

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación de Silicio y NPs de Cu para Inducir Tolerancia a *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en Plantas de Tomate

Por:

**JOSÉ ALFREDO REYNA GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación de Silicio y NPs de Cu para Inducir Tolerancia a *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en Plantas de Tomate

Por:

**JOSÉ ALFREDO REYNA GONZÁLEZ**

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Antonio Juárez Maldonado

Asesor Principal


  
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Coasesor

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2018

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres:**

Al señor Jacinto Reyna Cano y a la señora Sara González Rosas, con todo cariño a ustedes que me dieron la vida y por darme los mejores consejos y regaños que sin ellos no hubiera llegado hasta donde estoy ahora. Al igual agradezco todo su apoyo y gran esfuerzo que hicieron para que este sueño se hiciera realidad. De ustedes aprendí a tener el coraje para no dejarme derrumbar a pesar de tantas dificultades que se me han presentado durante la vida.

### **A mis hermanos**

Juan Reyna González y Heriberto Reyna González, por todo su cariño y apoyo que me han dado durante toda la vida y ser parte de este gran sueño, por todos sus consejos y ánimos que me dieron para acabar esta etapa.

### **A mis hermanas**

Elizabeth Reyna González y Selena Reyna González, por todo su apoyo, cariño y consejos que me han dado durante la vida y en mi etapa de la universidad, que me sirvieron como aliento para seguir adelante. Selena por ser la más pequeña, dedico mucho esfuerzo en esto para que estés orgullosa de mí por aprovechar la oportunidad que me dieron, además para ser un ejemplo a seguir para que tú también le echés muchas ganas y logres muchas cosas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al apóstol San Judas Tadeo y a Dios por darme la vida y por tener esa gran fe que siempre sentí y siento que me apoyan cuando estoy en dificultades y en todo momento.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme realizar mis estudios en esta gran institución tan reconocida, por todo el apoyo que me brindo durante toda mi carrera y por toda la formación que recibí dentro de sus aulas y de sus profesores tan reconocidos.

Al Dr. Antonio Juárez Maldonado que aunque no me conocía, me dio su confianza para realizar este proyecto y por todo su apoyo que recibí durante este.

A Claudia Francely Cumplido Najera por todo su apoyo para realizar este proyecto

A Yolanda González por su apoyo para poder llevar a cabo este proyecto.

A Elvia Rosa Segura Peinado por todo su cariño, apoyo, afecto y por todos sus ánimos para terminar esta etapa.

A Gerardo Aragón Abraham por su amistad y apoyo durante la carrera.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivo específicos .....	3
1.3 Hipótesis .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Nanotecnología .....	4
2.1.1 Nanotecnología en la agricultura .....	5
2.1.2 El cobre en la agricultura.....	6
2.1.3 NPs de Cu.....	7
2.2 Origen .....	8
2.3 Importancia económica .....	8
2.5 Estrés biótico.....	11
2.6.1 Enfermedades por bacterias en el cultivo del tomate.....	13
2.7 <i>Clavibacter michiganensis</i> Subsp. <i>michiganensis</i> .....	14
2.7.2 Origen .....	15
2.7.3 Síntomas característicos en tomate.....	15
2.8 Epidemiología .....	17
2.9 El silicio .....	18
2.9.2 Acciones del silicio para tolerar el estrés de patógenos en la planta .....	19
2.9.3 Efectos del uso del silicio en algunos cultivos.....	20
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	21
3.1 Ubicación del experimento .....	21
3.2 Desarrollo experimental.....	21
3.3 Las labores culturales que se realizaron fueron:.....	22
3.4 Obtención de las nanoparticulas de cobre.....	23
3.5 Obtención del patógeno .....	23
3.7 Variables agronómicas evaluadas .....	24
3.8 Inoculación de plantas con <i>clavibacter michiganensis</i> Subsp. <i>Mich</i> .....	25
3.9 Incidencia y severidad de la enfermedad.....	26
3.10 Calidad de fruta .....	26
3.10.1 Determinación y cuantificación de vitamina C.....	26

3.10.2 Determinación y cuantificación de acidez Titulable .....	27
3.10.3 Determinación y cuantificación de licopeno .....	28
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>30</b>
4.1 Efecto de la aplicación de Nps de Cu y Si sobre variables agronómicas .....	30
4.2 Efecto de NPs de Cu y Silicio en la severidad del patógeno.....	32
4.3 Efecto de NPs de Cu y Silicio en la calidad de fruto .....	34
4.4 Contenido de antioxidantes en plantas de tomate .....	36
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>40</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Clasificación taxonómica del tomate .....	9
Tabla 2. Plagas más comunes en el cultivo de tomate .....	12
Tabla 3. Enfermedades mas comunes en el cultivo de tomate .....	13
Tabla 4. Bacterias más comunes en el cultivo del tomate.....	14
Tabla 5. Taxonomía de .....	15
Tabla 6. Escala de severidad de daño .....	22
Tabla 7. Descripción de los tratamientos .....	24
Tabla 8. Variables agronómicas evaluadas en plantas de tomate .....	32
Tabla 9. Variables de calidad de fruto en plantas de tomate.....	36
Tabla 10. Contenido de antioxidantes en plantas de tomate.....	38

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Síntomas característicos de daño por <i>Clavibacter michiganensis</i> Subsp. mich.....	16
Figura 2. Establecimiento del experimento y colocación del sistema de riego .....	22
Figura 3. Severidad por <i>Clavibacter michiganensis</i> Subsp mich. En plantas de tomate .....	34



## RESUMEN

La investigación se realizó en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se estableció un cultivo de tomate híbrido tipo saladette de crecimiento indeterminado “el cid” bajo condiciones de invernadero, con el objetivo de evaluar si la aplicación de silicio y NPs de Cu inducen tolerancia a *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en Plantas de Tomate. Se evaluaron los siguientes tratamientos: testigo Absoluto, 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio, 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de silicio, 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de Silicio, testigo patógeno, 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de silicio. Se evaluaron las siguientes variables: rendimiento, número de racimos, número de hojas, altura, peso fresco total, peso seco de hojas, peso seco de tallo, peso seco total, severidad del patógeno, firmeza, SST, pH, C.E, acidez titulable, licopeno, carotenoides en hoja, carotenoides en fruto y vitamina C. Para el desarrollo del experimento se utilizó un diseño al azar con arreglo factorial 3x3 que consto de 15 unidades experimentales por tratamiento. En los resultados se observó que las interacciones de NPs de Cu + Silicio mejoraron las variables agronómicas. En cuanto al rendimiento el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de silicio aumento un 22.13% en el rendimiento con respecto al T. patógeno. En cuanto a la tolerancia del patógeno el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que presento mayor tolerancia al patógeno. Para las variables de calidad de fruto las interacciones de NPs de Cu + Silicio fueron mejores con respecto al T. Absoluto. Para las variables de contenido de antioxidantes, el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio aumento en el contenido de licopeno superando en un 43.75% a ambos testigos. Para carotenoides en fruto, el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio supero al T. patógeno en un 54.54% y al T. Absoluto en un 45.45%. Mientras que en el tratamiento con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de Silicio aumento el contenido de vitamina C en un 13.88% con respecto al testigo absoluto. Para carotenoides en hoja el T. patógeno fue superior con un 33% al T. Absoluto. Se demostró que las aplicaciones de NPs de Cu + Silicio

tienen efectos positivos en variables como el rendimiento, tolerancia al daño por *clavibacter michiganensis*, en calidad de fruto y en el contenido de antioxidantes que son de interés en la planta de tomate y para la salud de las personas.

**Palabras clave:** Tomate, NPs de Cu, Silicio, Estrés biótico, *clavibacter michiganensis subsp. michiganensis*

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida es una parte de la agricultura actual, moderna y competitiva, que permite obtener bajo condiciones artificiales de microclima la producción de cultivos fuera de temporada, esto provocando que los agricultores requieran de una alta productividad para mantener las exigencias de los mercados, lo que implica el uso de una serie de tecnologías que se encuentran dentro del concepto de agricultura protegida (Olivas y Donoso, 2010).

Siendo el tomate una de estas hortalizas que se produce actualmente en este sistema y la cuál es alta mente demandada por el mercado nacional y de exportación dejando grandes ingresos y empleos para el país (FIRA, 2016).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de América del Sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile; sin embargo, fue domesticado en México (SAGARPA, 2010). Es una de las especies hortícolas más importante para el consumo humano, y que además está estrechamente relacionado con la salud humana, siendo capaz de reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y de diferentes tipos de cáncer atribuido principalmente a su alto contenido de antioxidantes como: licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos (Bojórquez *et al.*, 2013).

De acuerdo con la dependencia, las ventas de tomate alcanzaron de enero a mayo de 2016, mil 94 millones de dólares, lo que refleja un crecimiento de más de 200 millones de dólares. México es uno de los principales países exportadores y tiene una participación estimada en el mercado internacional de 21 por ciento lo que sitúa a esta hortaliza en el segundo lugar nacional en términos de valor de producción (SAGARPA, 2016).

Actualmente uno de los problemas que más enfrenta dicho cultivo, es el daño por diversas plagas y enfermedades ocasionando grandes mermas en todo el mundo, siendo una de ellas el daño por *Clavibacter michiganensis* (Cáncer bacteriano), una bacteria gram positiva observada por primera vez por E. F. Smith; que causa grandes mermas de hasta un 80% en la producción ya que sus síntomas se

presentan generalmente hasta la etapa de floración donde es difícil o nulo su control (Rodríguez, 2010).

Actualmente la nanotecnología presentada en 1959 por el físico Richard Feynman, explora la posibilidad de manipular el material en átomos individuales con mejores características, trabajos realizados por Pajaro, *et al.* (2013) despiertan un gran interés en la agricultura ya que pretende que con su uso se incremente la producción con un menor costo y se disminuyan pérdidas por factores bióticos y abióticos.

Una de estas tecnologías es el uso de las NPs de Cu. Estudios realizados por Gómez *et al.* (2017) explica que estas se han utilizado como tratamiento para algunas enfermedades de las plantas las cuáles ayudan en la formación de lignina formando una barrera más fuerte que implica la entrada de patógenos.

Por otra parte el silicio es otro elemento del cual se ha tenido grande interés ya que se le ha demostrado que una vez absorbido por la raíz y trasladado por transpiración a las partes aéreas, aumenta su polimerización en los espacios intercelulares y debajo de la cutícula crea una barrera contra el ataque de patógenos, además ayuda a la acumulación de compuestos fenólicos e incrementar la disponibilidad de agua y minerales (Bibi *et al.*, 2018)

## **1.1 Objetivo general**

Determinar si las aplicaciones de Si y NPs de Cu pueden inducir tolerancia sobre *clavibacter michiganensis* en plantas de tomate

## **1.2 Objetivo específicos**

1. Evaluar los cambios en el crecimiento de plantas de tomate con la aplicación de Silicio y NPs de Cu.
2. Evaluar la severidad de daño por patógenos en plantas de tomate tratadas con silicio y NPs de Cu.
3. Determinar el efecto de las aplicaciones de Si y NPs de Cu sobre la calidad de los frutos y el rendimiento del cultivo de tomate infestado con patógenos

## **1.3 Hipótesis**

La aplicación de silicio y NPs de Cu en plantas de tomate, aumentará la concentración de antioxidantes induciendo tolerancia a *Clavibacter michiganensis* y cambios en la calidad de los frutos del cultivo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Nanotecnología

Dar una definición de nanotecnología es difícil ya que existe un sin número de definiciones que utilizan diferentes criterios (Edgar y Foladori, 2010).

La Oficina Nacional de Coordinación de la Nanotecnología (ONCN) de Estados Unidos, define la nanociencia como aquella que “involucra la investigación y el descubrimiento de nuevas características y propiedades de materiales en la nanoescala, cuyo rango va de 1 a 100 nm” y la nanotecnología como “la manera en que los descubrimientos en la nanoescala son puestos a trabajar” (Edgar y Foladori, 2010) .

Otra definición de nanotecnología la encontramos como: la síntesis, el estudio, el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación a niveles atómicos y moleculares a una escala de 1 a 100 nm, de estructuras, dispositivos y sistemas; donde en un conjunto multidisciplinario, su principal función es mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo humano (Pájaro *et al.*, 2013).

Actualmente la nanotecnología es uno de los campos que despierta mayor interés en la investigación en el siglo XXI ya que ha desarrollado productos a partir de nanomateriales cuyo objetivo es sustituir equipo, materiales, reactivos químicos que son costosos y dañinos para el ambiente; estos nanomateriales pueden ser de diferentes tipos como: nanocristales, nanofibras, nanocables, nanopartículas y nanotubos que por sus grandes propiedades son de gran utilidad en una amplia gama de aplicaciones (Pájaro *et al.*, 2013).

Siendo un campo interdisciplinario de investigación la podemos encontrar en: la física, la química, la ciencia farmacéutica, la ciencia de los materiales, la medicina y la agricultura. Hoy en día, la nanotecnología se utiliza ampliamente en la

agricultura moderna para hacer realidad el concepto de agricultura de precisión (Duhan *et al.*, 2017).

### **2.1.1 Nanotecnología en la agricultura**

Existen muchos métodos químicos que se utilizan para la obtención de nanopartículas, sustancias químicas y tóxicas que causan daño al ambiente, sin embargo hoy en día se busca utilizar entidades biológicas que permitan la síntesis de estas, algunas fuentes biológicas utilizadas en la agricultura son las: NPs de Ag, NPs de ZnO, NPs de TiO<sub>2</sub> y NPs de Cu (Duhan *et al.*, 2017).

El uso de nuevas tecnologías está incrementando cada día y un ejemplo de ello se tiene con la agricultura que está haciendo uso de aplicaciones nano-tecnológicas pretendiendo mejorar la calidad de los productos, la absorción de los nutrientes, incrementar la resistencia a plagas y enfermedades, y la elaboración de otros agroquímicos nano-encapsulados de liberación lenta (Rosa y Chalco, 2010).

La nanotecnología puede ser utilizada en la agricultura y la producción de alimentos por medio de nano-sensores externos que ayudan a vigilar el crecimiento de los cultivos y el control de plagas y enfermedades mediante la identificación temprana mejorando la producción y seguridad de los alimentos (Noormans, 2010).

Otro ejemplo de esta tecnología son las NPs de Ag que tienen mayor efecto que la plata a granel, un creciente interés es utilizar la propiedad antimicrobiana de estas para el manejo de enfermedades de las plantas, actualmente se está experimentando como pesticidas para reducir la carga de plagas en los cultivos (Duhan *et al.*, 2017).

Actualmente la nanotecnología en la agricultura está fabricando los fertilizantes, pesticidas y herbicidas convencionales nano-encapsulados que ayudan a la liberación lenta y sostenida de nutrientes dándole a las plantas un aporte preciso y dosificado (Duhan *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que las Nps no siempre tendrán un efecto positivo, se sabe que una concentración de estas afecta la germinación y crecimiento de las plantas (Duhan *et al.*, 2017).

Otra consecuencia directa o indirecta del uso de los nanomateriales, es el desconocimiento de los alcances de esos efectos, pues muchas nanopartículas que se usan a nivel comercial, se aplican y se producen sin pasar por una investigación que exponga los posibles efectos a corto y largo plazo de dicha tecnología sobre el medio ambiente, estas partículas tienen infinidad de reacciones dependiendo del medio y las condiciones en las que se encuentren, estas son la preocupación y el objeto de estudio del impacto que puede resultar en la interacción de la nanopartículas con el medio ambiente y con el ser humano (Saldivar *et al.*, 2014).

### **2.1.2 El cobre en la agricultura**

El cobre es un elemento dentro de los micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas que tiene un peso atómico de 63.54; en el suelo, el cobre está presente en las redes cristalinas de los minerales primarios y secundarios, y se unen con un ácido húmico y fúlvico formando un complejo en la materia orgánica muy fuerte. Esta principalmente presente como divalente y es absorbido por la planta generalmente como  $\text{Cu}^{++}$ , siendo un elemento de baja movilidad (Baset, 2015).

Las funciones del cobre en las plantas son numerosas es: activador de ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina, participa en el metabolismo de la pared celular haciéndola más rígida creando una barrera contra el ataque de patógenos, de aquí que se le ha atribuido como un elemento de gran interés en la agricultura moderna, es esencial para diversos sistemas enzimáticos, participa en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de estas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas en la actividad antioxidante (López, 2017).



### 2.1.3 NPs de Cu

Las Nps de Cu son de gran interés en la agricultura moderna su tamaño varía desde 1 a 100 nm dependiendo de la temperatura y presión utilizadas durante su fabricación (Edgar y Foladori, 2010).

Se sabe que el efecto de dichas NPs depende de la concentración, estas en elevada concentración pueden tener efecto toxico, sin embargo en bajas concentraciones ejercen efectos benéficos en las plantas. En la agricultura, las nanoparticulas de cobre se utilizan como tratamiento para algunas enfermedades de las plantas y como un adyuvante para asimilación de nutrientes esenciales, lo que resulta un uso reducido de insumos agrícolas en comparación con las estrategias tradicionales de producción (Gómez *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones realizadas por Hernández-Hernández *et al.* (2018) basadas en NPs de Cu, han mostrado mejorar el crecimiento de las plantas, aumentar la concentración de clorofila y aumentar la concentración de compuestos fenólicos y enzimas defensivas como: catalasa, superóxido dismutasa y fenilalanina amonio liasa cuando se aplica a bajas concentraciones (0.05-1.0 mg L<sup>1</sup>) en semillas o al suelo.

Otros estudios recientes demuestran que las NPs de Cu son absorbidas por las plantas y se acumulan en las células de las raíces, hojas y otros tejidos vegetales. Estudios realizados en lechuga (*Lactuca sativa*) el contenido nutricional se alteró, mientras que en el análisis de las raíces que se le realizó mostró que la actividad de catalasa (CAT) aumentó, mientras que el ascorbato peroxidasa (APX) disminuyó, esto validando que las NPs de Cu puede afectar la bioquímica de las plantas y modificar la concentración de dichas enzimas (Apodaca *et al.*, 2017).

## **2.2 El cultivo del tomate**

### **2.2.1 Origen**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el nombre científico de la hortaliza mundialmente conocida como tomate, el nombre procede del náhuatl “xictli”, ombligo y “tomatl”, tomate, que significa tomate de ombligo (SAGARPA, 2016).

### **2.3 Importancia económica**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial. La alta demanda del tomate ha promovido la diversificación de esta hortaliza para satisfacer las exigencias del mercado global, a tal grado que hoy en día existe una gran segmentación del mercado y por lo tanto, una gama amplia de tipos y variedades de tomate: bola, saladette, racimo, uva, cherry, cocktail, pera y heirloom (SAGARPA, 2016).

Esta especie hortícola genera cuantiosos ingresos, empleos y un alto valor nutritivo para la dieta humana ocupando la mayor superficie sembrada en todo el mundo, se encuentra disponible todo el año, su consumo es tanto en fresco como procesado, es rico en antioxidantes, contenido de fibra y otros minerales. Es una especie muy relevante para la economía de México por lo que ha sido una especie con mayores cambios en la generación de nuevas variedades y métodos de cultivo, como es la agricultura protegida (SAGARPA, 2016).

De acuerdo con estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, pesca y alimentación (SAGARPA), entre 2013 y 2016 la producción en México aumento en 35 por ciento, al pasar de dos millones 52 mil toneladas a dos millones 769 mil toneladas, representando un aumento en el volumen nacional en cuatro años de alrededor de 717 mil toneladas, las cuales son distribuidas en el mercado nacional y el internacional registrando una tasa media de crecimiento anual para este periodo es de 7.8 por ciento (SAGARPA, 2017).

Esta hortaliza se produce en todas las entidades del país, siendo Sinaloa, San Luis Potosí, Baja California, Zacatecas y Michoacán los cinco estados principales,

en conjunto aportan el 52 por ciento del volumen nacional. Sinaloa es el principal productor con 551 mil toneladas; San Luis potosí, 296.8 toneladas; Baja California; 225.9 mil toneladas; Zacatecas, 185.2 mil toneladas, y Michoacán, 178.2 mil toneladas. Esta actividad se realiza en una superficie de 46 mil 677 hectáreas y la producción promedio de los últimos cuatro años fue de 2 millones 428 mil toneladas (FIRA, 2016).

En lo que se refiere a comercio exterior, México está ubicado como principal exportador de tomate en el mundo convirtiéndolo en una potencia hortofrutícola, en base a estadísticas del Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) de la secretaria de Economía, la SAGARPA reportó que al onceavo mes de 2016, las exportaciones de esta hortaliza alcanzaron los mil 773 millones de dólares, siendo exportado principalmente a Estados Unidos, Canadá y Japón, mientras que en México el consumo per cápita es de 13.8 kilogramos y en 2015 el valor de la producción se estimó en 20 mil 640 millones de pesos (SIAP, 2015).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del tomate (Pérez, 2011).

<b>Clase</b>	Dicotyledoneas
<b>Orden</b>	Solanales (personatae)
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Subfamilia</b>	Solanoideae
<b>Tribu</b>	Solaneae
<b>Género</b>	Lycopersicon
<b>Especie</b>	Esculentum

## **2.4 Descripción del cultivo**

**2.4.1 La semilla:** es aplanada y de forma lenticelar con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1mm (Pérez, 2011).

**2.4.2 La raíz:** depende del sistema de cultivo, los tomates sembrados en forma directa, tienen un sistema radicular pivotante, profundo y poco ramificado, en tanto que los sembrados por trasplante poseen raíces muy ramificadas y superficiales, sin embargo, el 70% de las raíces se localizan a menos de 0.20 m de la superficie (García, 2015).

**2.4.3 La planta:** de tomate es anual, de porte arbustivo. Se desarrolla de forma rastrera, semierecta o erecta, dependiendo de la variedad. El crecimiento es limitado en las variedades de ámbito determinado e ilimitado en las variedades de ámbito indeterminado (SAGARPA, 2010).

**2.4.4 Tallo:** Son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas (vellosidades) con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Escalona *et al.*, 2009)

**2.4.5 Hojas:** Son compuestas e imparipinnadas, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de vellosidad. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo (Escalona, 2009).

**2.4.6 La flor:** Son perfectas, los estambres se encuentran soldados entre sí, formando un cono estaminal alrededor del peciolo, cuyo estigma, en la mayoría de los casos, se encuentra por debajo de la superficie del cono estaminal, con lo cual se asegura la autopolinización (García, 2015).

**2.4.7 El fruto:** es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gr. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (SAGARPA, 2010).

## 2.5 Estrés biótico

En biología el estrés sería un factor externo que afecta negativamente a un organismo; en términos de fisiología vegetal refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta. Levitt (1980) definió el estrés como: cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos (Vidal, 2010).

Una planta que crece en condiciones óptimas se halla en situación de estrés cero, quiere decir que todos los factores como: luz, agua, nutrientes, temperatura, oxígeno, etc., están en su punto óptimo, aunque en las condiciones que crecen las plantas esto es improbable (Vanlerberghe, 2013).

La homeostasis es el estado fisiológico de una planta que se encuentra en equilibrio gracias a diferentes procesos de autorregulación, cuando se rompe este equilibrio en las células por cualquier factor (déficit de agua, temperatura, salinidad) se tiene entonces una condición de estrés provocando que la planta pueda expresar su máximo rendimiento (Vanlerberghe, 2013).

El estrés biótico está causado por la acción de otros seres vivos como: bacterias, hongos, virus y nematodos (Vidal, 2010). Ante este estrés se activan un grupo de mecanismos de defensa en la planta que contribuyen a limitar el crecimiento y desarrollo de estos microorganismos llamados elicitores que son moléculas capaces de inducir cualquier tipo de defensa en la planta y son producidos por agentes estresantes bióticos y abióticos, se puede decir que la aplicación de un elicitador es como una vacuna para la planta haciéndola resistente a posteriores ataques que generan estrés, un ejemplo de estos son el: fosetil-al, fosfito de potasio y el silicio (Peña y Costales, 2014).

## 2.6 Plagas y enfermedades

Para que una enfermedad se presente es necesario que existan tres factores fundamentales: un hospedero susceptible, un medio ambiente favorable y un agente causal; si uno de estos no está presente es difícil que se presente dicha enfermedad, esta puede ser por: hongos, bacterias, virus y nematodos los cuales provocan grandes pérdidas tanto en la calidad, como en el rendimiento y económicamente (Torres, 2017).

**Tabla 2.** Plagas más comunes en el cultivo de tomate (SAGARPA, 2010).

<b>Plaga</b>	<b>Daño al cultivo</b>
<b>Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)</b>	Transmite el virus amarillo del tomate
<b>Trips (<i>Frankiniella Occidentalis</i>)</b>	Transmite el virus del bronceado del tomate
<b>Pulgon (<i>Myzus persicae</i>)</b>	Transmite virus y se alimenta de tejidos jóvenes
<b>Minador de la hoja (<i>Liriomyza trifoli</i>)</b>	Sus larvas se desarrollan dentro de la hoja ocasionando galerías o minas en las hojas maduras
<b>Polilla del tomate (<i>Tuta absoluta</i>)</b>	Ataca los brotes y los frutos
<b>Araña roja (<i>Tetranychus urticae Koch</i>)</b>	Se alimenta extrayendo el contenido de las células de los tejidos las cuales adquieren coloración blanquecina y más tarde amarillenta y marrón cuando se necrosa

**Tabla 3.** Enfermedades mas comunes en el cultivo de tomate (Obregón, 2014).

Hongo	Daño al cultivo
Tizon tardio ( <i>Phytophthora infestans</i> )	Causa necrosis en follaje, frutos y tallos
Cenicilla ( <i>oidiopsis taurica</i> )	Ocasiona puntos necroticos en el haz de las hojas y micelio blanco en el envés
Podredumbre ( <i>Rhizoctonia sp</i> )	En plantas juvenes y en plantula necroza las raices y la base del tallo causando marchitez, flacidez y por ultimo la muerte
Marchitez vascular ( <i>Fusarium oxysporum</i> )	En plantas juvenes se puede observar una clorosis y flacidez en el follaje
Moho gris ( <i>Botrytis cinerea</i> )	Afecta cualquier parte de la planta. En hojas: aparecen lesiones de color marron con abundante esporulación En frutos: Se ablandan y se le forman zonas blanquesinas.

### 2.6.1 Enfermedades por bacterias en el cultivo del tomate

Las solanáceas son un grupo de plantas muy importantes en los aspectos alimenticios y económicos de la humanidad, en el que sobresale el tomate, la papa y la berenjena, los cuáles son ampliamente cultivados en el mundo; en este grupo de plantas se han descrito varias enfermedades de origen bacteriano, estas han aumentado en los últimos años probablemente por la baja eficacia de los bactericidas agrícolas, la intensificación nitrogenada, los riegos por aspersion y por la comercialización de semillas y tubérculos entre diferentes países (Rodríguez, 2011).

**Tabla 4.** Bacterias más comunes en el cultivo del tomate (Obregón, 2014).

	Bacteria	Daño al cultivo
Cancro	bacteriano ( <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> )	Marchitamiento sistémico de la planta, y unilateral de las hojas seguido de muerte
Marchitamiento	bacteriano ( <i>Ralsotonia solanacearum</i> )	Marchitamiento repentino del ápice, si las condiciones son favorables toda la planta se marchita y a los dos o tres días muere
Podredumbre	blanda ( <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> )	Oscurecimiento externo del tallo, generando la podredumbre de los tejidos próximos a los puntos de la infección, en esta zona las hojas se vuelven amarillas y se marchitan.
Necrosis medular	( <i>Pseudomonas</i> sp)	Clorosis en las hojas jóvenes. En caso de severidad elevada, se produce necrosis y marchitez en la parte alta de la planta.

### **2.7 *Clavibacter michiganensis* Subsp. *michiganensis***

Entre las enfermedades más importantes producidas por bacterias se encuentra el Chancro bacteriano, cancrisis, marchitez, ojo de pájaro, cáncer bacteriano son los nombres que se le dan a la enfermedad causada por *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en el cultivo del tomate (Rodríguez, 2010).

Es considerada la enfermedad vascular más importante en el cultivo de tomate en invernadero provocando significativas pérdidas debido a que es contagiosa y se expande rápidamente (FAO, 2013)



### 2.7.1 Características biológicas

**Tabla 5.** Taxonomía de *Clavibacter michiganensis* Subsp. *Mich.* (Martínez, 2012).

Dominio	Bacteria
Clase	Actinobacteria
Subclase	Actinobacteridae
Orden	Actinomycetales
Suborden	Micrococccineae
Familia	Microbacteriaceae

### 2.7.2 Origen

La enfermedad se descubrió por primera vez en 1909 en Grand Rapids, Michigan, Estados Unidos, por E. F. Smith. Actualmente es una de las enfermedades más temidas y destructivas de este cultivo, se ha reportado en la gran mayoría de los países productores de esta hortaliza, anteriormente su presencia era esporádica, pero en los últimos años se ha presentado ciclo con ciclo en nuestro país (Robertson, 2015) .

### 2.7.3 Síntomas característicos en tomate

Pueden presentarse en cualquier estadio de desarrollo y en cualquier parte de la planta, si las infecciones son sistémicas las hojas se doblan hacia abajo, los folíolos pueden presentar bordes necrosados doblados hacia arriba, se marchitan y luego colapsan, los peciolo siguen turgentes casi en el final del proceso, por lo general la enfermedad se manifiesta de abajo hacia arriba, pero si la bacteria penetra por heridas en la parte superior desarrolla rápidamente hacia abajo una desecación acelerada pudiéndose observar si se realizan cortes longitudinales o transversales en el tallo una coloración amarillenta a pardo oscura (Martínez, 2012).

**2.7.3.1 Hojas (A):** Inicialmente aparecen como pequeñas áreas húmedas de color verde claro, luego se desecan y toman una apariencia en forma de ampollas de color blanco cremosas

**2.7.3.2 Foliolo (B):** Flacidez, marchitamiento irreversible, bordes y zonas internervales secas

**2.7.3.3 Fruto (C):** El daño en el fruto puede comenzar como lesiones pequeñas ligeramente elevadas con un margen blanco las cuales se pueden expandirse a unos pocos milímetros con centros pardos y ásperos de aquí que se le conoce como “ojo de pájaro”.

**2.7.3.4 Tallo (D):** Suele aparecer estrías longitudinales amarillo pálidas además de ampollas pardas rodeadas de color blanco el cual se puede romper y formar cavidades

**2.7.3.5 Tallo (E):** Haciendo un corte longitudinal al tallo, se observa líneas blanquecinas amarillentas y un color marrón oscuro más intenso en las zonas de los nudos, siendo está una característica principal de la enfermedad

**2.7.3.6 Pecíolo (F):** Por lo general estos permanecen erguido

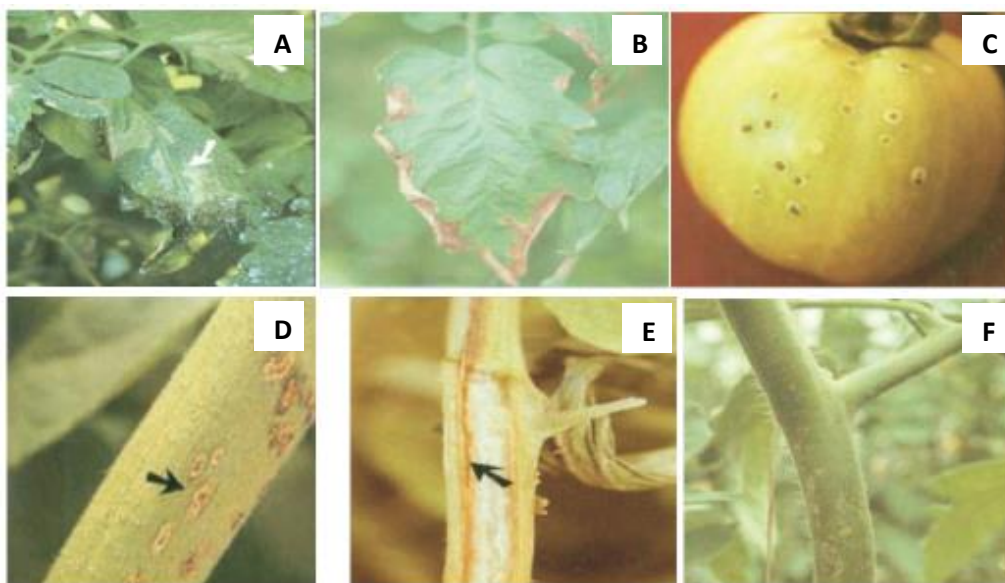


Figura 1. Síntomas característicos de daño por *Clavibacter michiganensis* Subsp. *mich.* (FAO, 2013).

## **2.8 Epidemiología**

La semilla de tomate es considerada como la fuente más importante del inoculo de este patógeno, reportándose un porcentaje de transmisión de 0.25-100%, donde puede encontrarse tanto en el interior como en el exterior, en este material la bacteria puede sobrevivir por largos periodos en semilla, y en el suelo por unos dos años (Rodríguez, 2011).

Esta bacteria también puede ser diseminada por movimiento de suelo, riego, viento, labores de poda, deshoje y trasplante (Torres, 2017) .

Como la mayoría de las bacterias está depende de las condiciones climáticas, una temperatura de 18 a 24°C, humedad relativa mayor a 80% resultan favorables para su desarrollo. Las plantas vigorosas con excesivo aporte de nitrógeno son más susceptibles (Bielsa *et al.*, 2010).

### **2.8.1 Manejo**

Para reducir las pérdidas por esta enfermedad es recomendable evitar que el patógeno llegue al área de cultivo, puesto que no hay variedades resistentes y los productos químicos que existen a la fecha no tienen efecto curativo, por lo que se deben emplear semilla, plántulas y patrones libres del patógeno (Rodríguez, 2010).

Como se sabe el cáncer bacteriano es una de las enfermedades del tomate más difíciles de controlar y sus medidas de control que existen están basadas en la prevención como el: tratamiento de la semilla, retiro de residuos de la cosecha anterior que pueda ser hospederio, empleo de sustrato y charolas estériles, constante monitoreo, rotación de cultivos, eliminación de plantas enfermas, evitar humedad relativa alta, como control químico se puede utilizar (oxicloruro de cobre, Mancozeb, hidróxido cúprico) (Garcia & Catellanos, 2016) .

## **2.9 El silicio**

El silicio es un elemento químico semimetálico de número atómico 14 situado en el grupo 14 de la tabla periódica de símbolo Si; su descubridor fue Antoine Lavoisier en el año de 1787 el cuál lo definió como compuesto pero fue hasta 1824 que Jóns Jacob Berzelius en Suecia logro aislarlo. Es el segundo elemento más abundante sobre la corteza terrestre después del oxígeno (Alméciga, 2012).

Se encuentra presente en casi todos los minerales en forma no biodisponible, los suelos ácidos suelen contener concentraciones bajas de silicio en la solución del suelo, este elemento no se encuentra de forma natural sino en forma de dióxido de silicio y en silicatos complejos (Arce, 2012).

### **2.9.1 El silicio en la agricultura**

El silicio es absorbido por las plantas en un rango de Ph de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva (Borda *et al.*, 2007) siendo tomado por las raíces en la solución como ácido monosilícico Si (OH), es transportado por el xilema y su distribución dentro de la planta depende de la velocidad de transpiración de sus diferentes partes, la adición de silicio se encuentra en el límite entre la nutrición, la bioestimulación y la protección vegetal (Arce, 2012) .

De acuerdo con (Arnon y Stout, 1939) (Na, Si, Co, Ni, Al, V) son considerados elementos benéficos en las plantas ya que se consideran que simplemente pueden remplazar algunos nutrimentos esenciales en ciertas funciones.

Para lograr buenos niveles de silicio asimilable por las plantas deben aplicarse al suelo productos que al reaccionar con el agua formen ácido silícico, de esta forma es fácilmente adherido al suelo y se encontrara en forma asimilable para la plantas ya que este elemento es inmóvil en el suelo y se pierde fácilmente por lixiviación (Herrera, 2013).

Actualmente estudios de diversos autores explican que la presencia de silicio resulta beneficiosa en la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo, elevando la capacidad de intercambio catiónico y mejorando el contenido de calcio, magnesio, fosforo entre otros elementos (Herrera, 2013).

### **2.9.2 Acciones del silicio para tolerar el estrés de patógenos en la planta**

El silicio ayuda a la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas estas últimas son moléculas de bajo peso molecular con propiedades antimicrobianas ante un amplio espectro de hongos y bacterias patógenas (Sánchez *et al.*, 2010).

La aplicación de silicio aumenta la síntesis de las enzimas peroxidasa, polifenoloxidasas, glucanasa, y quitinasa las cuales incrementan la producción de quinonas que tienen propiedades antibióticas, favoreciendo la lignificación de los tejidos, lo cual genera un rechazo de los insectos por las plantas (González *et al.*, 2015).

La acumulación de silicio en la planta ayuda a fortalecer la pared celular formando una barrera mecánica a la penetración de patógenos además de cumplir una integridad estructural de las células vegetales contribuyendo a las propiedades mecánicas incluyendo rigidez y elasticidad (González *et al.*, 2015).

La epidermis, tejido que contiene del 10 al 50% de silicio forma cuerpos- $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , sólidos y flexibles con funciones biológicas específicas formando fitolitos y tricomas que asimilan nutrientes y liberan compuestos que repelan y llegan a suprimir el desarrollo de bacterias, hongos, insectos, y ácaros que perjudican el desarrollo de los organismos fotosintéticos (Pérez y Mancilla, 2012).

El silicio ayuda a incrementar la disponibilidad de agua y minerales mejorando la turgencia del tejido foliar, forma cuerpos- $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  que permiten aprovechar mejor la luz del sol ya que dispersan y eliminan el efecto de la luz ultravioleta, mejor la disponibilidad de nutrientes todo esto permite una protección física, química y biológica que resulta en resistencia y adaptación al estrés biótico y abiótico (Quintero *et al.*, 2017).

### **2.9.3 Efectos del uso del silicio en algunos cultivos**

De acuerdo con estudios realizados en los laboratorios e invernaderos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el cultivo de rosal variedad Charlotte inoculado con mildiu veloso (*Peronospora sparsa*) en la medida que el silicio aumento de 50, 100, 150 y 200 ppm él tratamiento de 200 ppm, mostro una diferencia altamente significativa mostrando menor expresión de la enfermedad (Castillo *et al.*, 2010)

Otros estudios realizados en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) demostraron como la aplicación de Silicio ayudó a tolerar el ataque del perforador del tallo (*Chilo supressalis*), además de otras plagas como: delfacidos, thrips, y la mosca de la agalla reduciendo las poblaciones considerablemente (González *et al.*, 2015).

Otro estudio realizado en Florencia San Carlos, Alajuela, Costa Rica en el cultivo de arroz demuestran como la aplicación de silicio mejoró la fertilidad del suelo, incrementó la capacidad de intercambio catiónico, mejoro la disponibilidad de (calcio, magnesio, potasio), redujo la incidencia y severidad de enfermedades e insectos, además de un incremento en la producción (Herrera, 2013).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación del experimento

Esta investigación se realizó en un invernadero ubicado en el departamento de horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México en las coordenadas (25° 21' 13'' de latitud norte y 101 ° 01' 56'' de longitud oeste, elevación 1,742 msnm).

#### 3.2 Desarrollo experimental

Se sembraron semillas de tomate híbrido tipo saladette de crecimiento indeterminado "el cid" en charolas de poliestireno. Una vez en etapa de plántula se trasplantó el 13 de mayo en macetas de 10 L con una mezcla de peat moss y perlita relación 1:1 (v/v). Para el riego del cultivo se utilizó solución nutritiva Steiner mediante un sistema de riego dirigido; la nutrición se aplicó de acuerdo a la etapa vegetativa comenzando con la solución al 25%, 50%, 75% y 100%

La escala de severidad del patógeno se evaluó de acuerdo a (Baysar *et al.*, 2003), 30 días después de inocular con la cepa (cada 8 días). Las variables agronómicas se evaluaron cada 15 días.

**Tabla 6.** Escala de severidad de daño (Baysar *et al.* 2003).

VALOR	DAÑO
5	Planta muerta
4	Hojas viejas muertas, jóvenes crecimiento detenido.
3	Hojas viejas cloróticas, jóvenes crecimiento detenido
2	Hojas viejas clorosis vascular, jóvenes crecimiento detenido.
1	Pecíolo de hoja con crecimiento detenido.
0	Sin síntomas visibles.

### 3.3 Las labores culturales que se realizaron fueron:

Anillado, entutorado, desbrote, y una vez que las plantas alcanzaron su máximo rendimiento se eliminó el ápice central para que terminara de llenar los frutos.



Figura 2. Establecimiento del experimento y colocación del sistema de riego.



### **3.4 Obtención de las nanopartículas de cobre**

Las Nanopartículas de cobre utilizadas en este estudio se sintetizaron en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) utilizando la metodología de Cadenas-Pliego *et al.* (2013)

El Silicio que se utilizó fue en forma de silicato de potasio obtenido de un producto comercial.

### **3.5 Obtención del patógeno**

La cepa de *Clavibacter michiganensis* Subsp. *mich* fue proporcionada por el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, fue activada y resembrada en medio NBY.

### **3.6 Descripción de los tratamientos**

La aplicación de los tratamientos con silicio y nanopartículas de Cu fue en forma foliar en toda la planta. Se inició con la aplicación a los siete DDT posteriormente se aplicaron los tratamientos cada 15 días para un total de cinco aplicaciones, después se inoculó con la cepa de *Clavibacter michiganensis* Subsp *mich*. Se realizaron cortes en las hojas, a fin de simular una infección natural para después introducir las en el inoculo a una concentración  $1 \times 10^6$  UFC de *Clavibacter Michiganensis* Subsp. *mich*.

Partiendo de la solución nutritiva de Steiner, se evaluaron los siguientes 6 tratamientos:

**Tabla 7.** Descripción de los tratamientos

---

1	Testigo Absoluto
2	50 mg L <sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L <sup>-1</sup> de Silicio
3	250 mg L <sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L <sup>-1</sup> de silicio
4	50 mg L <sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L <sup>-1</sup> de Silicio
5	250 mg L <sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L <sup>-1</sup> de silicio
6	Testigo patógeno

---

El diseño del experimento fue bloques completos al azar con tres repeticiones y 5 plantas por repetición para cada uno de los tratamientos.

### **3.7 Variables agronómicas evaluadas**

El rendimiento se evaluó en la cosecha pesando los frutos que estuvieran maduros (g/planta) con ayuda de una balanza, la cosecha se realizaba cada que los frutos estuvieran maduros y se registraban acuerdo a cada tratamiento para determinar aquellos frutos de mejor calidad nutricional y que ayuden a estimar el rendimiento total con los diferentes tratamientos.

Las variables agronómicas evaluadas fueron: la altura de la planta, número de racimos por planta, número de hojas.

A los 106 DDT las plantas fueron colectadas, pesadas en fresco y secadas en una estufa deshidratadora a 90 °C hasta verificar que ya no perdían peso, determinando biomasa seca en hojas y tallo

### **3.8 Inoculación de plantas con *Clavibacter michiganensis* Subsp. *Mich.***

Para el caso de *Clavibacter michiganensis* Subsp. *michiganensis* se realizaron cortes en las hojas nuevas, a fin de simular una infección natural después se introdujeron en el inóculo por unos segundos. El sobrante de la solución se asperjó en toda la planta a una concentración de  $1 \times 10^6$  UFC/ml (Baysal *et al.*, 2003). El diseño experimental de los tratamientos fue completamente al azar. Durante el experimento se realizaron 5 muestreos, a las 0, 24, 48, 72, 96 y 120 horas después de la aplicación del silicio y NPs de cobre. De cada tratamiento se muestrearon 6 plantas elegidas al azar, a las cuales se les determinara los siguientes parámetros.

Tres muestras por tratamiento del tejido colectado fueron colocadas en un congelador a temperatura de  $-80$  °C antes de ser usadas en la determinación de la capacidad antioxidante total. A las 3 muestras restantes de cada tratamiento, se les tomo datos de peso fresco y se llevaron a un proceso de secado en una estufa a una temperatura de  $60$ °C por un lapso de 48 h para posteriormente determinar peso seco.

#### Preparación de las cajas Petri

1. Se preparó PDA en cajas Petri. A cada caja aprox se le añadió 20 mL de medio PDA. El PDA es de 39 g por litro
2. Uso del autoclave: se le coloca agua a una marca del autoclave, casi a ras del tripie, posteriormente se incorporó el matraz. Se cerró bien el autoclave, se encendió, se le subió el botón negro, se esperó a que llegara a la mitad y se bajó el botón negro. Se esperó ahí 15 min, se apagó y se esperó a que baje, después de que bajo se abrió arriba para que baje la presión

### **3.9 Incidencia y severidad de la enfermedad**

Veinte días después de la inoculación, se tomaron los datos de incidencia y severidad.

Se consideraron todas las plantas, se hizo una observación cada semana de acuerdo a la escala de severidad (Baysar *et al.*, 2003)

### **3.10 Calidad de fruta**

Para la calidad de fruta se seleccionaron tomates maduros de color rojo uniforme y que no tuvieran daños físicos.

Dichos parámetros se determinaron de acuerdo a (Juarez-Maldonado, Ortega-Ortíz, Pérez-Labrada, Cadenas-Pliego, & Benavides-Mendoza, 2016). La firmeza se midió al momento de cosecha con ayuda de un penetrómetro de prueba de fruta por medio de dos puntos opuestos al ecuador. El índice de refracción (% de sólidos solubles totales) se determinó por medio de la pulpa con ayuda de un refractómetro manual, al igual se midió la conductividad eléctrica y el pH con ayuda de un potenciómetro.

#### **3.10.1 Determinación y cuantificación de vitamina C**

El contenido de vitamina C se determinó por el método de titulación con 2, 6 diclorofenolindofenol (Padayatt *et al.*, 2001)

Consideración:

Considerando que el ácido ascórbico (vitamina C) junto con el glutatión son los más importantes y principales antioxidantes de las plantas y frutos, se consideró que al momento de realizar el muestreo del material vegetal, este se colocó en un recipiente con hielos y se almaceno en refrigeración para detener y/o minimizar el proceso de respiración del fruto para evitar el consumo de estos antioxidantes. Si la determinación no se realizara de manera inmediata sería recomendable liofilizar

el tejido. La medida anterior nos permitiría determinar un estado más cercano del contenido de estos antioxidantes.

Se pesaron 10 g de peso fresco de fruto (si era una hoja se pesaba 1 g de peso fresco). Se macero en un mortero con 10 ml de ácido clorhídrico (HCL) al 2% (v/v). Para homogenizar: se macero perfectamente la "cascara" del fruto con la intención de liberar todo el contenido de vitamina C hasta que la cascara quedara totalmente transparente). Se filtró el homogenizado a través de una gasa absorbente estéril sobre un matraz de aforación. Se aforo a 100 ml con agua destilada. Se tomó con una con una alícuota de 10 ml el filtrado. Se tituló con 2-6 diclorofenolindofenol hasta obtener una coloración rosácea persistente.

#### Cuantificación

La cuantificación del contenido de vitamina C se realizó con la siguiente ecuación:

Vit. C = (ml utilizado de 2-6 diclorofenolindofenol \* 0.088 \* volumen total \* 100)  
(volumen alícuota \* peso muestra)

El contenido de vitamina C se expresó en mg/100 g de peso fresco.

### **3.10.2 Determinación y cuantificación de acidez Titulable**

La acidez titulable se determinó mediante la técnica de colorimetría.

#### Consideración

El fruto es el receptor y almacén de una gran cantidad de iones, los ácidos orgánicos son acumulados en el fruto para poder abastecer la demanda de un gradiente.

#### Metodología

Se tomaron los frutos y se macero de manera homogénea. Se tomaron 10 mL del macerado en un matraz. Se añadió de 2-5 gotas de fenolftaleína. Se tituló con NaOH (0.1) hasta obtener una coloración rosácea.

#### Cuantificación

Para la cuantificación de la acidez titulable se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ acidez} = (V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{meq ácido cítrico} * 100) / V_{\text{muestra}}$$

Donde:

$V_{\text{NaOH}}$  = volumen gastado de NaOH para titular.

$N_{\text{NaOH}}$  = normalidad del NaOH

Meq ácido cítrico = 0.064

$V_{\text{muestra}}$  = 10 mL

La acidez titulable se expresa como % de ácido cítrico.

### **3.10.3 Determinación y cuantificación de licopeno**

El contenido de licopeno se determinará mediante la metodología citada por Fish *et al.* (2002).

Consideración

El licopeno es el principal antioxidante del fruto de tomate encargado de proteger a la planta de los daños oxidativos y tomando en cuenta que su síntesis se deriva desde el geranil difosfato (GGDP) pasando por el fitoeno, es necesario considerar que al momento de realizar el muestreo de material vegetal este deberá ser colocado en un recipiente con hielos y almacenarlo en refrigeración además de protegerlo de la luz con la intención de detener y/o minimizar el proceso de respiración del fruto evitando su consumo y degradación. Si la determinación no se realizará de manera inmediata sería recomendable liofilizar el tejido. La medida anterior nos permitirá determinar un estado más cercano del contenido de este caroteno.

## Metodología

Se pesó 1 g de muestra fresca. Se colocó la muestra sobre un mortero frío (el cuál contenía 3 ml de amortiguador de fosfatos, pH 7) y se macero, es recomendable macerar perfectamente la “cascara” del fruto con la intención de liberar todo el caroteno (en el caso del tomate se realiza hasta que la cascara quede totalmente transparente). Se tomó 0.7 mL del macerado el cual se colocó en un tubo eppendorf de 2 mL. Se agregó 1.3 mL de mezcla Hexano-Acetona (3:2) y se agito por 10 segundos en vortex. Se centrifugo a 3000 rpm durante 10 min a 2° C. se extrajo la fase coloreada y se leyó la absorción a 502 mL.

## Cuantificación

Para realizar la determinación se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g g}^{-1}) = \text{Absorbancia } 502 \text{ nm} * (1/320) * 4$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efecto de la aplicación de Nps de Cu y Si sobre variables agronómicas

Las variables agronómicas mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 8). En el rendimiento el T. Absoluto fue superior a todos los tratamientos, sin embargo el más afectado fue el T. Patógeno en comparación con los demás. En el número de racimos no se encontró diferencia significativa, sin embargo el tratamiento de 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que mayor efecto negativo presentó. En el número de hojas el T. Absoluto fue superior a todos, mientras que el tratamiento de 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> fue el que resultó más afectado en comparación con los demás tratamientos que presentaron características similares. En la altura el T. Absoluto fue superior a todos, sin embargo los tratamientos con: 250 + 184, 250 + 460 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + Silicio fueron los que presentaron mayor efecto negativo. En el peso fresco total, peso seco de hojas, peso seco de tallo y peso seco total, el T. Absoluto fue superior a todos, mientras que en los demás tratamientos los resultados fueron estadísticamente iguales, sin embargo el que mayor efecto negativo presentó en todas estas variables fue el tratamiento con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio.

El rendimiento fue mayor en el T. Absoluto esto debido a que dichas plantas con este tratamiento no fueron sometidas a ningún tipo de estrés, trabajos realizados por (Bielsa *et al.*, 2010) en el cultivo de tomate reportan grandes pérdidas en el rendimiento a causa del patógeno *Clavibacter michiganensis* Subsp. *Mich* que fue con el que fueron estresadas las plantas de los demás tratamientos, sin embargo se observa que los tratamientos donde se aplicó Nps de Cu + Silicio hubo un incremento en el rendimiento, esto pudo ser a que el Silicio en conjunto con las NPs de Cu activaron varios metabolitos en las plantas que le ayudaron por una parte a tolerar el estrés como en la asimilación de elementos minerales esto



provocando un aumento en dicha variable, trabajos realizados por González et al., (2015) quienes aplicaron Silicio biodisponible encontraron un incremento el rendimiento en caña de azúcar. En el número de hojas el tratamiento de  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $460 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio se vio afectado de forma negativa respecto al T. Absoluto aunque es estadísticamente igual al T. Patógeno esto pudo ser debido al ligero estrés que provoca las NPs de Cu, trabajos realizados por Cartaya et al. (2011) donde utilizaron  $5 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu, observaron que se redujo el número de hojas en plantas de tomate variedad Amalia. En la altura el tratamiento con  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $460 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio fue el que resulto más afectado en comparación con el T. Absoluto, aunque es estadísticamente igual al T. Patógeno esto pudo ser debido al estrés provocado por las NPs de Cu ya que donde existe una baja concentración de ( $50 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $184 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio) y ( $50 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $460 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio) se observó una mayor altura.

En las variables de: peso fresco total, peso seco de hojas, peso seco de tallo y peso seco total, el T. Absoluto fue superior a todos posiblemente se debe a que este tratamiento no fue sometido a ningún tipo de estrés y la planta pudo desarrollarse en mejores condiciones a comparación de las plantas donde se les aplico las NPs de Cu y Silicio se vieron estresadas y se vieron obligadas a activar ciertos metabolitos y enzimas que provocaron un desequilibrio en la planta ocurriendo una disminución en la biomasa, esto no coincidiendo con trabajos realizados por Quintero et al. (2017) donde utilizaron 0.5, 0.75 y  $1 \text{ mol m}^{-3}$  de Silicio en chile manzano encontraron un incremento en la materia seca, con respecto al testigo.

**Tabla 8.** Variables agronómicas evaluadas en plantas de tomate

Tratamientos (NPs de Cu + Si) (ppm)	Rendimiento (g)	No. Racimos	No. Hojas	Altura (Cm)	Pf. Total (g)	PSH (g)	PST (g)	P. Seco total (g)
T. Absoluto (0+0)	5530.93 A	9.67 A	34.40 A	225.33 A	2308.69 A	212.06 A	130.57 A	342.63 A
250+184	3537.97 BC	8.93 A	33.60 AB	203.53 B	976.98 B	147.06 B	90.35 B	237.05 B
250+460	3461.62 BC	8.60 A	31.53 B	196.00 B	755.97 B	146.05 B	78.79 B	224.85 B
50+184	4027.56 B	8.80 A	32.67 AB	207.13 AB	1001.73 B	148.78 B	88.27 B	237.05 B
50+460	3994.86 B	9.07 A	33.93 AB	210.87 AB	789.48 B	151.34 B	91.12 B	242.46 B
T. Patógeno	3136.65 C	8.73 A	32.93 AB	208.53 AB	960.06 B	147.26 B	90.94 B	238.20 B

Medias por columna con una letra común no son significativamente diferentes según LSD ( $p \leq 0.05$ ). Pf: peso total. PSH: Peso seco de hojas. PST: Peso seco de tallo.

#### 4.2 Efecto de NPs de Cu y Silicio en la severidad del patógeno

De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica se observa que el T. Absoluto es el que presenta menor porcentaje de severidad (daño) por el patógeno, mientras que el T. Patógeno fue el que mayor daño presentó. En cuanto a las

interacciones el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que presento mayor resistencia al patógeno, mientras que el tratamiento con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que menor resistencia presento.

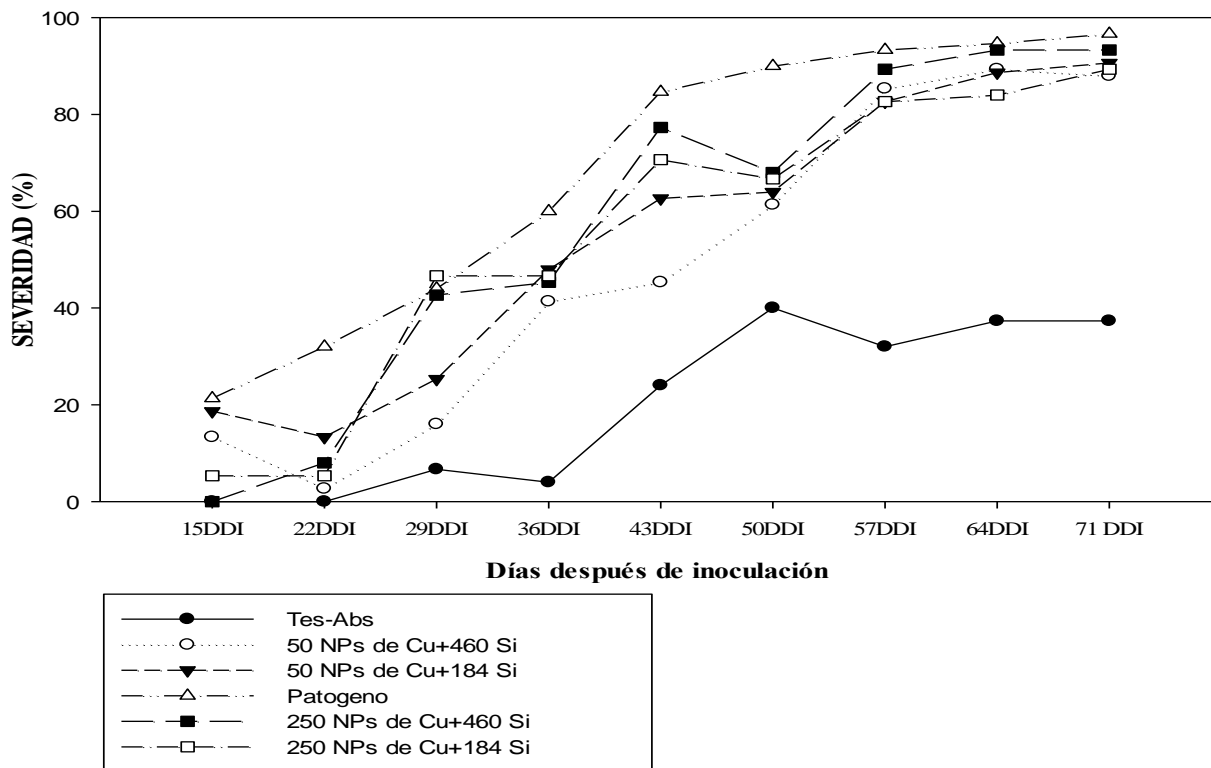
El T. Absoluto fue el que presento mejores características ya que la planta no sufrió ningún tipo de estrés que pudiera afectar su crecimiento y desarrollo, sin embargo el Testigo patógeno fue el que presento mayor daño debido a que no hubo ningún elicitor que le ayudara a tolerar dicha enfermedad la cual a paso del tiempo el daño aumentó el cual acabo por colapsar las plantas, esto coincidiendo con Torres (2017) en la cual explica que una vez presente dicho patógeno es contagioso y se expande rápidamente, hasta que termina por acabar con el cultivo.

En la interacción con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que presentó una mayor tolerancia a dicho patógeno esto pudo ser debido a que la alta concentración de Silicio ayudo a que la planta activara compuestos fenólicos como fitoalexinas y activara ciertas enzimas como: la peroxidasa, glucanaza y quitinaza que todos estos en conjunto tienen propiedad antimicrobianas lo cual redujo el daño por dicha bacteria. Trabajos realizados por González *et al.* (2015) demuestran que aplicaciones de Silicio en cultivos como: arroz, caña de azúcar, maíz y en familia de las solanáceas, cucurbitáceas, crucíferas y el cafeto aplicaciones de Silicio demostraron resistencia antimicrobianas y resistencia al ataque por plagas.

En la interacción con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que menor resistencia presento esto pudo haber sido a que una alta concentración de NPs de Cu presentara dicho estrés provocándole a las plantas una toxicidad que termino por colapsarlas. Estudios realizados por Watermelon (2017) explica que a bajas concentraciones las NPs de Cu funcionan como tratamiento para algunas enfermedades de las plantas.

Otros estudios realizados por Hernández-Hernández *et al.* (2018) muestran también que a bajas concentraciones (0.05 – 1.0 mg L<sup>-1</sup>) las NPs de Cu aumentan

la concentración de compuestos fenólicos y activan enzimas defensivas como: catalasa, superoxido dismutasa y fenilalanina amonio liasa que ayudan a la planta contra el estrés de patógenos.



**Figura 3.** Severidad por *Clavibacter michiganensis* Subsp mich, en plantas de tomate.

#### 4.3 Efecto de NPs de Cu y Silicio en la calidad de fruto

Las variables de calidad de fruto mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (tabla 9). En la firmeza el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue superior a todos, mientras que el T. Patógeno fue el que mayor efecto negativo presento. En los SST el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de Si fue superior a todos mientras que el T. Absoluto fue el que mayor efecto negativo presento. En el pH no se encontró diferencias estadísticamente significativas sin embargo el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que mayor efecto negativo mostró. En la C.E.

el tratamiento con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue superior a todos mientras que los demás tratamientos fueron dependientes a este a diferencia del T. Absoluto que fue el que mayor efecto negativo presento. En Ac. Titulable, el T. Patógeno fue superior a todos mientras que el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 184 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que mayor efecto negativo presento. En firmeza el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg<sup>-1</sup> de Silicio fue mayor con respecto al T. Patógeno esto pudo ser debido a que la concentración alta de Silicio aumento la integridad estructural de las células incluyendo rigidez y elasticidad que son propiedades que se consideran son atribuidas por este elemento. Aplicaciones de silicio en el cultivo de tomate sin suelo se observó un incremento en la firmeza de los frutos explicando a que este se condensa y se depositó como silicio amorfo o fofolitos en las paredes celulares (Judith y Miguel, 2013). En cuanto a SST el tratamiento con 50 + 184 fue mayor, esto pudo ser debido a que dichas plantas se encontraban estresadas ya sea por el patógeno o por las interacciones del Si + las NPs de Cu, lo que provoco un aumento en el contenido de carbohidratos y proteínas que hicieron que se elevara dicho parámetro con respecto al T. Absoluto que no presentaba dichas características, trabajos realizados por Somapala *et al.* (2016) quienes aplicaron seis dosis diferentes ( 0, 5, 10, 15 y 25 g/kg de una fuente de Silicio al suelo en el cultivo de tomate encontraron un incremento en los ° Brix. En cuanto a la C.E. el tratamiento con 250 + 460 fue superior con respecto al T. Absoluto, esto pudo ser debido a la alta concentración de las NPs de Cu que aumentaron la concentración de compuestos fenólicos lo que resulto un aumento en dicho parámetro, lo cual no coincide con Sanchez *et al.* (2010) quienes demuestran que aplicaciones de Si en plantas ayuda en la tolerancia por metales pesados que fue lo que tal vez provoco un aumento en la C.E. En base a la acidez titulable el T. Patógeno fue superior, esto pudo ser debido a que el patógeno provoco un crecimiento pequeño en los frutos en los cuales se incrementó el sabor y color que es lo que se atribuye en la medición de dicho parámetro.

**Tabla 9.** Variables de calidad de fruto en plantas de tomate.

Tratamientos (Nps de Cu + Si) (ppm)	Firmeza	SST (° Brix)	pH	C.E	Ac. Titulable
T. Absoluto (0+0)	9.93 BC	4.75 C	4.20 A	2.44 C	82.77 AB
250+184	7.55 C	5.43 AB	4.16 A	2.51 BC	82.43 AB
250+460	9.05 C	5.07 ABC	4.22 A	3.55 A	77.40 BC
50+184	12.40 AB	5.68 A	4.13 A	3.50 AB	69.23 C
50+460	13.62 A	5.00 A	4.21 A	2.96 ABC	83.10 AB
T. Patógeno	8.48 C	4.95 BC	4.21 A	3.07 ABC	89.35 A

Medias por columna con una letra común no son significativamente diferentes según LSD ( $p \leq 0.05$ ). SST: Sólidos solubles totales ° Brix. pH: potencial de hidrogeno. C.E: mS/cm

#### 4.4 Contenido de antioxidantes en plantas de tomate

Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (tabla 10). En contenido de licopeno el tratamiento 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue superior a todos mientras que el T. Absoluto y T. Patógeno fueron los más afectados negativamente. En carotenoides en hoja el T. Patógeno fue superior, mientras que el tratamiento con 250 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que mayor efecto negativo presentó. En Carotenoides en fruto, el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> de NPs de Cu + 460 mg L<sup>-1</sup> de Silicio fue el que presentó mejores resultados mientras que el más afectado fue el T. Patógeno. En vitamina C no se presentaron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Se observó que el contenido de licopeno fue mayor en el tratamiento con  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $460 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio, sin embargo es estadísticamente igual a los tratamiento que contienen interacciones de NPs de Cu + Si, esto puede ser debido a que dichas interacciones modificaron la composición química del fruto, a comparación del T. Absoluto y T. Patógeno que no se les aplicó el Silicio y las NPs de Cu los cuales mostraron resultados inferiores. Estos resultados fueron similares a Hernandez-Hernandez (2018) en donde aplicaciones de NPs de Cu + hidrogeles de quitosano-PVA, se mostraron un incremento en el contenido de licopeno con respecto al testigo

El contenido de carotenoides en hoja fue mayor en el T. Patógeno sin embargo es estadísticamente igual a los demás tratamientos, esto pudo haber sido a que dicho tratamiento fue el que sufrió más estrés por ataque directo del patógeno, provocando un aumento en el contenido de carotenoides en la hoja que es uno de los tejidos que más afecta dicho patógeno.

Esto coincidiendo con trabajos realizados por Suarez *et al.* (2012) donde demuestran que los carotenoides se producen por células vegetales ubicados en las hojas de las plantas y estos se liberan más fácilmente donde existe algún tipo de estrés como: falta de oxígeno, heridas y ataque por patógenos que fue con los que se trabajó en dicho experimento.

Se observó que la aplicación con  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de NPs de Cu +  $460 \text{ mg L}^{-1}$  de Silicio incrementó el contenido de carotenoides en fruto, siendo superior a ambos testigos, esto pudo haber sido a que el silicio ayudó en el aprovechamiento de la luz del sol ya que se le atribuye dicha propiedad a dicho elemento, esto ayudando a la maduración más rápida en los frutos aunque no coincide con trabajos realizados por Suarez *et al.* (2012) donde en sus trabajos demuestra que el contenido de carotenoides en el fruto aumenta cuando la planta está sometida a un estrés generalmente por patógenos.

En base al contenido de vitamina "C" no hubo diferencia estadísticamente significativa en ningún tratamiento esto puede ser a que el tomate es rico en cierta vitamina aunque puede variar su concentración acuerdo a las condiciones

climáticas que esté se presente, esto no coincide con trabajos realizados por Hernández-Hernández *et al.* (2018) quienes demuestran que aplicaciones de NPs de Cu en hidrogeles de quitosano-PVA obtuvieron un incremento en la vitamina “C”.

**Tabla 10. Contenido de antioxidantes en plantas de tomate.**

Tratamientos (NPs de Cu + Si) (ppm)	Licopeno	Carotenoides en hoja	Carotenoides en fruto	Vit. C
T. Absoluto (0+0)	0.18 C	0.12 AB	0.06 BC	34.47 A
250+184	0.25 AB	0.15 AB	0.08 AB	40.03 A
250+460	0.24 BC	0.08 B	0.08 AB	39.73 A
50+184	0.29 AB	0.17 A	0.10 A	39.00 A
50+460	0.32 A	0.14 AB	0.11 A	38.87 A
T. Patógeno	0.18 C	0.18 A	0.05 C	34.92 A

Medias por columna con una letra común no son significativamente diferentes según LSD ( $p \leq 0.05$ ). Licopeno: en mg/100 g de peso fresco. Carotenoides en hoja:  $\beta$ -caroteno en ml/100g. Carotenoides en fruto:  $\beta$ -caroteno en ml/100g. Vit C: Vitamina C en mg/g de peso fresco.



## V. CONCLUSIONES

Los tratamientos con NPs de Cu + Silicio tuvieron un efecto positivo en el rendimiento con respecto al T. Patógeno.

En las variables agronómicas los tratamientos con NPs de Cu + Silicio no presentaron diferencia estadística significativa con respecto al T. Patógeno.

La tolerancia al daño producido por el patógeno se pudo observar en todos los tratamientos con NPs de Cu + Silicio principalmente hasta los 50 días después de haber sido inoculadas.

En la calidad de fruto, las dosis altas de silicio mejoraron la firmeza, SST, y pH, mientras que una alta concentración de NPs de Cu aumentó la conductividad eléctrica en el fruto.

En cuanto al contenido de antioxidantes una alta dosis de silicio aumento el contenido de licopeno y carotenoides en fruto, mientras que el contenido en vitamina C siempre fue mayor en todos los tratamientos con interacciones de NPs de Cu + Silicio aunque no fueron estadísticamente significativas.

## VI. LITERATURA CITADA

- Apodaca, S. A., Tan, W., Dominguez, O. E., Hernandez-Viezcas, J. A., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2017). Physiological and biochemical effects of nanoparticulate copper, bulk copper, copper chloride, and kinetin in kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Science of the Total Environment*, 599–600, 2085–2094.
- Arce, M. H. (2012). Silicio para la Nutrición y Protección Vegetal. *Silicio Para La Nutricion y Proteccion Vegetal*, 1–3.
- Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Fahad, S., Rizwan, M., Mustafa, G., & Rabbani, F. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants : A review. *Crop Protection*, 104(March 2017), 21–34.
- Bielsa, A. P., Martinez, A. A., & Alvarez, M. C. (2010). Centro de Protección Vegetal *Clavibacter michiganensis* subsp . *El Chancro Bacteriano Del Tomate*, 1, 2–4.
- Bojórquez, R. M. C., Gallego, J. G., & Collado, P. S. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutricion Hospitalaria*, 28(1), 6–15.
- Borda, O. A., Barón, F. H., & Gómez, M. I. (2007). El silicio como elemento benéfico en avena forrajera ( *Avena sativa* L .): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo Silicon as a beneficial element in forage oat ( *Avena sativa* L .): physiological responses of growth and management. *Agronomia Colombiana*, 25(2), 273–279.
- Castillo, C. F., Álvarez, E., Gómez, E., Llano, G. A., & Zapata, J. C. (2010). Mejoramiento Nutricional de la Rosa para el Manejo de *Peronospora Sparsa* Berkeley, causante del mildew velloso. *Botánica*, 34, 137–142.
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11–23.
- Edgar, Z., & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México : un desarrollo incierto Nanotechnology in Mexico : an uncertain development. *Economia*

- Sociedad y Territorio*, 32, 143–178.
- Escalona, V. (2009). MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE. *InnovaChile CORFO*, 1, 1–60.
- FAO. (2013). *Agricultura para el desarrollo*.
- FIRA. (2016). Tomate rojo 2016. *Panorama Agroalimentario*, 33. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf)
- Gómez, H. G., Godina, F. R., Ortiz, H. O., Mendoza, A. B., Torres, V. R., & Fuente, M. C. de la. (2017). Use of Chitosan-PVA Hydrogels with Copper Nanoparticles to Improve the Growth of Grafted Watermelon. *Molecules*, 22, 1–10.
- González, C., Prado, L. de M., Campos, R. S., & Naudi, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36, 16–24.
- Herrera, A. (2013). Efecto del Silicio y Plaguicidas en la Fertilidad del Suelo y Rendimiento del Arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 365–378.
- Juarez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Pérez-Labrada, F., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89(May), 183–189.
- Judith, P., & Miguel, U. (2013). Beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo sin suelo, del tomate. *ResearchGate*, 1(June), 1–13.
- M. A. Baset Mia, P. D. (2015). *Nutrition of crop plants*.
- Martínez Alméciga, J. G. (2012). Deposición y análisis del crecimiento de películas delgadas de silicio fabricado por PECVD. *Universidad Nacional de Colombia*, 1, 1–78.
- Noormans, A. G. (2010). Impact of Nanotechnology in Food Production Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos. *Impacto de La Nanotecnología En La Produccion de Alimentos*, 4(4), 28–35.
- Obregón, V. (2014). Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero.
- Pájaro Castro, N., Olivero Verbel, J., & Redondo Padilla, J. (2013). Nanotecnología

- aplicada a la medicina. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11(1), 125–133.
- Peña, D. G., & Costales, D. (2014). EN EL CRECIMIENTO Y LA ACTIVIDAD DE ENZIMAS DEFENSIVAS EN TOMATE ( *Solanum lycopersicum L.* ) Influence of a chitosan polymer in the growth and the induction of defensive enzymes in tomato ( *Solanum lycopersicum L.* ). *Cultivos Tropicales*, 35(1), 35–42.
- Pérez, A. J. (2011). Tomate. *Guía Técnica*, 1, 1–48.
- Pérez, J. C. R., & Mancilla, C. L. A. (2012). El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas. *Conciencia Tecnológica*, 43, 42–46.
- Quintero, J. A. O., Osorio, D. L., Mercado, C. P., Hernández, C. S., & Hernández, M. Á. S. (2017). III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017 RESPUESTA EN CHILE MANZANO A LA ABSORCIÓN. *COMEII--17021*, 3, 1–12.
- Rosa, C., & Chalco, Q. (2010). Nanotecnología en la agricultura. *Revista de Información Tecnología y Sociedad*, 1, 72–73.
- SAGARPA. (2010). Monografía del Jitomate. *Monografía de Cultivos*, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SAGARPA. (2016). Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación | Gobierno | gob.mx. Retrieved October 1, 2017, from <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/exportaciones-de-tomate-aumentan-22-7-por-ciento-en-cinco-meses>
- Saldivar, H. L., Suárez, M. H., & Flores, J. corrales. (2014). Nanotecnología para la agricultura sustentable 1. *Fundación Produce Coahuila A.C.*, 1, 1–44.
- Sánchez, G. R., Mercado, E. C., Peña, E. B., Cruz, H. R. de la, & Pineda, E. G. (2010). El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas*, 12(2), 90–95.
- Santos, B. M., Obregón-Olivas, H. A., & Salamé-Donoso, T. P. (2010). Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos : Estructuras para la Agricultura Protegida. *UF/IFAS Extension University of Florida*, 1, 1–5.
- Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. *INIA*, 12, 11–12.

Vanlerberghe, G. C. (2013). Alternative oxidase: A mitochondrial respiratory pathway to maintain metabolic and signaling homeostasis during abiotic and biotic stress in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 6805–6847.

Vidal, A. M. (2010). Tesis doctoral. *Universitat Jaume*.