zn), selenio (Se), boro (B), manganeso (Mn), cloro(Cl), molibdeno (Mo) y el cobre (Cu), estos minerales son encontrados en el mercado de forma quelatados y requeridos para que las plantas expresen su máximo potencial genético, los requerimientos de elementos menores de todo cultivo son suministrado en pocas cantidades expresados en unidades de concentración establecidos en los sistemas de medición internacional, como factor en partes por millón (ppm), milimol por litro (mMol L), miliequivalente por

litro (meq L), son suministrado vía riego, foliar o de forma sinérgica (Steiner, 1984).

El cobre es un metal clasificado en la columna de la tabla periódica como el segundo material conductor de electricidad y térmico, este material es considerado noble con el medio ambiente, es de un color rojizo y se pueden encontrar en suelos, piedras, agua y aire, su medio de extracción en el suelo conlleva varios procesos, este material es difícil de degradarse en el medio ambiente, debido a su estructura tiene un alto intercambio catiónico. Además, tiene distintos usos, por ejemplo, la elaboración de usos domésticos como utensilios o partes principales de aparatos electrónicos, plantas de luz, monedas, es usado como recipientes y para tuberías de aguas de consumo debido a que elimina los microorganismos malignos y en el uso de las enfermedades en pacientes, es usado en el estudio de las medicinas como también en el área agrícola para la nutrición de plantas y la lucha contra enfermedades (Araya *et al.*, 2014).

El cobre se encuentra como sales en el suelo, es un compuesto llamado sulfato de cobre, por su alta interacción de iones se adhiere fuertemente a la materia orgánica como cualquier otro mineral, este elemento es muy indispensable para la plantas debido a que es uno de los microelementos indispensables que se necesitan para desdoblar las proteínas, actúa en proceso enzimáticos y es muy utilizado en la presencia de enfermedades fúngicas debido a que este producto actúa de manera inmediata y sistémica alterando el núcleos de microorganismo fitopatógenos (Yruela, 2005).

#### **4.13. El cobre en el ambiente**

El cobre se encuentra en el suelo en forma cúprica (CuII) en su fase sólida relacionado con otros minerales como sulfuro de cobre, como la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) es una combinación de hierro, azufre y cobre, calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covellina ( $\text{CuS}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) es un sulfuro de hierro y cobre, tetraedrita ( $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) es un antimoniosulfuro de hierro y de cobre, y la enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) (Palmer, 2009).

En la solución del suelo se encuentra en ion cúprico  $\text{Cu}^{2+}$  y para que la planta lo pueda asimilar se reduce a  $\text{Cu}^{+1}$  teniendo una interacción iónica con las sustancias húmicas del suelo. Cuando se tiene deficiencia de Cu en el suelo se aplica los sulfuros de forma de sulfato cuproso ( $\text{SO}_4\text{Cu}_2$ ), sulfuro férrico-cuproso ( $\text{S}_2\text{FeCu}$ ), sulfuro cuproso ( $\text{SCu}$ ) y sulfato de cobre (II) pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (Palmer y Guerinot, 2009).

#### **4.14. Formas de absorción del cobre**

El cobre es absorbido de forma  $\text{Cu}_2^+$  de manera natural o aplicada sintéticamente, lo integran por medio de las enzimas especialmente oxidasas, el rango óptimo en concentraciones de cobre va de 5-20 ppm dependiendo de la especie, en cuando a este rango puede ser deficiente como toxico para la planta. La cantidad de cobre que se encuentra en un suelo agrícola es de 10 a 200ppm tomando en cuentas los residuos de plaguicidas entre fertilizantes del cultivos anteriores, esto va dependiendo en la textura del suelo, estudios dicen que el 0.001 a 0.002 ppm se encuentra de forma asimilable para la planta, estudios mencionan que menos de 6 ppm de cobre se encuentra en un suelo deteriorado, mientras que en suelos con materia orgánica se encuentran a menos de 30ppm, estas cantidades son mínimas por lo tanto se tiene deficiencia de este microelemento (León y Sepúlveda, 2012).

#### **4.15. Síntomas de deficiencia de cobre en las plantas**

El cobre tiene un rango de disponibilidad en base al pH, tal es el caso del suelo que es de 4.7-7.2 y en sustratos de 5.4-6.5, es limitado en suelos alcalinos, también sufre la absorción de cobre a causa del antagonismo como las concentraciones altas de P, Zn y Fe baja en la absorción en la planta y en los macronutrientes el exceso de N causa la deficiencia de Cu inhibiendo su absorción (López *et al.*, 1996).

La deficiencia de Cobre en las plantas se presenta como entrenudos cortos, plantas con manchas cloróticas (amarillas) en la parte del ápice, presentan un pequeño enrollamiento parecido a un estrés hídrico, en la etapa de

floración y amarre de frutos tienden a abortar debido a que es un elemento inmóvil, la carencia de este elemento son en suelos altamente calcálicos (Dell, 1981; Barceló y col., 2001; Burkhead y col., 2009). La deficiencia de este elemento influye en la polinización como en el caso de los cereales donde presenta una disminución del llenado de grano y en la estabilidad de la membrana lo que existe repercusiones en la fotosíntesis (Agarwala *et al.*, 1980).

Los principales factores de los suelos que afectan la asimilabilidad del microelementos son pH, M.O., textura, actividad microbiana, drenaje, el régimen hídrico y las condiciones de oxidorreducción. La disminución como alto contenido de cobre causa un desbalance en la síntesis de las enzimas lo que ocasiona una inestabilidad entre los elementos nutricionales como el exceso de este elemento causa deficiencia de hierro, la oxidación de lípidos y proteínas es un indicador del daño oxidativo generado por el exceso de cobre (Cuyper *et al.*, 2000; Ali *et al.*, 2006; Tewari *et al.*, 2006).

#### **4.16. Las nanopartículas de cobre en el cultivo de tomate**

La aplicación de elementos minerales metálicos al cultivo juega papeles importantes en el desarrollo fisiológico y fenológico del cultivo, debido a que son indispensables en el desdoblamiento de proteínas como de hormonas, debido a estos minerales se observan diferencias en la calidad del producto como de vida de anaquel. Genéticamente la planta tiene distintas resistencias como sus fisiopatías, estas se expresan siempre y cuando a la planta se le suministre la nutrición necesaria y el cuidado adecuado (Markert, 1994).

Debido a la salinidad que presenta la mayor superficie de suelo agrícola, comúnmente suelos desérticos, se han realizados estudios sobre los cultivos con la aplicación de nanopartículas de cobre, generalmente de manera foliar con fines de reducción de estrés al cultivo, específicamente para el cultivo de tomate, la nanopartícula de cobre inducen la formación de compuestos bioactivos como las vitaminas C y licopeno, la nanopartícula de cobre tiende a disminuir los compuestos antioxidantes causado por el estrés salino, por lo tanto la aplicación

de nanopartículas de cobre al cultivo de tomate tiene un efecto positivo en la calidad del fruto y en la dieta humana (López, 2017).

El experimento en la aplicación de hidrogeles de quitosán-PVA en la concentración NPs de Cu en hidrogeles de quitosán-PVA aplicado al sustrato y su respectivo testigo, nos afirma un efecto positivo en el peso seco de la raíz y el rendimiento por planta, parámetros relacionados con el vigor de la planta, en cuando al fruto aumento el contenido de Ascorbato peroxidasa (APX), Catalasa (CAT) y Glutación peroxidasa (GPX), generando efectos positivos en antioxidantes, en cuando a al análisis de hojas tuvo un aumento de APX, CAT, GPX, glutación reducido, Fenilalanina amonio liasa (PAL) y fenoles totales (Rivera, 2017).

En tomate tipo bola bajo condiciones en invernadero, se evaluó la aplicación de NPs de cobre introducidas en hidrogeles de quitosán. Las aplicaciones fueron directas al sustrato con 0.02, 0.2, 2.0 y 10 mg L<sup>-1</sup> con su respectivo testigo, en cuando al rendimiento el tratamiento de 10 mg L nCu + Q fue el mejor, con un incremento de 16 % respecto al testigo. En cuanto a la biomasa en el peso fresco y seco de hojas y tallo el tratamiento con 0.02 mg L nCu + Q dio mejor resultado y el peso fresco y seco de la raíz fue con 10 y 2.0 mg L nCu + Q. La nanopartículas de cobre con quitosán ejerce un efecto positivo en el crecimiento, producción y contenido de licopeno (Vásquez, 2016).

#### **4.17. Absorción y transporte del cobre en el interior de la planta**

Existen dos formas diferentes en la absorción de los minerales, el primero es por la vía foliar, es el método de asperjar los productos exógenos a la parte del follaje de la planta, esto es absorbido mediante los estomas de las hojas llegando hasta el mesófilo que se encarga del transporte descendente por la vía xilema, que es un tubo conductor de forma cilíndrico de células muertas con paredes cribosas hasta llegar a la raíz, el segundo es por vía riego directamente absorbidos y tomados por la raíz, se absorbe por los pelos radicales (cofia) y mediante osmosis hasta llegar a la clorofila en donde se sintetiza los nutrientes,

que además se transportan en el interior de la planta por el floema que es un tubo compuesto por células vivas (Álvarez-Fernández y col., 2014).

#### **4.18. Funciones del cobre en las plantas**

El cobre tiene efectos positivos pero también negativos, y actúa en sinergia con el hierro, el magnesio, manganeso y calcio tienen un efecto sinérgico en la síntesis de la clorofila, en la cual conforman dichas enzimas también la plastocianina que se encarga de la interacción de los iones en función al fotosistema I, es catalizador de la enzima polifenol oxidasa encargada de sintetizar los cloroplastos, además de producir lignina en los tallos y la pigmentación de algunos frutos y permeabilidad de las membranas. Además, también interviene en la enzima citocromo oxidasa en su función de oxidación y reducción en el intercambio de iones la cual interviene en la absorción y evapotranspiración de la planta (Marschner, 1998).

El cobre participa en el crecimiento de la planta, actúa en la oxidación de proteínas y lípidos (Ravet y Pilon, 2013). El cobre permite o reprime la activación del proceso fotosintético a nivel genético, ya que disminuye la expresión de los genes que codifican la subunidad grande de la enzima ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa oxigenasa, las proteínas de unión a clorofila a-b, los citocromos b/b6 y de proteínas del centro de reacción fotosistemas I y II (Sudo *et al.*, 2008). El cobre participa hasta un 70 % en la formación y funcionamiento de la clorofila, se dice que por 5mg de cobre presenta 1 kg en el peso seco de la planta, cuando existe deficiencia de este elemento la planta retrasa su crecimiento debido a que se va avejentado y perdiendo la forma de sintetizar los micronutriente (Sierra, 2017).

## **V.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Ubicación y localización**

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero del departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado en Buenavista, Saltillo, estado de Coahuila, México, con las coordenadas geográficas 25°21'21.8" latitud norte y 101°02'11.5" de longitud oeste, a una altitud de 1763 msnm.

### **5.2. Material vegetal**

El material vegetal utilizado en el experimento fue tomate, Variedad Evimeria F<sub>1</sub> de tipo bola, de la empresa SYNGENTA. Este material se describe como un híbrido de crecimiento indeterminado, es una planta genéticamente vigorosa, el fruto tiene un tamaño de 4-5 y 5-5 tiene 8 lóculos con características semiredonda de color rojo intenso brillante, presenta de 5-6 frutos por ramillete de buena calidad, firmeza, sabor, tiene una apariencia brillante y alta resistencia al cracking.

Además de que cuenta con alto paquetes de resistencia HR: Fol-2 (US-3), Ff: A-E, V, Ss, M, TMV:0, ToMV: 0-2, F3, V, M, For, TSWV. IR: TYLCV.

### **5.3. Establecimiento en campo y manejo del cultivo**

La siembra de las semillas se realizó el 18 de Julio del 2017 fue en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de germinación de peat-moss y perlita en proporción 70:30% (v:v), una vez obtenidas las plántulas se prosiguió a cortar la parte del ápice por arriba de las hojas cotiledóneas, con el fin de obtener dos tallos por cada planta (Ver Figura 1).

Posteriormente a los 26 días de germinación se trasplantó siendo el 13 de agosto, en bolis de fibra de coco de la marca Leyton Green House and Supply S. de R.L de C.V. un día antes del trasplante se realizó un lavado del sustrato con

el agua de riego sin nutrientes suplementarios y fue saturando dicho sustrato para limpiar las sales en su interior y balancear el pH.

El marco de plantación fue de 1.8 plantas por metro cuadrado, a doble tallo cada una, la distancia entre plantas fue de 30 cm y entre surcos de 1.8 m dando como resultado una densidad de plantación de 36,000 tallos.

#### **5.4. Eliminación de la yema apical**

Este método nos sirve para estimular la brotación de las yemas laterales o cotiledonarias, se utilizó en este experimento debido a que se necesitaba evaluar plantas a doble tallo. Es más utilizado en árboles frutales que presentan dificultades de ramificar o para obtener un brote especial, sin embargo, también se utiliza en hortalizas como tomate para estimular la brotación de tallos (Escobar y Lee, 2009; Wilson, 2000).



**Figura 1.** Plántula con dos ápices después de la incisión del ápice principal.

#### **5.5. Tratamientos**

Los tratamientos se establecieron bajo un arreglo experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, los tratamientos fueron diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre (NPs

de Cu), aplicadas de manera foliar sobre el cultivo de tomate; 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm y 20 ppm, se establecieron cuatro plantas por repetición a doble tallo cada una, y se evaluaron 8 tallos por repetición.



**Figura 2.** Repetición cuatro plántulas por boli de fibra de coco.

### **5.6. Nutrición del cultivo**

Se trabajó con la solución nutritiva Steiner (Steiner 1961). En 5 contenedores de 200 L de acuerdo a sus respectivos fertilizantes y ácidos disueltos. Programado con un timer, el porcentaje de la solución nutritiva se basó de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, a los 26 días después del trasplante (8 de septiembre) se le aplicó por primera vez fertilizante para su desarrollo, aplicándole únicamente fosfato monoamónico (MAP) lo cual contiene 12-60-00 (N-P-K), Con la finalidad de estimular la formación radicular de la etapa de arraigo de la planta, posteriormente los día 12 y 15 de Septiembre se volvió a aplicar el mismo fertilizante, a los 35 días después del trasplante (17 de Septiembre) de la etapa fenológica del cultivo se fertilizo con solución nutritiva tipo Steiner a una concentración del 50%, a los 63 días después del trasplante (15 de Octubre) con el 75% y al 100% a los 80 días después del trasplante (01 de Noviembre).

## 5.7. Labores culturales

Durante el desarrollo del cultivo se realizó la poda de formación que consistió en eliminar todos los brotes laterales y las primeras hojas dejando solamente una hoja por debajo del primer racimo, además de la poda de hojas que consiste en eliminar las hojas viejas bajas, con el fin de que la superficie de la planta estuviera aireada para evitar enfermedades fúngicas por el microclima que se crea en el área, dejando de 12-14 hojas en cada tallo para estabilizar la absorción de nutrientes y evapotranspiración en base a su desarrollo. Poda de mamones y/o chupones, con la finalidad de que la planta fuera a un solo tallo sin interrumpir su crecimiento debido a que es planta de crecimiento indeterminado.

El primero de septiembre se colocó el tutorado, esta práctica es un medio de sostén para la planta durante su etapa de crecimiento, consiste en manipular a la planta junto con una rafia enrollándolo de una forma cilíndrica, cubriendo desde la base hasta el ápice, cuidando de no enrollar hojas y evitando amarrar el racimo de la planta, dándole de forma zigzagueado por el lado contrario.

La polinización se realizaba todos los días en un horario de 9:30am a 12:30 pm “dependiendo del clima” cuando el polen era fiable de ser movilizado, se utilizaba una vara golpeando la parte del tutorado, esto ejercía el movimiento de las plantas, esta labor ocasionaba el 100% de amarre de frutos.

La práctica de raleo consistía en eliminar una cantidad excesiva de fruto por cada racimo que presentaba, esta práctica tiene distintos fines, el trabajo consistía en dejar 5 frutos por cada racimo a evaluar.

Eliminación del ápice principal, esta variedad de Evimeria F1, es un cultivo de crecimiento indeterminado, debido a la evaluación se dejó hasta cinco racimos por cada tallo, es decir, diez racimos por planta lo que se procedió a eliminar la parte del ápice una vez había ocurrido el amarre del fruto, dejando cada racimo hasta su llenado fruto.



**Figura 3.** Imagen izquierdo eliminación del ápice principal de la planta. **Figura 4.** Imagen derecho aspecto del cultivo debido a bajas temperaturas (temporada invernal 5-12°) invernadero sin calefacción.

### **5.8. Control de plagas y enfermedad**

La plaga que se presentó fue la mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), para su control se aplicó CONFIDEL 1mL/L, durante 15 días se aplicó cuatro veces en la etapa de floración y fructificación.

### **5.9. Aplicación de nanopartículas de cobre (NPs de Cu)**

La aplicación de las NPs de Cu se hizo en tres ocasiones en el ciclo del cultivo; mediante aspersión foliar de la planta completa con las dosis marcadas para cada tratamiento y sus respectivas repeticiones. La primera aplicación se realizó a los 46 días después del trasplante (día 28 de septiembre) al inicio del segundo racimo de floración, la segunda aplicación se realizó a los 66 días después del trasplante (18 de octubre) al cuarto racimo floral formado, transcurriendo 20 días de la primera aplicación y la última aplicación fue a los 78 días después del trasplante (30 de octubre) al quinto racimo formado, transcurriendo 12 días de la segunda aplicación (se descabezo después del quinto racimo formado debido a las bajas temperaturas, para obtener llenado de frutos a evaluar). Para evitar mezclas en los tratamientos se colocó un cartón para evitar la aspersión de otras plantas con su respectivo tratamiento.

### 5.10. Cosecha

La primera cosecha se llevó a cabo a los 105 días después del trasplante (26 de Noviembre) de desarrollo de la planta, se obtuvieron dos frutos por cada planta con coloración uniforme, es decir coloración en número 5 o rojo claro (del 60% al 90% de la superficie tiene color rosado/rojo o rojo) de acuerdo a la norma NMX-FF-031-1997-SCFI (Norma Mexicana para el tomate, 1998) , la segunda cosecha se realizó a los 115 días después del trasplante (06 de Diciembre), obteniendo dos frutos por cada planta.



**Figura 5.** Primer llenado de racimo del tomate bola.

Debido a la helada durante el tiempo invernal (13 de Diciembre del 2017) solo se cosecho hasta el segundo racimo obteniendo dos frutos por cada racimo a evaluar, por lo que las últimas tres muestras no llegaron a su punto de llenado, procediendo a pesarlos y contabilizar todos los frutos de cada una de las plantas de cada repetición (ver Figuras 6 y 7).



**Figuras 6 y 7.** Daños por la helada, rompimiento de células del follaje y del fruto.

Cosecha y orden final de cada tratamiento y sus repeticiones a evaluar, posterior a la cosecha cuando el cultivo no había sido afectado por la helada (Figura 8).



**Figura 8.** Frutos para evaluar las variables morfológicas.

#### **5.11. Variables agronómicas evaluadas**

La distancia entre racimos, esta variable se cuantifico con una cinta métrica de 1m y se midió de un racimo a otro cuantificando la variable en cm.

El diámetro ecuatorial y diámetro polar de fruto, esta variable se obtuvo con un vernier digital de la marca AUTOTEC®.

El grosor del mesocarpo, se midió con un vernier digital marca AUTOTEC®. Se cortaron los frutos por la mitad y se cuantificó el grosor de mesocarpo.

El pH en el fruto, se cuantifico mediante un potenciómetro de la marca pHep®. Modelo HI98107. El procedimiento fue cortar el exocarpo del fruto introduciendo el sensor del potenciómetro dentro de la pulpa del fruto.

La firmeza del fruto, esta se midió con un penetrómetro de 6 mm de diámetro de la marca Fruit Pressure Tester®. Modelo FT-327 de 13 km/cm<sup>2</sup> con una puntilla de 3mm de diámetro. Sobre el exocarpo del fruto se colocó la punta del penetrometro que es el sensor de medición contra el fruto presionandolo una sola vez my en una sola ejecución permitiendo que la puntilla rompía la capa externa del fruto y se tomaba el dato.

El contenido de sólidos solubles totales se contabilizó con refractómetro de la marca ATAGON-1E ®, expresado en grados brix (°Brix). Se cortó en trozos el tomate y se exprimó el jugo después se colocó una gota en la parte del sensor óptico del refractómetro.

Los gramos de fruta cosechada por planta, se obtuvo pesando los frutos en una balanza digital de precisión SARTORIUS modelo TS1352Q37, también se contabilizó el número de frutos totales, el peso promedio de fruto se obtuvo dividiendo el peso total de los frutos entre el número total de frutos por planta.

### **5.12. Diseño experimental y análisis estadístico**

El arreglo experimental y análisis estadístico fue completamente aleatorizado con cinco tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, se analizó en el programa SAS versión 9.0 y se utilizó la prueba de medias LSD ( $P \leq 0.05$ ).

## VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

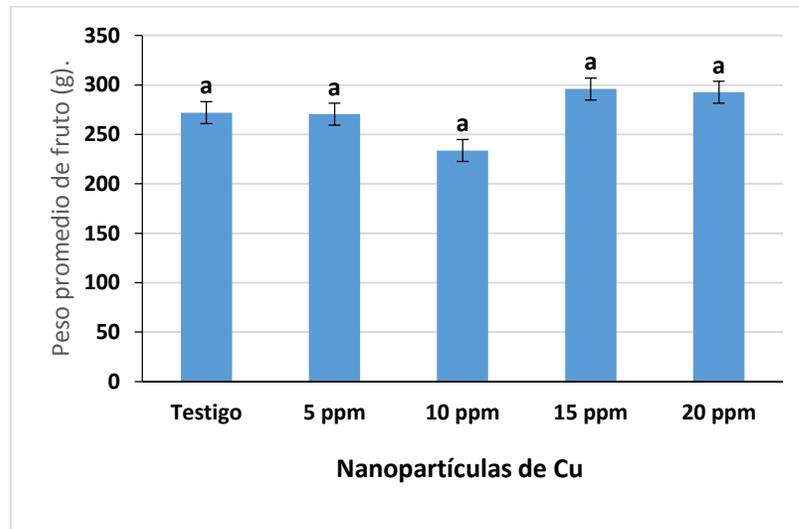
El análisis de varianza no mostro significancia estadística entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ) para ninguna de las variables evaluadas, tal como se muestra en el Cuadro 1, mas sin embargo en la variable de gramos de fruto cosechado por planta destacó el testigo y la aplicación de 5 ppm de NPs de Cu con 5346.6 y 5340.3 g, en la distancia entre racimos se observó un comportamiento similar entre tratamientos, el diámetro ecuatorial de fruto también fue superior en el testigo y se observó una tendencia en la que a medida que aumenta la concentración de NPs de Cu se disminuye el diámetro ecuatorial de fruto, en cuanto a diámetro polar de fruto se observó una tendencia similar al anterior, el pH y grosor del mesocarpio no hubieron cambios sustanciales.

**Cuadro 1.** Varianza y comparación de medias de variables evaluadas en tomate bola tratado con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre por aplicación foliar.

Tratamientos (NPs de Cu)	FP (g)	DER (cm)	DEF (mm)	DPF (mm)	pH	GM (mm)
0 ppm	5346.6 a	24.656 a	75.03 a	56.22 a	5.42 a	9.62 a
5 ppm	5340.3 a	26.71 a	72.61 a	56.78 a	5.43 a	8.84 a
10 ppm	4875.9 a	25.51 a	73.43 a	54.52 a	5.40 a	8.78 a
15 ppm	4831.7 a	24.92 a	72.08 a	55.63 a	5.45 a	9.08 a
20 ppm	4751.7 a	25.01 a	69.77 a	55.18 a	5.45 a	8.85 a
ANOVA $P \leq$	0.4397	0.3613	0.668	0.8113	0.8433	0.4769
C.V. (%)	11.47	5.89	6.83	5.08	1.43	7.91

DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= diámetro polar de fruto, GM= grosor del mesocarpio. CV= coeficiente de variación, FP= fruto por planta, DER= distancia entre racimos, Medias seguida de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales ( $LSD \leq 0.05$ ).

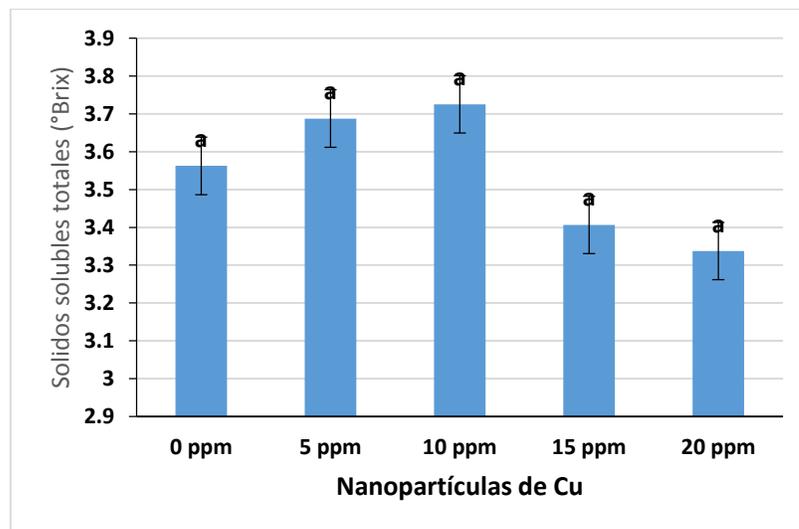
Aunque no existió significancia estadística entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ), para la variable de peso promedio de fruto (Figura 9), cabe señalar que el tratamiento con 5 ppm de NPs de Cu obtuvo el mismo peso que el testigo, no obstante, el tratamiento con 15 ppm expresó el mayor peso promedio de frutó con 295.94 g seguido del 20 ppm, mientras tanto el menor peso promedio de fruto fue con 10 ppm de NPs de Cu. Lo anterior señala que las nanopartículas de cobre aplicadas de forma foliar al cultivo de tomate, no genera efecto significativo en la acumulación y ganancia de peso de los frutos.



Cultivo de Tomate con NPs de Cu.

**Figura 9.** Cambios en el peso promedio de fruto respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm aplicadas al cultivo de tomate. Comparación de medias entre tratamientos ( $LSD \leq 0.05$ ) para la variable peso promedio del fruto.

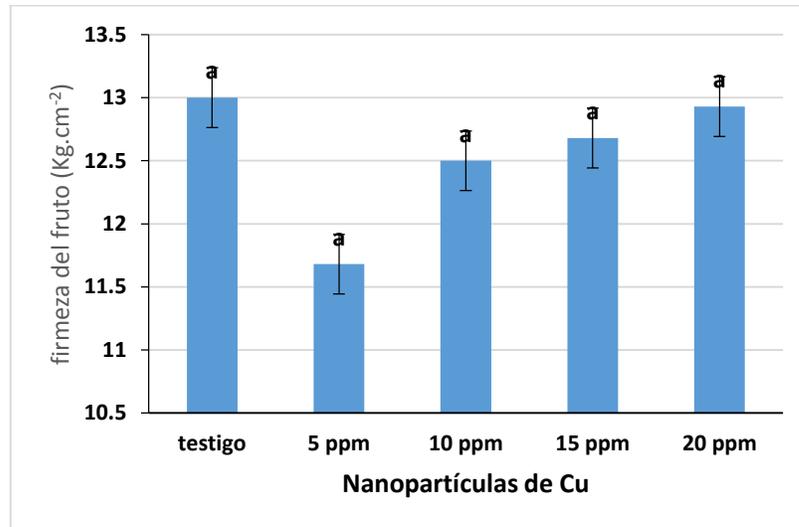
Aunque no existió significancia estadística entre tratamiento ( $P \leq 0.01$ ), en la variable de sólidos solubles totales en fruto o °Brix (Figura 10), es posible observar que el tratamiento de 10 ppm fue el mejor, ya que mostro el mayor contenido de sólidos solubles totales con 3.72 °Brix y superó al testigo en 4.6%, mientras que el tratamiento con 20 ppm de NPs de Cu fue el más bajo con 3.33 °Brix, es decir 11.8% menor a 10 ppm. Al mismo tiempo se observó una tendencia de incremento mientras se aumenta la concentración sin embargo cuando la concentración es mayor a 11 ppm de NPs de Cu se observa un decremento. Por tanto, se puede aseverar que las nanopartículas de cobre no causan efecto benéfico respecto al contenido de sólidos solubles totales.



Cultivo de Tomate con NPs de Cu.

**Figura 9.** Sólidos solubles totales del tomate respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm. Comparación de medias entre tratamientos con nanopartículas de cobre ( $LSD \leq 0.05$ ) para la variable sólidos solubles totales.

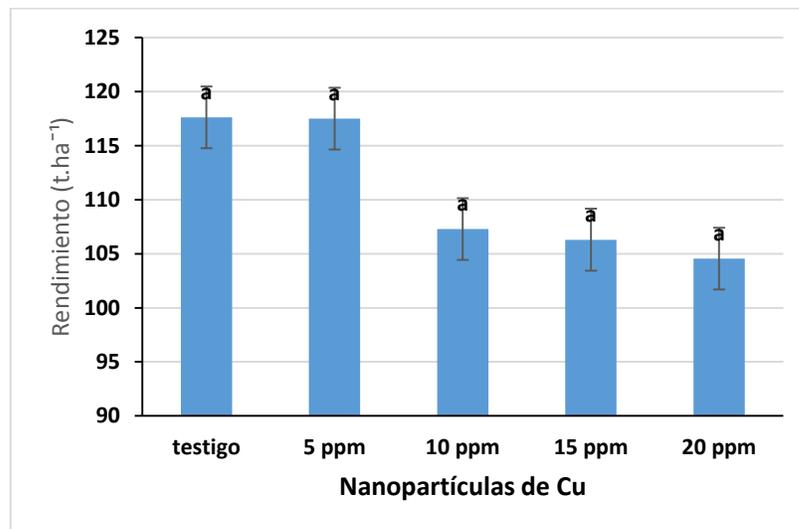
En cuanto a firmeza del fruto no hubo significancia estadística entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ), sin embargo se observó que las aplicaciones de nanopartículas de cobre ejercen un efecto de incremento mientras se incrementa la concentración de aplicación (Figura 11), siendo el tratamiento con 20 ppm de NPs de Cu y el testigo los que mostraron mayores valores respecto a la firmeza del fruto.



Cultivo de Tomate con NPs de Cu.

**Figura 9.** Firmeza del fruto respecto a la concentración de NPs de Cu en ppm. Comparación de medias entre tratamientos con nanopartículas de cobre (LSD  $\leq 0.05$ ) para la variable firmeza de fruto.

El rendimiento calculado en toneladas por hectárea, no mostro diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ), como se observa en la Figura 12, no obstante se observó una tendencia de decremento, en la que a medida que se incrementa la concentración de nanopartículas de cobre el rendimiento calculado por hectárea disminuye, en este sentido los mayores rendimientos se obtuvieron con la concentración de 5 ppm de NPs de Cu y el testigo, esto de acuerdo a la prueba de  $LSD \leq 0.05$ , con 117.48 y 117.62 toneladas por hectárea respectivamente y superaron a la concentración más alta en 12%, el rendimiento más bajo fue con la concentración más alta de nanopartículas de cobre, es decir, con 20 ppm y 104.53,  $t.ha^{-1}$  respectivamente. Por lo tanto, mientras más alta sea la concentración de NPs de cobre aplicadas de forma foliar, el rendimiento por hectárea se ve disminuido ligeramente, por lo tanto se puede inferir que las nanopartículas de cobre ejercen un efecto ligeramente negativo en el rendimiento del cultivo de tomate o al menos para la variedad utilizada como modelo biológico. No obstante, es importante considerar otros beneficios que pudiese desencadenar la aplicación de estos nanonutrientes.



Cultivo de Tomate con NPs de Cu.

**Figura 9.** Rendimiento del tomate respecto a la concentración de las NPs de Cu en ppm aplicadas foliarmete. Comparación de medias ( $LSD \leq 0.05$ ) para la variable rendimiento calculado en toneladas por hectárea.

## VII.- CONCLUSIONES

- Las aplicaciones foliares de nanopartículas de cobre no ejercieron efectos benéficos en el cultivo de tomate bola cultivado en fibra de coco, por lo que su utilización resulta similar, por tanto, se recomienda explorar otro tipo de aplicaciones u otro tipo de efectos benéficos posibles en los que pudiese ser aprovechadas.
- A medida que se incrementó la concentración de nanopartículas de cobre se redujo el rendimiento y sus componentes.
- Los resultados encontrados probablemente se debieron al ambiente bajo los cuales se desarrolló el experimento, ya que el plástico del invernadero fue con 30 % de sombreo y altamente difuso con protección UV-3.

## VIII.- LITERATURA CITADA

- Alpi, A., F. Tognoni. 1991. Cultivo en invernadero 3<sup>o</sup> Edición. Editorial Mundi-Prensa. 2-3 April, pp. 121-128.
- Álvarez, F. A., Díaz B. P., López M. A. A., Abadía J. 2014. Metal species involved in long distance metal transport in plants. *Front. Plant. Sci.* 5 (105):1-20.
- Andaluz, J. Sánchez J. 2006. Nanotecnología en España. Revista de investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología. Nanociencia y Nanotecnología I, Enero-Febrero de 2006, No. 34.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Edición Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Araya M, Olivares M, Pizarro F. 2014. COBRE. Salud, Medio Ambiente y Nuevas Tecnologías. Comunicación latinoamericana. Editor Hernán Sierralta Worstman.
- Armstrong, LD, AR Stiles. 1973. Pesticides: Nomenclature, specifications, analysis, uses and residues in food. *Bull wld Hlth Org* 49: 169-204.
- Azcón, J., Talón M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. Impreso en España. pp. 377-395.
- Azcón, J., Talón M. 2000. Fundamentos de la fisiología Vegetal. Primera edición. Edición universitaria de Barcelona, Barcelona España 2003.
- Dell, B. 1981. Male sterility and anther Wall structure in copper-deficient plants. *Ann. Bot.* 48(5): 599-608.
- Betanzos, R. 2017. "Efecto de las nanopartículas de cobre (Cu) en la vida de anaquel de *Carica papaya*". (Tesina). Universidad Tecnológica de la Selva. Ocosingo, Chiapas.
- Bolaños, H. 1998. Introducción a la Olericultura, Primera Edición, San José Costa Rica.
- Bombelli, E.C. and Wright, E.R. 2006. Tomato fruit quality conservation during postharvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinerea*. *Cien. Inv. Agr.* 33(3): 197-203.

- Boulard, T. and A. Baille. 1993. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of ventilation and evaporative cooling. *Agricultural and Forest Meteorology* 65. Pp. 145-157.
- Canavás, M. F., Fernández F., Cuadrado G. 1999. Sistemas hidropónicos. In: Cultivo sin suelo 2. Curso de especialización superior. Edición: Caja Rural de Almería. Andalucía, España. Pp. 223-244.
- Castañeda, M. Ramos V., Peniche R., Herrera G. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*. Pp. 317-335.
- Chaib, J., Devaux, M.F., Grotte, M.G., Robini, K., Causse, M., Lahaye, M., y Marty, I. 2007. Physiological relationships among physical, sensory and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*, 581: 1915-1925.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y Fisiología de la planta. In. F. Nuez. Ed. En el cultivo de tomate. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 43-91.
- Davies, P. 2004. Regulatory factors in hormone action: level, location and signal transduction. En: DaviesPJ. Edición: plant hormones: Biosynthesis, signal transduction. Dordrencht, Kluwer Academic; pp. 16-35.
- ENA-INEGI. 2018. Encuesta Nacional Agropecuaria. Conociendo el campo Mexicano. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/ena2017\\_pres.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/ena2017_pres.pdf)
- Escobar, H. Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. V.2. Ed. 2. Bogota, Colombia. Pp. 180.
- FAO. 2019. Tierras Agrícolas. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.TOTL.K2?view=chart>
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. 2018. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentado la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. FAO, Roma, Italia.

- Ferreira, M.D., Franco, T.O., Kasper, R.F., Ferraz, A.C., Honorio, S.L., Y Tavares, M. 2005. Post-harvest quality of freshmarketed tomatoes as a function of harvest periods. *Scientia Agricola (Piracicaba)* 62(5), 446-451.
- FIRA. 2017. Panorama Agroalimentario. Obtenido de Fideicomisos Instituidos en Relacion con la Agricultura: disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Tomate%20Rojo%202017%20(1).pdf
- Franhenberger, J., Arshad M. 1995. Phytohormones in soil. Microbial production and function. Marcel Dekker, inc. Mew York.
- Guardado, R., Agustín M., Herrera A. 2017. El uso de drones en ciencia de la tierra. *Ciencia y Tecnología Universitaria*. Universidad tecnológica de Nuevo León. ISSN: 2007-7750.
- Hernández, D. 2018. Producción y Micromorfología de Pepino Injertado (*Cucumis sativus L.*) Cultivado con nanopartículas de Cobre. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. 2017. encuesta Nacional Agropecuaria. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía y disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/agricultura/>
- Jamarillo, N. J., V. Rodríguez P., M, Guzmán A., M. Zapata y T. Rengifo M. 2007. Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. CORPOICAMANA-GOBERNACION DE ANTIOQUIA.FAO. pp. 331.
- Jankiewicz, L. 1998. Desarrollo Vegetal, Sustancias Reguladoras. Universidad Autonoma de Chapingo. Colección cuadernos universitarios. Serie Agronomía N.º1. 16. Segunda edición del 2000.
- Kabata, P. A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. Pp. 365-413.
- León, M., Sepúlveda J. 2012. El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. *Interciencia*. 37- 11-16.

- López, E. 2017. Aplicación foliar de nanopartículas de cobre en plantas de tomate a estrés salino. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- López, G. J., Segovia C. 1996. La fertilización. En: Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustrato. Fundación Argentaria-Visor Distribución, Madrid, P. 95-110.
- Magan, C. J. J., Fernández F., Cuadrado G. 1999. Sistema de cultivo en sustrato: la solución, perdida y circulación de lixiviado en cultivo sin suelo, Cursos de especialización superior. Caja Rural de Almería. Andalucía, España. Pp. 189-207.
- Marschner, H. 1998. Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego, pp. 1889.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. New York. Academic Press.. 2:889.
- Maher, S. 2010. Fullerenes and Nanotechnology. Royal Society of Chemistry Publishing. RSC Nanoscience y Nanotechnology 13: 56-63.
- Markert, B. 1994. The biological system of the elements (BSE) for terrestrial plants glycophytes. Sci Total Environ 155: 221-228.
- Margie, B. C. 2006. Investigacion social. The texas AyM University system, E.U. Texas.
- Molocho, L., y Orbegoso, L. Y Coraly, L. 2017). Evaluacion del efecto de un recubrimiento a base de sabila (*aloe vera*) y aceite esencial de canela (*cinnamomum verum*) en el tiempo de vida util del tomate (*lycopersicum esculentum mill*) roma. Lambayeque-2016.
- MORALES, G.C. (2018). Ácido elágico como tratamiento para prolongar la vida útil de productos poscosecha enteros y/o procesados.
- Mork, M. 1994. Cytokinins and plant development. Chemistry, activity, and function. Pp. 155-166.
- Mulero, A. Suero M. A., Vielba A., Cuadros F. 2002. El sistema internacional de unidades en el supermercado. Revista Española de Física, 16(5):41-45.

- Nidumolu, R., Prahalad C. K., Rangaswami M. R. 2009. Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard Business Review*. 87(9): 57-64.
- Taniguchi, N. 1974. "On the Basic Concept of Nano-Technology," *proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering*.
- Ochoa-Reyes E., Charles-Rodríguez A.V., Saucedo-Pompa S., Aguilar C.N. (2009). Incremento en la calidad y vida de anaquel de manzanas recubiertas con cera natural a base de dos componentes bioactivos, *VII Simposio Internacional de Producción de alcoholes y levaduras*, 1.
- Palmer, C. M., Guerinot M L. 2009. Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Nat. Chem. Biol.* 5 (5):333-340.
- Pire, R. y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 15(1): 55-63.
- Phinney, B. 1983. The history of Gibberellin. *The Biochemistry and Physiology of Gibberellins*. Vol II. A crozier. Ed. Praeger, New York. Pp. 19-52.
- Prieto, G. F., Martínez P. F. H., Méndez M. A., Prieto M. J. 2007. Presencia de metales pesados en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, Valle del Mezquital, México, por riego con aguas negras. *Revista Latino Americana Recursos Naturales*. 3:100-111.
- Ravet, K., Pilon M. 2013. Copper and iron homeostasis in plants: the challenges of oxidative stress. *Antioxid. Redox. Sig.* 19 (9):919-932.
- Rivera, Y. 2017. Aplicación de Nanopartículas de Cobre y su Efecto en el Contenido de Antioxidantes de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Rodríguez, A. 1997. *Cultivo Moderno del Tomate*. Edición Mundi-Prensa. Madrid España.
- Ruelas-Chacon, X., Reyes-Vega, M., Valdivia-Urdiales, B.C. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 31-37.

- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional. Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA-INEGI. 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria. Obtenido de [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especial/es2015\\_08\\_8.pdf?fbclid=IwAR0-d8w-M-WcZ\\_kUrZUJ6pV\\_WQWYzNE2SoGxfVF6ZeLD9KG3jttO0kdiGTw](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especial/es2015_08_8.pdf?fbclid=IwAR0-d8w-M-WcZ_kUrZUJ6pV_WQWYzNE2SoGxfVF6ZeLD9KG3jttO0kdiGTw)
- SAGARPA-SENASICA, 2016. Lineamiento general para la implementación de sistemas de reducción de riesgos de contaminación (SRRC). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147124/7SRRC-SENASICA.pdf>
- SAGARPA-SIAP, 2017. Atlas Agroalimentario. Obtenido de Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca: <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/?fbclid=IwAR0GQ-glxUIHv3rF-kSIVbgexjsJ7fKN63bF0XKA8i7Bqfsnqu6DUFi9yppg#p=99>
- SAGARPA, 2018. *Los cinco productos que más se producen en México*. Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/los-cinco-productos-que-mas-se-producen-en-mexico?idiom=es>
- SIAP, 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2018. Primera edición 2018. Impreso y hecho en México. Pp. 92-93.
- Sierra, C. 2017. Una mirada a la relación entre el cobre, el suelo y las plantas. *Prensa-el mercurio*. Artículo 1 de 1.
- Soria, F. 1993. Producción de hortalizas en la península de Yucatán. SEP-D.G.E.T.A. México. Pág. 28.
- Sponsel, V., Hedden P. 2004. Gibberellin biosynthesis and inactivation. *Plant hormones Biosynthesis, signal transduction, action*. Kluwer Academic publishers. Ithaca, NY, U.S.A. pp. 63-94.
- Steiner, A. A. 1984. The Universal Nutrient Solution. ISOSC Proc. 6th International Congress on Soils Culture. pp. 633-650.

- Torres, D. 2012. Aplicaciones de los Smartphone y la web móvil en la ciencia y la investigación. Anuario Think. EPI. 6: 305-308.
- Vásquez, M. 2016. Efecto de las Nanopartículas de Cu Introducidas en Quitosan Sobre el Crecimiento, Desarrollo y Contenido de Licopeno en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Invernadero. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Wilson B.F. 2000. Apical control of branch growth and angle in woody plants. American Journal of Botany. 87: 601-607.
- Weaver, J. 1990. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Editorial Trillas, México. pp. 358-400.
- Went, F., Thimann K. 1937. Phytohormones. New York. The Macmillan Company.
- Yescas, C., Segura C., Orozco V., Enríquez S., Sánchez S., Frías R., Montemayor T., Preciado R. 2011. Uso d diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiv58149393iados en la producción de tomate. Terra Laninom. pp. 441-448.
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. Plant physiol. 17 (1): 145-156.