

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Actividad Antifúngica *in vitro* de Nanopartículas de Óxido de Zinc como Alternativa de Control de *Alternaria alternata*

Por:

**ROSALINO MÉNDEZ MOTA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Actividad Antifúngica *in vitro* de Nanopartículas de Óxido de Zinc como Alternativa de Control de *Alternaria alternata*

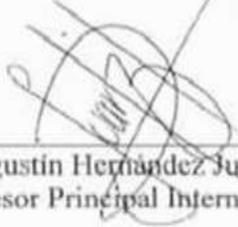
Por:

**ROSALINO MÉNDEZ MOTA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



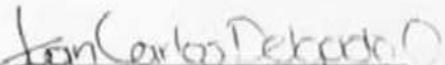
Dr. Agustín Hernández Juárez  
Asesor Principal Interno



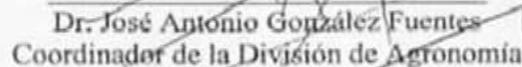
M.C. Ana María González Merino  
Asesor Principal Externo



Dr. Epifanio Castro del Ángel  
Coasesor



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz  
Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

### Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Rosalino Méndez Mota

## AGRADECIMIENTOS

### A mi **ALMA TERRA MATER**

Por haberme abierto las puertas a una gran institución, lleno de ilusiones, sueños por alcanzar. Por haberme cobijado durante mi carrera, por darme las bases y herramientas para poder ser un ingeniero, infinitamente gracias mi querida UAAAN en tus instalaciones pude conocer a muchos amigos, a mis profesores y muchas personas más, Gracias a ti mi casa de estudios, he llegado al final de esta importante etapa de mi vida.

### AL DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA

A todo el personal que integra este grandioso departamento, desde la persona de limpieza, el almacenista, hasta el jefe de departamento, a ustedes gracias por poner un granito de arena para formar profesionistas que brindan las bases necesarias, ustedes que tienen el gusto y la preparación para poder formar profesionistas. Gracias por su gran trabajo.

**GRACIAS DIOS** por permitirme llegar a este punto de mi vida, por ser lo que soy y lo que no soy, por lo que tengo, por las experiencias, por darme salud, por tener una gran familia, no fue fácil y aunque a veces parecía imposible, pero con la fe puesta en ti, me diste la fuerza necesaria para salir adelante. † Gracias Dios, tú solo dame salud, que yo me encargo de lo demás...

A mi asesor principal: **DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ** por su apoyo, por brindarme la oportunidad y confianza para poder realizar este proyecto, por dedicarme su tiempo, por sus aportaciones, por todo su apoyo y sus consejos que recibí durante mi carrera profesional.

A mi asesor principal externo: **M.C. ANA MARÍA GONZÁLEZ MERINO** por el grandioso apoyo que me brindo, por todas sus aportaciones en este proyecto, que fue parte muy importante, gracias por su tiempo y paciencia.

A mis co-asesores: **DR. EPIFANIO CASTRO DEL ÁNGEL** y **DR. JUAN CARLOS DELGADO ORTIZ** gracias por su tiempo y su apoyo brindado en la revisión de trabajo, por sus aportaciones para mejorar esta tesis.

### **GRACIAS A MIS PROFESORES**

A todos mis maestros y maestras que me transmitieron un poco de sus conocimientos, por sus consejos, por su gran paciencia para enseñarme, por formarme para poder ser ingeniero, gracias a ustedes logre terminar mi carrera en esta tan prestigiosa institución.

### **A MIS COMPAÑEROS DE GENERACIÓN**

Existen otra familia diferente a la del hogar esos son ustedes, hace algunos años llegamos con la misma meta, siendo unos completos desconocidos, pero gracias a todo eso pudimos conocernos, compartir muchas, rizas, preocupaciones, experiencias buenas y malas, gracias a todos los que me apoyaron para alcanzar esta meta. En especial a ustedes José Zarate, Meralida Bartolón, Sonia Sánchez, Cristian Gonzáles, Jaime Rojo, Fabián Quiroz, Yesenia Ramos, Joel De Santiago, Fernando López, Fátima Gutiérrez y todos los demás.

**GRACIAS A TODA MI FAMILIA** y a las personas que me apoyaron durante mis estudios, a los que contribuyeron positivamente para llegar a cumplir mis sueños de terminar una carrera, de igual forma gracias a las personas que siempre decían que “solo perdía el tiempo”, que el estudio es una pérdida de tiempo y dinero, gracias a ustedes yo me motivaba, sabia quizá era verdad, pero siempre tuve la idea de demostrar que estaban equivocados, gracias a ustedes me dieron el coraje para seguir adelante.

## DEDICATORIA

Para mi mamá **HORTENCIA MOTA SILVESTRE**

Jamás podré pagarle lo que ha hecho por mí, quien siempre ha estado conmigo apoyándome, usted que siempre confió en mí para lograrlo, me dio la oportunidad que usted no tubo, de usted aprendí que nunca hay que darse por vencido, que el que persevera alcanza. Gracias por su gran sacrificio que ha hecho por mí, por sus consejos, por motivarme a estudiar cuando yo ya no quería, que terminara una carrera, porque sin usted no lo habría logrado, quiero que se sienta orgullosa y parte de esta meta cumplida, es más de usted que mía, con mucho cariño querida mamá.

Para mi papá **ROSALINO MÉNDEZ ZAMORA**

Han transcurrido muchos años desde el día que nací, desde ese entonces ya estaba buscando la manera de ofrecerme lo mejor. Sé que no ha sido fácil trabajar de sol a sol en el campo, sin importar lo cansado que usted estuviera, siempre buscando lo mejor para mí y nuestra familia, muchos de mis logros han sido por usted incluidos este, no fue fácil, pero usted siempre busco la forma de salir adelante, apoyarme, la forma de alcanzar lo que a veces parecía imposible, por todo su esfuerzo dedicación y paciencia esta meta es dedicada para usted querido papá.

Para **MIS HERMANOS**

Para ustedes **MOY, ALE, CRY, TERE** porque a pesar de todo siempre han estado para mí; apoyándome en todo lo que fuera necesario, porque a pesar de todo pudieron entenderme, por a pesar de estar separados mucho tiempo en todo momento me motivaron, gracias a ustedes mi sueño esta por culminarse y es dedicado para todos ustedes, los quiero mucho hermanos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURA</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivo</b> .....	<b>3</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
El cultivo de tomate .....	4
Características botánicas .....	8
Requerimientos ambientales del cultivo de tomate.....	11
Sistemas de Producción .....	13
Principales enfermedades en tomate .....	14
Principales enfermedades causadas por bacterias en tomate .....	22
Virus del bronceado del tomate, Tomato Spotted Wilt orthotospovirus (TSWV)(Tospoviridae) .....	26
Nematodo agallador <i>Meloidogyne incognita</i> (Kofoid and White) (Meloidogynidae) .....	26
Principales insectos plaga en el cultivo de tomate .....	27
Arañita roja de dos manchas, <i>Tetranychus urticae</i> (Koch) (Tetranychidae) .....	29
Nanotecnología .....	30
Nanopartículas en la agricultura.....	31
Interacción entre nanopartículas y plantas .....	31
Efecto microbiano de las nanopartículas de óxido de zinc .....	32
Modo de acción de las nanopartículas .....	32
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>34</b>
Ubicación del experimento .....	34
Obtención del Óxido de Zinc (ZnO) .....	34
Síntesis y caracterización de Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPs-ZnO) .....	34
Aislamiento y purificación de <i>Alternaria alternata</i> .....	34
Identificación morfológica de <i>Alternaria alternata</i> .....	35
Identificación molecular de <i>Alternaria alternata</i> .....	35
Evaluación <i>in vitro</i> .....	37
Diseño experimental .....	38
Evaluación de crecimiento micelial y concentración de conidios.....	38

Análisis de resultados.....	39
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>49</b>

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Variedades de tomate tipo saladette, de diferentes empresas semilleras, para su cultivo en invernadero. ....	5
Cuadro 2. Variedades de jitomate tipo bola de diferentes empresas semilleras, para su cultivo en invernadero.....	6
Cuadro 3. Volumen de producción de tomate en las principales entidades mexicanas en 2020.....	7
Cuadro 4. Clasificación taxonómica del tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .....	8
Cuadro 5. Número de hojas entre inflorescencia en diferentes patrones de crecimiento. ....	9
Cuadro 6. Medias del porcentaje de inhibición micelial, porcentaje de inhibición de esporulación $\pm$ desviación estándar de <i>Alternaria alternata</i> en medio PDA a diferentes concentraciones de NPs-ZnO y ZnO a 12 días de evaluación. ....	41
Cuadro 7. Concentración inhibidora del crecimiento micelial y de la esporulación y límites fiduciales por NPs-ZnO y ZnO aplicados a <i>Alternaria alternata</i> en medio PDA a 12 días de evaluación. ....	44

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Productos de PCR visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 2% .....	37
Figura 2. Micrografía de microscopio electrónico de transmisión de alta resolución de la morfología semiesférica de nanopartículas de óxido de zinc e histograma de distribución del tamaño de partícula .....	40
Figura 3. Actividad antifúngica de NPs-ZnO sobre <i>Alternaria alternata in vitro</i> .....	42
Figura 4. Actividad antifúngica de ZnO sobre <i>Alternaria alternata in vitro</i> .....	43

## RESUMEN

En México, el tomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) es uno de los cultivos más importantes por la superficie cultivada, además de los ingresos generados y, su importancia en la gastronomía. La producción de este cultivo es afectada por una gran cantidad de microorganismos fitopatógenos que merman su rendimiento, tales como: bacterias, hongos, virus. El moho negro *Alternaria alternata* (Fries) Keissl- (Pleosporaceae) ocasiona desde ocho hasta 50% daño en el fruto, principalmente en periodos prolongados de alta humedad, representando pérdidas significativas al productor. Se evaluó la actividad antifúngica *in vitro* de nanopartículas de óxido de Zinc (NPs-ZnO) y óxido de zinc (ZnO) sobre el control de *A. alternata* bajo condiciones de laboratorio. Para determinar la actividad antifúngica se prepararon medios de cultivo envenenados con ZnO y NPs-ZnO, en el cual se colocó un explante en el medio sólido. El arreglo experimental fue completamente al azar con dos tratamientos con ocho concentraciones (3000, 2000, 1600, 1200, 800, 400, 200, 100 ppm) y un testigo absoluto (0 ppm), y cuatro repeticiones cada una. Se evaluó el efecto de las NPs-ZnO sobre el crecimiento del micelio de *A. alternata* y la concentración de esporas del hongo. A concentraciones altas de NPs-ZnO (3000 y 2000 ppm) inhibieron el crecimiento micelial con 86.7 y 85.1% respectivamente. En la concentración de esporas, las concentraciones de 1200-3000 ppm alcanzaron un 100% de inhibición. Las NPs-ZnO, tienen una aplicación potencial como agente antifúngico y pueden utilizarse como una alternativa en el control del hongo fitopatógeno *A. alternata*. Las nanopartículas como fungicidas son una estrategia novedosa, que demanda investigación futura, principalmente pruebas de semicampo y campo.

Palabras clave: *Alternaria alternata*, fitopatógenos, moho negro, nanopartículas, nanotecnología, pesticidas, tomate.

## INTRODUCCIÓN

El tomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae), es la hortaliza más importante en México, se cultiva para atender la demanda nacional y de exportación, es una planta herbácea de tallo grueso, el fruto es una baya y es de color rojo, proporciona vitaminas A y C, reconocida como una fuente importante de alimento por su alto contenido de licopeno, fuente de antioxidantes y antiinflamatorio, y otros múltiples beneficios para la salud (SIAP, 2021).

En 2018 se produjeron en el mundo 182, 258,016.0 t de tomates frescos, los principales países productores son China (aporta una tercera parte de la producción mundial), India y Estados Unidos; de esta cantidad México produjo 4, 559,375.0 t, de las cuales 778,425.0 t de tomate verde y 3,780,950.0 t de tomate rojo/rojo jitomate, como también es conocido en México. Posicionado como el noveno país productor; México es a nivel mundial el principal exportador de esta hortaliza, cuyos destinos son Estados Unidos, Canadá, Japón y Costa Rica (CEDRSSA, 2020).

Actualmente las enfermedades causadas por agentes bióticos en el cultivo de tomate son una limitante en muchas partes del mundo, afectando el proceso productivo y la comercialización. Actualmente existen cerca de 58 enfermedades, provocadas por hongos, antibióticos, virus y nematodos (Fernández *et al.* 2013). Las enfermedades postcosecha representan un factor importante en las pérdidas de hasta un (47%) durante el almacenamiento, producción y distribución del tomate, debido a la pérdida de calidad y contaminación (Rodríguez-Guzmán *et al.* 2019). Una de las causas principales de enfermedades en frutas y hortalizas es originada por la acción de hongos fitopatógenos, entre las que destaca *Alternaria alternata* (Fries) Keissl. patógeno de postcosecha causante de la pérdida de calidad del producto, por los importantes daños en el tejido, los cuales se presentan durante los procesos de comercialización desde la cosecha hasta el consumidor final, reduciendo su vida útil (Flores *et al.* 2013).

En México, la agricultura tradicional y el uso desmedido de productos químicos ha provocado un gran incremento de plaguicidas, debido a que el control químico es la

herramienta principal para el control de hongos fitopatógenos. Durante el periodo de 1990-2018, se incrementó el uso de fungicidas y antibióticos un 104% (CERDSSA, 2020). Los pesticidas se dispersan en el medio ambiente, contaminando el agua, aire, suelos, provocando desertificación, amenazan la estabilidad de muchas especies, además de contaminar los alimentos. La salud humana también es afectada por los por plaguicidas, por varias vías, como inhalación, al contacto, por los alimentos, etc., ocasionando enfermedades agudas y crónicas (Del Puerto *et al.* 2014; Ramírez, 2018).

La tecnología a escala nanométrica es una de las mejores innovaciones de los últimos tiempos, la nanotecnología (NT) permite controlar y modificar la materia a escala nanométrica de 1 a 100 nm aproximadamente. Las nanopartículas (NPs) tienen un amplio campo de aplicación, las cuales dependen de su tamaño, forma y estabilidad. Su uso se encuentra enfocado en áreas como la agricultura, química, ingeniería, biomédica y el área textil, los nanomateriales potencializan el desarrollo y amplían los límites en estos diversos campos (Esquivel *et al.* 2021).

Ante la gran problemática causada por el uso desmedido de pesticidas y la contaminación del medio ambiente, la nanotecnología ha diseñado materiales para tratar de frente la problemática en este sector. Nanofertilizantes, nanocápsulas, nanosensores y nanopesticidas se han estado utilizando en una gran variedad de cultivos, con el objetivo de ocasionar un menor impacto ambiental, obtener mayores rendimientos y calidad de productos agrícolas (Medina y Fernández, 2018). Las NPs-ZnO han ganado importancia como agentes de control microbial sobre una gama de fitopatógenos (Singh *et al.* 2010), como *Penicillium expansum* Enlace. (Eurotiales: Trichocomaceae), *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. (Helotiales: Sclerotinicaeae), *Aspergillus flavus* Link, *A. niger* P.E.L. van Tieghem, *A. fumigatus* Fresenius (Eurotiales: Trichocomaceae), *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. y *F. oxysporum* (Hypocreales: Nectriaceae) (Rajiv *et al.* 2013; Jamdagni *et al.* 2018, 2019; González-Merino *et al.* 2021).

## **Justificación**

El uso excesivo de agroquímicos genera daño al medio ambiente y a los productores afectando su salud, además de pérdida de efectividad como estrategia de control y desarrollo de resistencia en los fitopatógenos. Se buscan alternativas efectivas de control de fitopatógenos y que disminuya el daño causado al medio ambiente y la salud por plaguicidas químicos.

## **Objetivo**

Evaluar la actividad antifúngica *in vitro* de nanopartículas de óxido de zinc para el control de *Alternaria alternata*.

## **Hipótesis**

La aplicación *in vitro* de nanopartículas de óxido de zinc inhibirá el crecimiento micelial y concentración de esporas de *Alternaria alternata* al menos en un 80%.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **El cultivo de tomate**

El tomate es la hortaliza que más se cultiva en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta de una manera continua y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento, y en menor proporción al aumento de la superficie en invernadero. Es cultivado en muchas zonas, con amplia variación de condiciones de clima y suelo, aunque se cultiva principalmente en climas secos, tanto para producción en estado fresco como para uso agroindustrial (Monardes, 2009).

El tomate es cultivado en muchas zonas, con una amplia variabilidad en condiciones de suelos y clima, pero se adapta más a climas secos, tanto para consumo fresco como para uso agroindustrial (Pérez, 2017). Se utiliza en ampliamente como un condimento en la gastronomía y en la industria de enlatados, las semillas contienen un 24% de aceites útiles para ensaladas y jabones. Los residuos son utilizados para alimento de animales, ya que aporta una importante fuente de vitaminas y minerales (Rodríguez y Morales, 2007).

### **Origen**

El origen del género *Solanum* se ubica en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero al parecer fue en México donde se domesticó, quizá porque crecía como maleza en huertos. Durante muchos años se consumía en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos y para ese entonces se había llevado a varios países de Europa, donde fueron utilizados como alimento y en farmacia (Jiménez y Oseas, 2017).

### **Variedades más importantes en México**

El tomate es un cultivo muy popular, cultivado en todo el mundo, en donde existen muchas variedades. En México las principales variedades que se producen son el tomate tipo bola, se caracteriza por tener una forma redonda, con un peso promedio entre 70-100g. El tomate saladette que se caracteriza por tener 3 lóculos, una forma larga alongada su color es rojo brillante. El tomate cherry, la variedad más pequeña, de color rojo, con un sabor dulce y un

peso promedio de 10-20 gr, con un diámetro de 1.6-2.5cm (Notario y Sosa, 2012), además de otras igual de importantes, aunque con menor producción (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Variedades de tomate tipo saladette, de diferentes empresas semilleras, para su cultivo en invernadero.

Nombre de la Variedad	Nombre de la Empresa	Larga vida de anaquel	Tamaño de fruto	Resistencias
Babarian F1	Harris Moran	Si	Mediano a grande (120 a 150g).	<i>Fusarium</i> razas 1 y 2, <i>Verticillium</i> , virus mosaico del tomate
El Cid F1	Harris Moran	Si	Grande y extragrande (140 a 160g)	<i>Fusarium</i> razas 1 y 2, <i>Verticillium</i> , virus mosaico del tomate, <i>Meloidogyne arenaria</i> , <i>M. incognita</i> y <i>M. javanica</i>
Samurai	Harris Moran	Si	Grande (120 a 150g)	<i>Fusarium</i> , razas (1 y 2), <i>Verticillium</i> , <i>Stemphyllium solani</i> , virus mosaico del tomate, <i>Meloidogyne arenaria</i> , <i>M. incognita</i> y <i>M. javanica</i> .
Cauhtémoc F1	Harris Moran	Si	Extragrande	<i>Verticillium</i> , ToMV. Resistencia Intermedia a TSWV, TYLC.
Persistente F1	Caloro	Si	Peso promedio de 130 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> razas 1 y 2, y nematodos.
Eterno	Caloro	Si	Tamaños	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> , razas 1 y 2, nematodos, <i>Pseudomonas solanacearum</i> y marchites manchada.
Rio Superior	Caloro	Si	Fruto grande y firme	<i>Fusarium</i> razas 1, 2 y 3, <i>Verticillium</i> , nematodos y <i>Pseudomonas solanacearum</i>
Mejorado F1	Vilmorin	Si	Excelente tamaño de fruto	<i>Fusarium</i> razas 1, 2 y 3
Reserva F1	Vilmorin	Si	Frutos de 120g	No especifica
Juan Pablo	Us Agriseeds	Si	Frutos grandes y extragrandes (130 a 135g)	<i>Fusarium</i> razas 1 y 2, nematodos, <i>Verticillium</i> virus mosaico del tomate y <i>Cladosporium</i>
Nun 3061	Nunhems	Si	Frutos grandes	No especifica
Soberano	Zeiraim México	Si	NE	<i>Fusarium</i> raza 1, 2 y 3, <i>Verticillium</i> , virus mosaico del tomate
Sun7705	Nunhems	Si	Frutos grandes y extragrandes	No especifica

Pérez y Castro, 2012.

Cuadro 2. Variedades de jitomate tipo bola de diferentes empresas semilleras, para su cultivo en invernadero.

Nombre de la Variedad	Nombre de la Empresa	Larga vida de anaquel	Tamaño de fruto	Resistencias
Grandella	Western seed	Si	ME	Virus mosaico del tabaco, <i>Fusarium</i> raza 2, <i>Verticillium</i> y nematodos
Barón	Zeraim	Si	Peso promedio (250 y 300g)	<i>Fusarium</i> razas 1, 2 y 3, <i>Verticillium</i> , virus mosaico del tomate, nematodos
Calmán	Ensa Zaden	Si	Peso Mayor (120 a 150g)	<i>Verticillium</i> , <i>fusarium</i> raza 2 y nematodos
Imperial	Ensa Zaden	Si	Peso Mayor (250g)	<i>Verticillium</i> , <i>fusarium</i> raza 2 y nematodos
Liberty	Hazera Seeds	Si	Grande (250 a 300g)	<i>Fusarium</i> raza 3
Tyto 20	ROGERS Brand/Syngenta seeds	Si	Mediano a grande (200 a 250g)	<i>Fusarium</i> raza 3
Forenza	Rijk Zuaan	Si	Grande (250g)	<i>Fusarium</i> razas 1, 2 y 3 <i>Verticillium</i> , nematodos y <i>Pseudomonas solanacearum</i>

Pérez y Castro, 2012.

### Producción mundial

En 2018, la producción mundial de tomate se ubicó en 182.2 millones de toneladas. Entre 2007 y 2017, creció a una tasa promedio anual de 2.9 por ciento. Lo anterior, impulsado principalmente por incrementos en la productividad promedio. El 61% de la producción se concentró en cinco países: China (32.6 por ciento), India (11.4 por ciento), Turquía (7.0 por ciento), Estados Unidos (6.0 por ciento) y Egipto (4.0 por ciento). México ocupó la novena posición con una participación de 2.3% (FIRA, 2019; CEDRSSA, 2020).

### Producción en México

El 50% de la producción nacional de tomate está concentrada en cinco entidades, Sinaloa (20.3 %), San Luis Potosí (11.3%), Michoacán (7.4 %), Jalisco (5.8 %) y Baja California Sur (5.2%) (Cuadro 3) (SIAP, 2021).

Cuadro 3. Volumen de producción de tomate en las principales entidades mexicanas en 2020.

<b>Entidad</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (miles de pesos)</b>
Sinaloa	684,333.47	8,376,109.51
San Luis Potosí	380,174.99	4,088,686.01
Michoacán	248,498.79	2,512,355.13
Jalisco	196,897.01	1,641,492.56
Baja California Sur	175,026.99	1,558,480.31
Morelos	161,183.35	1,033,084.05
Querétaro	135,311.82	1,334,832.31
Puebla	134,160.22	864,798.16
Sonora	117,263.45	729,757.80
Estado de México	113,559.30	849,342.49
<b>Total nacional</b>	<b>3,370,826.65</b>	<b>31,681,937.42</b>

SIAP, 2021.

### **Principales municipios productores de tomate rojo**

El 35.5 por ciento de la producción nacional de tomate en el 2017 se obtuvo en diez principales municipios productores de esta hortaliza. Navolato, Sin. (9.3%), Culiacán, Sin. (8.6%), Ensenada, B.C. (5.2%), Elota, Sin. (2.6%), Guasave, Sin. (2.2%), Fresnillo, Zac. (1.7%), Mulegé, B.C.S. (1.6%), Villa de Guadalupe, S.L.P. (1.5%), Tanhuato, Mich. (1.4%) y Colón, Qro. (1.4%) (SIAP-SADER, 2018, citado por FIRA, 2019).

### **Superficie cosechada en México**

Actualmente la cantidad de hectáreas cosechadas de tomate mantiene una estimación por arriba de las 50,000 ha, presentando el más bajo nivel en 2011; así mismo se puede ver un incremento en la producción, ya que de 2008 a 2018 hubo un aumento de 1, 517,748.1 ton, y es en el año 2018 cuando se tiene el mayor volumen histórico registrado en la producción obtenida y en valor de comercialización en estos años, aumento que se ve reflejado gracias a que la mayor parte de este rendimiento lo aporta la agricultura tecnificada bajo invernadero (CEDRSSA, 2020). Para la producción 2020 disminuyó un 9.7% la superficie cosechada a 45,167,93 ha (SIAP, 2021).

### Consumo nacional

Por otra parte, el consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 14.3 kilogramos por año, volumen que es inferior al consumo per cápita promedio mundial, de 19 kilogramos (SIAP, 2021).

### Clasificación taxonómica

Cuadro 3. Clasificación taxonómica del tomate *Solanum lycopersicum*

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Asteranae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>S. lycopersicum</i> L.

Integrated Taxonomic Information System Report Page, 2021

### Características botánicas

#### Planta

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta (Jiménez y Oseas, 2017), principalmente presenta dos hábitos en su crecimiento: determinado e indeterminado. La planta con un crecimiento indeterminado es la normal y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo desordenado sin ningún límite. Su tallo se presenta con segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia terminando con un ápice. Lo contrario donde es limitada la planta presenta tallos con segmentos que presenta progresivamente menos hojas por inflorescencia, poseen inflorescencias apicales (Monardes, 2009).

### **Plantas de crecimiento indeterminado**

Los tallos principales de las plantas y laterales crecen en un patrón continuo, siendo la yema terminal del tallo la que se desarrolla en el siguiente tallo. El cultivo extiende la floración, (cuadro 5) fructificación y la cosecha por periodos muy largos. Por lo general son cultivadas en invernaderos y casas con malla sombra y tutoreo. Poseen condiciones adecuadas para un crecimiento continuo dado que forman hojas y flores de manera ilimitada. La aparición de flores en racimos y su grado de desarrollo son escalonados. Las primeras flores pueden estar totalmente abiertas, mientras que las ultimas aún no se abren (López, 2017).

### **Plantas de crecimiento determinado**

Los tallos principales de las plantas y laterales detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias, según la variedad. Son de porte bajo y compacto producen frutos durante un periodo de tiempo relativamente corto. Su crecimiento se detiene después de la aparición de varios racimos, con la formación de un último racimo en el ápice. Se puede cosechar de uno a tres veces durante el ciclo del cultivo (López, 2017).

### **Plantas de crecimiento semi-determinado**

Se caracterizan por la interrupción del crecimiento de sus tallos después de un determinado número de inflorescencias, usualmente en una etapa muy avanzada del ciclo del cultivo (Haifa Group, 2014).

Cuadro 4. Número de hojas entre inflorescencia en diferentes patrones de crecimiento.

	<b>Nº de hojas antes de la inflorescencia</b>	
	<b>Indeterminado</b>	<b>Determinado</b>
1 <sup>era</sup> inflorescencia	6-14	4-3
2 <sup>da</sup> inflorescencia	5-7	2-3
3 <sup>era</sup> y siguientes inflorescencias	3-5	0-1

Haifa Group, 2014.

### **Sistema radical**

Está constituido por la raíz principal, de la cual surgen varias raíces secundarias. Las raíces se extienden superficialmente más de un metro de diámetro, superando los 40 cm de

profundidad, el 70% de las raíces se localizan a menos de 20 cm de profundidad (Flores, 2012).

### **Tallo principal**

Son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Su eje tiene un grosor de 2-4 cm en su base, en el mismo se van desarrollando hojas alternas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inicia los nuevos primordios foliares y florales (Monardes, 2009).

### **Hojas**

Son compuestas e imparipinnadas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos (Hernández, 2013).

### **Flor**

Es perfecta, regular hipógina consta con 5 o más sépalos, de igual número de pétalos y su color característico amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, un cono estaminal que envuelve al gineceo, de un ovario bi o plurilocular. Se agrupan en inflorescencias de tipo racimo compuesto de 3 a 12. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas axilares, las flores necesitan de una temperatura ideal para polinizar (Nuño *et al.* 2007).

### **Fruto**

Es una baya dividida en su interior por celdas (cinco a 10 celdas dependiendo de la variedad) presenta variación en tamaño, color, peso y consistencia dependiendo de los cultivares. La superficie del fruto es lisa o lobulosa, y brillante al madurar. Al ser joven la fruta tiene una superficie con una leve vellosidad que luego desaparece. Su forma usualmente es globosa o

deprimida en uno de los extremos (oblada), existen formas casi cuadradas, alargadas, ovaladas y en forma periforme (Fornaris, 2007).

### **Semilla**

Son peludas, aplanadas color marrón las cuales están cubiertas por un tejido que impide su germinación por un mecanismo hormonal (Roselló y Porcuna, 2012). Tiene unas dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm. Si se desea almacenar por periodos prolongados es recomendable hacerlo a humedad del 5.5%. Una semilla de calidad deberá tener un porcentaje de germinación arriba del 95% (PROMOSTA, 2005).

## **Requerimientos ambientales del cultivo de tomate**

### **Temperatura**

La temperatura más favorable para un buen desarrollo de la planta oscila entre 20 y 26 °C, a temperaturas mayores a 26 °C el desarrollo de la planta es afectado (Roselló y Porcuna, 2012). Temperaturas superiores a los 30-35 °C afecta el fructificado, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 2 °C, la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto es muy dependiente de la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10 °C, así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas (Hernández, 2013).

### **Humedad relativa**

La humedad relativa en el desarrollo del tomate requiere que la misma oscile entre 60 y 80%, no obstante, se debe manejar este factor con cuidado debido a que humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y bacterias, además, dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta abortando parte de las flores. Este factor se le vincula al agrietamiento de frutos, cuando se presenta un periodo de estrés hídrico y luego se produce un exceso de humedad en el suelo por una lámina de agua abundante (Allende *et al.* 2017).

## **Luminosidad**

Las horas luz para el cultivo de tomate cumplen un rol muy importante, más allá del crecimiento vegetativo de la planta, puede reducir procesos fotosintéticos en la planta, ya que requiere al menos 6 horas diarias luz directa para florecer. Estos valores reducidos pueden afectar de forma negativa este proceso y la fecundación. Estudios realizados indican que el fotoperiodo no sería un factor crítico a diferencia de la intensidad de radiación, que, si es muy alta, se pueden producir golpes de sol, partiduras, coloraciones irregulares entre otros (Allende *et al.* 2017).

## **Suelo**

La cualidad del cultivo de tomate es que es exigente en las condiciones de suelo, debe tener un buen drenaje; de aquí la importancia de un suelo con un alto contenido de materia orgánica. Suelos con temperaturas entre 15 y 25°C favorecen el desarrollo. En suelos arcillosos y arenosos, se desarrollan con un mínimo de 40 cm de profundidad (Allende *et al.* 2017). Para un mejor desarrollo del cultivo, es importante disponer de un pH ideal de 6 a 6.5, los suelos pueden ser ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos, para que la planta se desarrolle y asegure la disponibilidad adecuada de nutrientes (Guzman, 2017; SQM, 2018)

## **Preparación del suelo**

Es importante que tenga una buena capacidad de drenaje y estructura física, las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad, desarrollando el 70% en los primeros 20 cm. Para garantizar el buen desarrollo de las plantas, es recomendable elegir labranza de conservación; para lograr incorporar rastrojos, mejorar la eficiencia de las próximas fertilizaciones y reducir la compactación del suelo, por el uso irracional de maquinaria agrícola. Es indispensable, posteriormente, la formación de lomillos para evitar problemas fitosanitarios a causa del encharcamiento o salpique de agua (Quiróz, 2016).

## **Almácigo**

Las hortalizas se desarrollan de acuerdo con su almácigo, a la aplicación de tecnologías y conocimientos puestos en ella. Las ventajas del almácigo, es que son plantas más vigorosas, presentan homogeneidad en el cultivo, el manejo de la semilla como insumo es más eficiente

y se puede tomar la decisión de elegir las plantas más aptas para poder trasplantarlas en invernadero o campo abierto (Quesada y Méndez, 2005).

## **Sistemas de Producción**

### **Campo abierto**

Es el sistema más económico para la producción de tomate, cuando las condiciones climatológicas lo permiten. El suelo se prepara para incorporar residuos de cosechas, con un anticipado tiempo, esta práctica nos permitirá un mejor anclaje de raíces, mejor drenaje, aireación y evitar deslaves por escorrentía de agua. En este sistema es común establecer variedades de crecimiento determinado para facilitar el manejo (López, 2017).

### **Malla sombra**

Se utilizan para proteger los cultivos mediante una cubierta cuya finalidad es reducir la radiación directa y proteger los cultivos de lluvias, granizo, viento, insectos y aves, además de evitar el exceso de temperatura. Funciones propias tanto en su versión de enmallado como casa sombra (Batista, 2013).

### **Micro túneles**

Se trata de estructuras pequeñas construidas con arcos sobre los que se cubren con plástico y en menor porcentaje cubiertos con agrotexil y mallas, la función de los túneles es minimizar los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas sin recurrir a estructuras costosas (Batista, 2013).

### **Invernadero**

Es toda aquella construcción agrícola cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible controlar determinados parámetros climatológicos y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas, protegiendo de las condiciones climáticas e insectos. Cuando una planta desarrollada en invernadero no es productiva, es debido a problemas derivados del mal diseño del invernadero donde no está controlada la temperatura, ventilación, la humedad, el exceso o falta de nutrientes, y un mal manejo del cultivo (INIFAP, 2011).

## **Principales enfermedades en tomate**

La enfermedad es una alteración en la fisiología normal de la planta que se produce por consecuencia de la acción de agentes bióticos llamados patógenos (hongos, bacterias, virus y nematodos) o abióticos (deficiencias de nutrición, genéticos, daño por herbicida, etc.). La manifestación visible de la enfermedad se llama síntoma (manchas en hojas) y la manifestación del patógeno se denomina signo (mohos, cenizas). Para que la enfermedad se presente deben de estar presente tres factores: el hospedante susceptible, el patógeno virulento y las condiciones ambientales favorables para la infección. Dependiendo de la época del año, del clima y un manejo adecuado del cultivo, habrá mayor o menor incidencia de enfermedades fúngicas, bacterianas o víricas. Las enfermedades afectan el desarrollo y la producción de los cultivos (Obregón, 2018).

### **Podredumbre gris *Botrytis cinerea* Pers. Helotiales (Sclerotiniaceae)**

Este patógeno se ha encontrado en más de 200 especies de vegetales, ataca desde plántula hasta postcosecha, es uno de los hongos de mayor importancia, la enfermedad de moho gris, causado por dicho hongo, es una de las más severas, puesto que ataca flores, tallos flores y frutos. La mayoría de las veces resulta ser uno de los principales patógenos que afecta los frutos maduros en postcosecha (Martínez-Ruiz, 2016).

### **Síntomas**

El patógeno en las flores provoca tizón y muerte. Las hojas se caracterizan por presentar manchas café en V desde el borde de la hoja. También puede secar completamente las hojas donde se observa el crecimiento del micelio sobre el tejido afectado. En tallo y brotes, se presenta necrosis, atizonamiento y muerte del tejido. En los frutos por otra parte se pueden presentar zonas acuosas en frutos verdes como también pudrición en frutos maduros causando pérdidas de producción alarmantes (Guzmán *et al.* 2017; Sepúlveda, 2018).

Con base en EPPO (2018) se establece la taxonomía de la siguiente manera:

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Pezizomycotina

Clase: Leotiomycetes

Orden: Helotiales

Familia: Sclerotiniaceae

Género: *Botrytis*

Especies: *Botrytis cinerea* Pers.

### **Ciclo de vida**

Las esporas de *Botrytis* pueden ser producidas en cualquier hospedero y transportadas a grandes distancias por el viento. Es un hongo cosmopolita, polífago, que sobrevive como saprofito en restos de vegetales, así como también, en forma pasiva como esclerocios negros, los cuales se forman en tejidos afectados. Sobre el tejido infectado, el hongo produce nuevas generaciones de esporas que pueden iniciar con un nuevo ciclo de infección, y se disemina por el viento y lluvia (Sinavimo, 2021).

### **Manejo de la enfermedad**

- 1.- Retirar las partes afectadas
- 2.- Regular temperatura y humedad dentro del invernadero (ventilación)
- 3.- Aplicar funguicidas: Carbendazim, 50% cada 7 días (50-100ml/100L); Cyprodanil+fludioxonil cada 3 días (80-100gr/100L); azoxistrobina, cada 1 día (125ml/100L) (Obregon, 2014).

### **Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder. Hypocreales (Nectriaceae)**

Marchitez o fusariosis, esta es una de las enfermedades más importantes en el tomate, afecta en regiones cálidas, se ha registrado fuertes afectaciones en cultivos que muestran susceptibilidad principalmente en condiciones de invernadero. Los daños se presentan con

mayor severidad cuando las plantas atraviesan un período de estrés en las etapas de floración y fructificación. Se ha reportado que el rendimiento del tomate cultivado en lotes infestados ha ocasionado pérdidas hasta en un 60% por el ataque de la enfermedad (Carrillo *et al.* 2003).

### **Síntomas**

Los primeros síntomas se manifiestan desde el inicio de la cosecha, al observar plantas amarillas de las hojas basales y por lo general mueren. A nivel del cuello, la raíz principal y tallos, se torna oscurecimiento de los tejidos internos que en condiciones avanzadas llegan a afectar la parte externa del mismo. Las plantas detienen su crecimiento, manifiestan síntomas de estrés hídrico (marchites) y finalmente mueren (Flores *et al.* 2012).

Con base en SENASICA (2019) se establece el siguiente arreglo taxonómico:

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Subclase: Hypocreomycetidae

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium oxysporum* Schldl.

### **Ciclo de vida**

El inóculo de *F. oxysporum* está presente en los rastrojos, en el suelo o semilla, en forma de conidios la transmisión a distancia se da por plantas infectadas y maquinaria. Localmente se propaga por agua de riego y aire (González, 2006). Los conidios son estimulados por exudados que las plantas liberan por medio de raíces, las cuales germinan en el punto de emergencia de raíces secundarias o heridas causadas por el mismo crecimiento de estas, una vez que ingresa al tejido sano, empieza a invadir al huésped, desarrollándose por la corteza, y avanzando hacia el sistema vascular. Ya estando en esas áreas de la planta, el hongo

empieza a producir microconidios, los cuales son dirigidos por la xilema con ayuda de flujo, hacia la parte apical de la planta para formar nuevos puntos de infección (Cubedo, 2008).

### **Manejo de la enfermedad**

La rotación de cultivos reduce considerablemente el patógeno en suelos infestados, así como eliminar plantas enfermas y restos de cultivo, utilizar semillas certificadas y plántulas sanas, utilizar variedades resistentes, desinfectar estructuras y útiles de trabajo y solarizar como control preventivo. Los tratamientos químicos durante el cultivo son poco eficaces. Se pueden realizar tratamientos preventivos con: dodina, procloraz, metil tiofanato, benomilo, tiabendazol (Hernández, 2013).

**Podredumbre de cuello y raíz por *Rhizoctonia solani* J. G. Kühn. (Ceratobasidiaceae)**  
Fitopatógeno habitante del suelo que ataca al tomate, sobre todo en invernadero. Reduce significativamente la productividad de los cultivos, afectando hojas, tallos, raíz, y semillas (Martínez-Ruiz, 2016).

### **Síntomas**

Las plantas infectadas por *R. solani* presentan pudrición de semillas, ahogamiento y muerte de plántulas, el hongo ataca el tallo iniciando de la parte basal ocasionando pudriciones blandas y pudrición de la raíz, síntomas que resultan debilitando y causando muerte prematura de la planta, en ocasiones, el porcentaje de plántulas muertas puede llegar hasta 70%, lo que ocasiona reducción significativa de la productividad (Martínez-Ruiz, 2016).

Con base en EPPO (2020) se establece la taxonomía de la siguiente manera:

Reino: Fungi

Phylum: Basidiomycota

Clase: Agaricomycotina

Subclase: Agaricomycetes

Orden: Cantharellales

Familia: Ceratobasidiaceae

Género: *Rhizoctonia*

Especies: *Rhizoctonia solani* J. G. Kühn

### **Ciclo de vida**

Este hongo inverna en el suelo en forma de esclerocios que germinan cuando se presentan las condiciones ideales, una alta humedad y temperaturas que oscilan entre 12 y 30 °C. El hongo puede permanecer mucho tiempo en el suelo. Las hifas en un inicio son transparentes de 6 a 12 micras de diámetro, cuando envejecen se tornan de un color oscuro a rojizo. Producen esclerocios en forma de masas miceliales, color blanco, después se oscurecen de forma irregular, masas grandes de 1 a 8 mm visibles (Vivar, 2007).

### **Manejo de la enfermedad**

- 1.- Solarización
- 2.-Control biológico; *Trichoderma harzianum* y *Bacillus* sp.
- 3.- Usar semilla tratada
- 4.- Evitar riegos abundantes
- 5.- Aplicar fungicidas post- trasplante: fosetil aluminio, cada 15 días (250grs/100L); Propamocarb, cada 14 días (250ml/100L); Mancozeb + Metalaxil, cada 14 días 250-300gr/100L), pentacloronitobenceno (250gr/100L) aplicar en forma líquida al cuello de la planta o espolvoreo al cuello de la planta; Carbendazim, 50% cada 7 días (50-100mL/100L) (Obregon, 2014).

### **Tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. (Peronosporaceae)**

*P. infestans* es una enfermedad de tomate y papa que afecta a varias especies de la familia de las solanáceas, las condiciones climatológicas favorecen el desarrollo y la diseminación de tizón tardío es por las bajas temperaturas y baja humedad. Esta enfermedad es capaz de destruir totalmente a las plantas infectadas. Esta enfermedad ha causado graves daños en producción en muchas partes del mundo, en México se encuentra la mayor diversidad genética de este patógeno (Gregorio, 2011).

## **Síntomas**

Sobre las hojas se forman manchas grandes húmedas, pardas, redondeadas con margen más claro. La infección es muy virulenta, avanza rápidamente, infectando follaje, tallos, pecíolos y frutos. La coloración general es castaña. Al entrar en los invernaderos afectados se aprecia olor a “heno” o material composteado. Si descienden los valores de humedad bajo cubierta, las lesiones adquieren consistencia de papel (Sosa, 2013).

Taxonomía con base en Reyes (2017).

Reino: Protista

Phylum: Heterokontophyta

Clase: Oomycetes

Orden: Peronosporales

Familia: Peronosporaceae

Género: *Phytophthora*

Especie: *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.

## **Ciclo de vida**

El patógeno sobrevive en el suelo, rastrojo o en frutos infectados, los cuales cuando germinan dan lugar a brotes contaminados. El inoculo está constituido por esporas y zoosporas que se propagan por medio del agua (Baudoin, 2017). Algunas veces las semillas pueden venir infectadas y contribuir al inicio de un brote de tizón tardío, para que la infección secundaria se requiere de humedad en el follaje para que penetren las esporas (Gregorio, 2011).

## **Manejo de la enfermedad**

- 1.- Solarizar.
- 2.- Evitar riegos excesivos o encharcamientos.
- 3.- Realizar lomos altos, para favorecer el drenaje del agua.
- 4.- Aplicar fungicidas preventivos y/o curativos: Fluopicolide + Propamocarb, cada 7 días (250 ml/100L); Fosetil aluminio, cada 15 días (2kg/ha); Mancozeb + Metalaxil – M, cada 7 días (350gr/L); Clorotalonil, cada 12 días (2-3kg/ha) (Obregón, 2018)

### **Tizón temprano *Alternaria alternata* (Fries) Keissl. (Pleosporaceae)**

Una de las causas principales de enfermedades en frutas y hortalizas es originada por la acción de hongos fitopatógenos entre las que destaca la causada por *Alternaria alternata*. Es una especie cosmopolita que se encuentra como saprófito o fitopatógeno en un amplio rango de hospedantes y en subproductos (Flores *et al.* 2013).

### **Morfología**

El micelio es negro verdoso, en ocasiones grises. Los conidios formados en cadenas largas, a veces ramificadas, de forma clavada, ovoide o elíptica, con más de 8 tabiques transversales con varios tabiques longitudinales u oblicuos, de 20-63 micras de longitud y 9-18 micras de grosor (Sociedad Española de Fitopatología, 2010).

### **Síntomas**

Los síntomas de *A. alternata* varían, comienza en las hojas con pequeñas lesiones hundidas de color café rodeadas de un halo clorótico formando formas de anillos. En condiciones de alta humedad, el hongo produce una capa negra de conidios sobre el tejido infectado (Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002). La enfermedad se manifiesta se manifiesta después de la cosecha con manchas color marrón o negras que se extienden hacia el interior del fruto. Donde se forma una masa de esporas (Bernal, 2010).

Taxonomía con base en la Sociedad Española de fitopatología (2010).

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

División: Eumycota

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: Hyphomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Pleosporaceae

Género: *Alternaria*

Especie: *Alternaria alternata* (Fries) Keissl.

### **Ciclo de vida**

*A. alternata* persiste sobre material vegetal en descomposición y está comúnmente presente en el suelo y el aire. Este patógeno ataca inicialmente las estructuras senescentes de las flores fecundadas y desde allí contamina los frutos (Robledo *et al.* 2019). Los conidios o esporas de *A. alternata* se diseminan mediante viento y salpicaduras de agua. El hongo infecta la planta a través de heridas provocadas por factores abióticos (pudrición, golpe de sol), o daño mecánico, ocasionado por insectos o labores culturales. También puede infectar de forma directa a través de la epidermis (Arrenondo, 2016). Los conidios oportunistas germinan sobre los frutos y entran en ellos directamente por la cutícula, por estomas, lenticelas y diversas heridas, su micelio invade tejidos, produce conidios y conidióforos que son dispersados por el viento, salpicaduras de agua, su extensión se puede producirse por contacto de fruta enferma con fruta sana. Forma esporas dentro de los frutos podridos (Ephytia, 2021).

### **Daños y pérdidas por *Alternaria alternata***

Esta enfermedad actualmente tiene una gran importancia y su severidad varía de acuerdo con las condiciones climatológicas durante la madurez del fruto. Cuando *A. alternata* supera el 8% de incidencia en frutos, los productores reciben descuentos en la cosecha o esta es rechazada por la procesadoras, lo que representa pérdidas significativas. En ocasiones ocurren períodos prolongados de follaje mojado, alta humedad relativa, invadiendo este patógeno hasta el 50% de tomates (Félix-Gastélum y Gálvez-Figueroa, 2002).

### **Manejo de la enfermedad**

- 1.- Favorecer la ventilación
- 2.- Evitar una alta humedad relativa
- 3.- Eliminar los restos de vegetales al finalizar el cultivo
- 4.- Seleccionar materiales con resistencia o tolerancia genética.
- 5.- Realizar monitoreos semanales y aplicar control químico cuando se observen los primeros síntomas rotando los ingredientes activos (Baudoin, 2017).

## **Principales enfermedades causadas por bacterias en tomate**

### ***Clavibacter michiganensis* (Smith) Davis (Microbacteriaceae)**

Es la bacteria de mayor importancia en el cultivo de tomate, con amplia distribución mundial. La diseminación se efectúa por medio de semillas infectadas a grandes distancias, mientras que, en distancias cortas, a través de suelo, agua y labores de en tutorado y podas. De escasa sobrevivencia en el suelo (Flores *et al.* 2012). Los daños son directos en la producción o frutos de menor tamaño y calidad. En México se detectó en Sinaloa donde se ha presentado con diferentes grados de incidencia y severidad. En el ciclo 2006-2007 se presentó en Culiacán aproximadamente en 180 hectáreas bajo invernadero (Espinoza, 2008).

### **Síntomas**

Los primeros síntomas son el marchitamiento general ya que la bacteria coloniza los vasos vasculares. Se desarrolla en etapas tempranas, recibe el nombre de cancro bacteriano por la formación de canchales en los tallos, al ser un agente sistemático causa oscurecimiento en los tejidos conductores dañando hojas, peciolo y reduciendo el crecimiento. Decoloración en hojas, tejidos muertos (necrosis) frutos pequeños y con manchas (Flores *et al.* 2012).

### **Agente causal**

Esta enfermedad fue conocida en 1983 con el nombre de *Corynebacterium michiganensis*, pero actualmente se clasifica como *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis*. Esta bacteria es un bacilo gram positivo, no móvil, aeróbico, que en agar nutritivo desarrolla colonias de color amarillo claro a naranja, mucoso, su temperatura óptima de crecimiento *in vitro* es de 25 a 28 °C (Borboa *et al.* 2009). Es una bacteria cuya pared celular es rica en peptidoglicanos, ácido 2, 4 diaminobutírico como ácido amino dibásico. Es aeróbica, células en forma de bastones que no produce endosporas. Las infecciones de la mayoría de las especies de *clavibacter* son sistémicas (Espinoza, 2008).

### **Condiciones ambientales**

Es favorecido por temperaturas altas (24 -32°C) y húmedas. En invernadero es más severa en verano, con días más cálidos, las plantas suelen estar más susceptibles y la bacteria penetra.

El cáncer bacteriano es encontrado más fácilmente en áreas húmedas de invernadero que en áreas más secas (SENASICA, 2014).

### **Ciclo de la enfermedad**

La enfermedad se introduce a tejido vegetal sano, la bacteria puede estar en semilla con una baja incidencia de infección, también puede estar presente en viveros comerciales. La bacteria es muy influenciada por condiciones de elevada temperatura y humedad (18-24 °C y más del 80% de humedad), las plantas más vigorosas como consecuencia de un aporte excesivo de nitrógeno son las más atacadas. La dispersión de la bacteria es mediante salpicado de agua, maquinaria, tutoreo, manos y ropa del personal, facilitando la dispersión y posteriormente la penetración (Palacio *et al.* 2010).

### **Marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* (Smith) Safni *et al.* (Burkholderiaceae)**

Enfermedad bacteriana muy severa en muchas zonas templadas y subtropicales del mundo. La enfermedad también es conocida con el nombre de marchitez bacteriana sureña, la marchitez de las solanáceas y/o la podredumbre bacteriana sureña. La incidencia de la enfermedad puede variar desde unas cuantas plantas dispersas en campos donde existe una infestación natural baja, hasta un 50% o más en campos cultivados, lo cual puede provocar una muerte rápida de las plantas (Gómez *et al.* 2011).

### **Síntomas**

La marchitez es el primer síntoma externo visible, de las hojas más jóvenes en las partes terminales de las ramas que da origen al problema. Se manifiesta rápidamente tan breve como 2-3 días después de la infección, si la planta es muy susceptible dependiendo de las condiciones ambientales favorables; puede observarse en ramas o en toda la planta. Generalmente las hojas cuelgan flácidas, se enrollan hacia la cara superior en los márgenes y carecen de brillo y turgencia, la bacteria se multiplica en el sistema conductor interno (xilema) donde el agua entra por ósmosis, obstruyendo el flujo y matando a la planta por completo (Melgar, 2012).

### **Agente causal**

*R. solanacearum* es una bacteria aeróbica gram-negativo, en forma de bacilos, midiendo 0.5-0.7 X 1.5-2.0 micromolar ( $\mu\text{M}$ ) en tamaño. Es muy sensible a la desecación y es inhibida en cultivo de bacterias con concentraciones bajas (2%) de cloruro de sodio (NaCl). Para la mayoría de las cepas, la temperatura óptima de crecimiento está entre 28 y 32°C; sin embargo, algunas cepas tienen una temperatura óptima de crecimiento más baja de 27°C (Patrice, 2009). La bacteria se desarrolla rápidamente cuando existen temperaturas de moderadas a altas (alrededor de 30-35°C para raza 1 en tomate, chile y berenjena), especialmente después de muchas lluvias. Por lo contrario, la bacteria se desarrolla muy lentamente cuando la temperatura en el suelo es menor a 20°C o la humedad del suelo es baja (Melgar, 2012).

### **Ciclo de enfermedad**

La bacteria *R. solanacearum* es un patógeno del suelo y de agua; la bacteria puede sobrevivir en el suelo aun en ausencia del cultivo de tomate, la sobrevivencia depende de la raza del patógeno y a las características físicas, químicas y biológicas del suelo y de las condiciones de temperatura (Bernal, 2010). Penetra la planta por heridas en los puntos de salida de raíces secundarias o por daño de raíz que puede ser causado por microorganismos de tierra como nemátodos en las raíces, también penetra las plantas a través de heridas de tallo por insectos, el manejo o equipos de herramientas. La bacteria es más severa en temperaturas entre 24 y 35°C (temperatura óptima de 27°C). El patógeno puede ser esparcido de campos infestados a campos sanos por transferencia de tierra en la maquinaria y pérdidas de superficie después de irrigación o lluvia (Patrice, 2009).

### **Mancha Bacteriana del Tomate *Xanthomonas* spp. (Dowson) (Xanthomonadaceae)**

Es una de las enfermedades considerada de las más importantes para para el cultivo de tomate, siendo una gran limitante y ocasionando pérdidas importantes en la producción. El clima caluroso y alta humedad de algunas regiones de México, combinado con lluvias en invierno y neblinas, constituyen las condiciones ideales para la infección del cultivo (Carrillo-Fasio *et al.* 2001).

### **Agente causal**

*Xanthomonas spp.* corresponden a bacterias gram negativas, baciliformes de 0.7–1.0 x 2.0 – 2.4  $\mu\text{m}$ ., aeróbicas estrictas. Presentan movilidad dada por un flagelo polar y pueden formar cápsulas que actúan como estructuras de resistencia ante condiciones adversas (dispersión en el tiempo). En medio de cultivo YDC (Yeast Dextrosa CaCO<sub>3</sub>), las colonias son amarillas brillosas, circulares y de borde entero (Berrueta, 2012).

### **Síntomas**

Los primeros síntomas en las hojas más viejas como pequeñas lesiones irregulares y oscuras. Las lesiones forman grandes áreas muertas que provoca la caída de las hojas, las hojas jóvenes se deforman y se retuercen. La bacteria ataca hojas, tallos y frutos de tomate (Flores *et al.* 2012).

### **Condiciones ambientales**

La bacteria puede sobrevivir en los residuos del cultivo, plantas silvestres y semillas. La enfermedad se disemina muy rápido por semilleros, por riegos, por aspersión, y lluvias. La enfermedad penetra a través de lesiones en la planta. La temperatura óptima son 24°C, con riego por aspersión o lluvias fuentes favorecen el desarrollo de la enfermedad (Reyes, 2017).

### **Ciclo de la enfermedad**

Las principales fuentes de inóculo son semillas contaminadas, plántulas y malezas. La bacteria puede sobrevivir en el suelo en los residuos de cosecha anteriores, su multiplicación es muy favorecida por temperaturas cálidas (23.89°C), climas húmedos y humedad en la hoja por un periodo de 24 horas o más. La bacteria entra a la planta por heridas, estomas o hidatodos. La enfermedad se dispersa en el cultivo por medio del salpique de agua, que proporcionan condiciones ideales para su multiplicación y la diseminación. Puede ocurrir en la misma temporada muchos ciclos de la enfermedad dependiendo de las condiciones ambientales (Schultz y French, 2011).

## **Virus del bronceado del tomate, Tomato Spotted Wilt orthotospovirus (TSWV)(Tospoviridae)**

La enfermedad del bronceado fue observada por primera vez en plantas de tomate en Australia en 1906, TSWV es la especie tipo del género Tospovirus, siendo el único género que afecta a vegetales. Este virus podemos destacar que no presenta control en campo, debido a su gran facilidad de transmisión y a la ausencia de tratamientos curativos. Por este motivo las pérdidas económicas con graves. Su taxonomía Tomato spotted wilt virus es el miembro tipo del género Tospovirus de la familia Bunyaviridae (Debreczeni, 2015).

### **Importancia económica**

El impacto económico del TSWV es grave, debido a que su distribución geográfica es muy amplia, su amplio rango de plantas hospederas y sus devastadores daños sobre plantas infectadas. Entre los cultivos de importancia económica para los que se han publicado pérdidas considerables en sus producciones se destacan tomate, papa, tabaco, cacahuete, pimiento, lechuga, papaya, piña, y plantas ornamentales (crisantemo, ageratum, dalia e impatiens, entre otras) (Contreras *et al.* 2007).

### **Medidas de prevención**

Plantas vigorosas, evitan ataques de insectos vectores, eliminar plantas con síntomas, fertilización balanceada, eliminación de restos de cultivos (compostaje), realizar un buen control de malezas y exigir certificado de sanidad de la comercializadora de la planta (Baudoin, 2017).

## **Nematodo agallador *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) (Meloidogynidae)**

El nematodo agallador es cosmopolita y parásito de muchas especies de plantas; se desarrolla muy rápido, tiene la habilidad de producir cambios fisiológicos en el sistema radicular en las plantas, afectando la absorción de nutrientes su desarrollo (enanismo) (Jaramillo-Pineda *et al.* 2015). Las hembras al alimentarse provocan deformaciones típicas en la raíz llamadas agallas o nódulos, debido a la modificación y crecimiento anormal de las células radicales (células gigantes), afectando el desarrollo de la planta, perdida de vigor de la planta, se dice

que el tejido infectado es más susceptible de infecciones por fitopatógenos (Curimilma, 2015).

### **Síntomas y daño al cultivo**

*Meloidogyne* afecta los vasos conductores obstruyendo el paso de sustancias esenciales para el desarrollo de la planta, causando achaparramiento, falta de vigor, deficiencias nutricionales, clorosis y marchitamiento. Las pérdidas a nivel mundial se estiman los 100 billones de dólares, por su potencial de daño y como vector de virus o de forma pasiva, permitiendo la entrada de hongos y bacterias provocadas por *meloidogyne* reduciendo el rendimiento en ocasiones hasta un 68% (Salazar y Guzmán, 2013).

### **Ciclo biológico**

Dura entre 27 y 40 días, se inicia con un huevo, dentro de él se desarrolla un primer juvenil (J1). La primera muda ocurre dentro del huevo y es el segundo estado juvenil (J2), conocido como estado de infestación, el que sale en busca de una raíz e ingresa por la zona más susceptible, la zona apical no diferenciada. Ya estando dentro de ella, se mueve intercelularmente hasta establecer un lugar específico de alimentación en las cercanías del cilindro vascular (Salagro, 2019).

### **Manejo**

Para el control se debe realizar la solarización del suelo, rotación de cultivos y usos de variedades resistente, *Verticillium chlamyosporium* se utiliza como control biológico de estos nematodos, es cual se ha demostrado que tiene un gran potencial como agente de control biológico. Para el control químico se utilizan sustancias como etoprofos, fenamifos, metam sodio, oxamilo, etc. (Hernández, 2013).

### **Principales insectos plaga en el cultivo de tomate**

#### **Mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Aleyrodidae)**

*Bemisia tabaci* es la especie de mosca blanca (con un tamaño de 1-15mm) con alas en forma de tejado, la más importante a nivel mundial. Su importancia económica se debe a su gran

distribución, se alimentan de muchas especies de plantas, provocando grandes daños directos e indirectos ocasionando pérdidas en los cultivos (Arteaga, 2015).

### **Ciclo biológico**

Los adultos son pequeños insectos chupadores de unos 2 mm de longitud, su cuerpo es amarillo y alas blancas cubiertas por un polvillo blanco (finamente cerosas). Los huevos son blancos y más tarde rojizos, las ninfas amarillas casi transparentes y aplanadas, se reconocen por los filamentos que se extienden fuera de su cuerpo. El ciclo biológico se puede completar en verano en un mes o mes y medio pasando por 4 estadios ninfales (estados inmóviles en el envés de las hojas) y adulto (Rodrigues, 2006).

### **Daños**

Directos: Las moscas tienen un aparato bucal picador chupador con el cual succionan grandes cantidades de savia. La alimentación de grandes poblaciones no provoca importantes pérdidas en comparación con los daños indirectos. En casos extremos provoca desecamiento de las hojas afectadas (Guzmán *et al.* 2017).

Indirectos: Secreta una melaza pegajosa que sirve para que se desarrollen diferentes hongos, moho conocido como fumagina, que provoca una reducción considerable de la capacidad de fotosíntesis provocando pérdidas en el rendimiento y manchado de fruto. Transmisión de virus: *B. tabaci* es un vector de 100 virus de plantas. Los geminivirus más importantes son el Tomato Yellow Mosaic Virus (TYMV) y el Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) (Polack, 2005).

### **Trips: *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thripidae)**

El ciclo biológico inicia en huevo, dos estadios ninfales, dos estadios de pseudopupa y adulto. La temperatura y la alimentación son fundamentales, de ellos depende la duración de ciclo. Generalmente en el cultivo de tomate dura de 9-12 días a 30°C (los estados larvales duran 4-5 días), mientras que aumenta a 35-39 días a 15°C (los estados larvales en este caso duran 15-17 días). Los adultos pasan el invierno en lugares protegidos en el suelo o estructuras de invernadero reapareciendo en la siguiente estación (Baudoin, 2017).

## **Daños**

Daños directos: Las larvas y adultos se alimentan de la epidermis de las hojas, flores y frutos, se presentan manchas de color plateado, principalmente en el haz de las hojas, después se tornan necróticas, también hay daños por la oviposición de la hembra que encastra los huevos en el tomate. Se ha observado ovoposición en hojas (Estay, 2018).

Daños indirectos: Debido a la transmisión del virus del bronceado (TSWV). El virus es adquirido por las larvas en plantas afectadas y transmitido por los adultos que permanecen infectivos toda su vida, en producciones de tomate en invernadero, se dice que mundialmente *F. occidentalis* es el principal vector de este virus (Estay, 2018).

### **Paratrioza: *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Triozidae)**

El ciclo de la paratrioza se completa en 336 unidades calor (UC), a una temperatura mínima umbral de 7 °C. Sin embargo, si se homologa la mínima umbral (10 °C) en el cultivo de tomate y chile se deberá considerar 280 UC. Su ciclo biológico dura de 15 a 30 días aproximadamente dependiendo de la temperatura. La hembra adulta puede ovipositar más de 500 huevos y puede haber de 3 a 4 generaciones por temporada (Ramírez *et al.* 2008).

## **Daños al cultivo**

Los síntomas en las plantas de tomate inician con retraso en el crecimiento de la planta (enanismo), clorosis de los brotes apicales, las hojas inferiores se enrollan, flores estériles, menor tamaño y cantidad de frutos, una disminución en el rendimiento y una menor calidad de los frutos, causando grandes pérdidas económicas. Se ha demostrado que el *adulto B. cockerelli* es responsable de transmitir una especie de la bacteria *Candidatus Liberibacter* que llega a mermar hasta 60% en el rendimiento de este cultivo (Retes, 2011).

### **Arañita roja de dos manchas, *Tetranychus urticae* (Koch) (Tetranychidae)**

Es un acaro polífago común en cultivos agrícolas protegidos, se desarrollan en el envés de las hojas provocando; decoloraciones, punteaduras, manchas amarillentas, las altas poblaciones se alimentan de la energía de la planta, dando como resultado desecación o

incluso la defoliación, los ataques más graves es por los primeros estadios de este ácaro (Hernández, 2013). En poblaciones altas generalmente las hembras protegen los huevos, larvas y ninfas con telaraña. Generalmente la plaga se presenta en focos aislados y luego se expande por viento, contacto entre plantas y malezas (Baudoin, 2017).

### **Ciclo biológico**

*T. urticae* puede ser de color amarillo, amarillento verdoso o rojo (en tiempo seco y en otoño) con dos manchas oscuras en el dorso. Las hembras son ovaladas y globosas (0.5 mm longitud) los machos son más pequeños alargados y triangulares. Los huevos son esféricos, lisos, brillantes y de color blanco-amarillentos. El ciclo de vida puede durar 20 días dependiendo de la temperatura pasando por los siguientes estadios: Huevo — Larva (hexápodo móvil) — ninfocrisis (fase de reposo inmóvil) — protoninfa (octópodo móvil) — deutocrisis (fase de reposo inmóvil) — teliocrisis (última fase de reposo inmóvil) — adulto (Rodríguez, 2006).

### **Nanotecnología**

La NT se define como la ciencia que manipula la materia a escala de 0 a 100 nanómetros. Un nanómetro (nm) es una milmillonésima parte de un metro, donde la física convencional se descompone para diseñar estructuras con propiedades y aplicaciones. El potencial está basado en la escala, pues las nanopartículas de algún material pueden presentar propiedades físicas, químicas y biológicas distintas a las que presenta en escala mayor, por lo que son ideales para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones (ProMéxico, 2018). La NT es un extenso campo de la investigación interdisciplinaria, que está en constante crecimiento en todo el mundo, donde son diversas las áreas en las que se están aplicando como la biomédica, agricultura, industria de los alimentos, textil, química e ingeniería (Esquivel y Mas, 2021) Villamor (2020) menciona las principales aplicaciones de las nanopartículas, y se resaltan de manera breve:

- 1.- Antibacterianas
- 2.- Administración y liberación de fármacos
- 3.- Conservación de alimentos
- 4.- Cremas solares

- 5.- Detección molecular de patógenos que invaden el organismo
- 6.- Diagnóstico de alergias, embarazos y tumores
- 7.- Equipamiento deportivo
- 8.- Energía renovable
- 9.- Purificación de aguas
- 10.- Reforzamiento de neumáticos

### **Nanopartículas en la agricultura**

Las nanopartículas (NPs) se están empleando en muchos aspectos en la agricultura, en la producción de alimentos con mejores sabores, aromas y texturas, procesamiento, preservación y envasado de alimentos, incrementado la eficiencia de los agroinsumos, reduciendo significativamente los costos (Ojeda *et al.* 2019). El uso de NPs en la agricultura como nanosensores se emplean para ayudar a combatir los patógenos de los cultivos, nanoencapsulados de ingredientes activos como fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas y nutrientes, los cuales son de liberación lenta o controlada, nano-empaques para alimentos y bebidas, se preserven más tiempo, que no pierdan sus características organolépticas y que se mantengan inocuos (Castro, 2017). Las NPs se están utilizando para transformación genética de plantas (transgénicos), al crear nuevas variedades tolerantes y/o resistentes a factores bióticos y abióticos, así como también para capturar o retener metales pesados para el tratamiento de suelos y aguas residuales (Lira-Saldivar *et al.* 2018).

### **Interacción entre nanopartículas y plantas**

El uso y aplicación de NPs metálicas en la agricultura se ha demostrado que es exitosa, sobre todo en cultivos que se producen en climas secos, ya que estimulan su crecimiento, incrementan el rendimiento y la calidad comercial de sus frutos, y se ha demostrado una actividad antimicrobiana muy amplia. Las nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) aplicadas vía foliar minimizan el uso de fertilizantes, aumentan la eficiencia y mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas, un mejor desarrollo del cultivo, incrementando los minerales en los frutos (Rivera-Gutiérrez *et al.* 2021).

Las NPs metálicas en altas concentraciones son tóxicas para las plantas, afecta el funcionamiento de las membranas celulares, proteínas, dañando la célula a nivel mitocondrial. En la síntesis verde las NPs están cubiertas por una capa que está constituida por moléculas con actividad antioxidante (polifenoles), por lo que se sugiere que disminuye la toxicidad en comparación con nanopartículas sintetizadas por otro método (López y Navarro, 2020).

### **Efecto microbiano de las nanopartículas de óxido de zinc**

Las NPs-ZnO son nanoestructuras que tienen una gran capacidad antibacteriana y antifúngica que se utilizan para controlar el crecimiento y propagación de microorganismos que han desarrollado resistencia a muchos antibióticos y fungicidas convencionales (Canales y Villanueva, 2018). Las NPs-ZnO inhiben la presencia de enfermedades por actividad antifúngica contra *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus*, *Fusarium culmorum* y *F. oxysporum* (Méndez-Arguello *et al.* 2016). Las NPs-ZnO también son empleadas en bacterias teniendo mejor control en las gram positivas respecto a las gram negativas. Sin embargo, no se hace referencia a qué se debe tal selectividad. Posiblemente la efectividad de las NPs-ZnO se vea mejorada al exponerlas a luz, debido a su acción fotocatalítica (Alvarado *et al.* 2014).

### **Modo de acción de las nanopartículas**

Los óxidos metálicos son compuestos con propiedades electrónicas únicas, la mayoría de los fenómenos magnéticos involucran a este tipo de óxidos. Las nanoestructuras con dimensiones de unos cuantos nanómetros y a su gran superficie específica resultan ideales para interactuar con las bacterias. De modo que las NPs de óxidos metálicos son la nueva alternativa para combatir bacterias resistentes de antibióticos, se ha informado que las NPs de óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), óxido de zinc (ZnO), óxido cúprico (CuO), la magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) y el óxido de magnesio (MgO) presentan importantes propiedades antimicrobianas, las cuales dependen en gran medida de su composición química, forma y tamaño (Vázquez-Olmos *et al.* 2018).

Las NPs-ZnO han sido probadas y estudiadas tanto en células procariotas como eucariotas causando estrés oxidativo y daño al ADN que se genera en ambos tipos celulares (López, 2019). Las NPs al entrar en contacto con las células desestabilizan la pared celular facilitando la entrada de las NPs, una vez dentro de las células libera iones metálicos, inducen la toxicidad, como consecuencia degradan varios compuestos y estructuras vitales, como inactivación de proteínas, daño a enzimas y daño al material genético como el ADN. Cabe destacar que dicho mecanismo dificulta la generación de una resistencia antimicrobiana a corto plazo, ya que ataca a diferentes partes de la célula (INECOL, 2021).

Las NPs realizan su actividad antibacteriana por varios mecanismos, de entre los cuales destacan: interacción directa con la pared celular y ruptura de esta, daño a las proteínas y a componentes internos de la bacteria; la liberación de iones; la alteración del ADN; y el estrés oxidativo por producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Álvarez, 2020).

Se ha reportado que conforme se aumentan las concentraciones de NPs, en hongos se inhibe la esporulación o causa alguna deformación en la estructura del micelio. A nivel celular, las NPs-ZnO deforman las hifas por la hinchazón de vacuolas que almacenan agua, en efecto, el crecimiento se ve inhibido (Canales y Villanueva, 2018).

## MATERIALES Y METODOS

### **Ubicación del experimento**

La investigación se realizó en el Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21' 13"N, 101 °01 '56" O, 1610 msnm).

### **Obtención del Óxido de Zinc (ZnO)**

El óxido de zinc (ZnO) se obtuvo comercialmente en Sanely Comercializadora.

### **Síntesis y caracterización de Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPs-ZnO)**

Las nanopartículas de Óxido de Zinc (NPs-ZnO) fueron sintetizadas en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en Saltillo Coahuila. Se sintetizaron a través de precipitación controlada de acuerdo con la guía de Betancourt *et al.* (2010), mediante el método de hidrólisis química, bajo la siguiente metodología: se colocaron 13.7 g de  $(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Zn}$  y 600 mL de etanol en un matraz bola provisto de tres cuellos. Esta solución se agitó constantemente a una temperatura de 75°C en reflujo durante 2 h. A continuación, se añadió una solución acuosa de 0.22 M de NaOH y 100 mL más de agua destilada ( $\text{dH}_2\text{O}$ ) para completar la mezcla de reacción. Se continuó con agitación constante durante 24 h. Posteriormente, las NPs-ZnO obtenidas inmersas en etanol se recuperaron mediante centrifugación a 15,000 rpm durante 5 min. El precipitado se lavó dos veces con etanol y se secó en una estufa a 60°C por 24 h. Las NPs-ZnO secas fueron trituradas en un mortero de ágata para obtener un polvo fino y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su uso. El tamaño y la morfología de las nanopartículas se midieron mediante un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución (HRTEM) Titan 80-300 Kv (FEI Company, Hillsboro, Oregón, Estados Unidos).

### **Aislamiento y purificación de *Alternaria alternata***

Para la obtención de cepas del hongo, se recolectó tejido vegetal en el cultivo de tomate con síntomas de la presencia de *A. alternata*. Para su aislamiento se seccionó el tejido con un bisturí, luego se desinfectó lavando 3 veces el tejido con hipoclorito de sodio al 3% (Cloro

comercial), dH<sub>2</sub>O estéril, alcohol al 70% y dH<sub>2</sub>O estéril y posteriormente se sembró en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (Bioxon®) y se incubó a 28 ± 2 °C en una cámara de crecimiento (Yamato®) y a partir de su crecimiento la cepa se separó para su purificación por punta de hifa.

### **Identificación morfológica de *Alternaria alternata***

La identificación morfológica se realizó mediante montas de estructuras del micelio y sus respectivos conidios en portaobjetos con una solución de lactofenol y azul de algodón con apoyo de un microscopio estereoscópico. Su observación se realizó a 40 y 100X en microscopio compuesto y para su identificación a nivel género se apoyó de las claves taxonómicas para géneros de hongos imperfectos de Barnett y Hunter (1998) y a nivel especie con las claves de Simmons (2007).

### **Identificación molecular de *Alternaria alternata***

**Extracción de ADN genómico.** Para la identificación molecular, se colocaron discos de micelio de 10 mm en placas de Petri con PDA, se incubaron a 28 °C ± 2 durante 21 d, posteriormente se colectó el micelio con una espátula estéril y se depositó en un mortero de porcelana que contenía nitrógeno líquido. El micelio ultracongelado se maceró hasta polvo fino, se pesaron 100 mg en balanza analítica (Ohaus®), el micelio macerado se colocó en un microtubo de 1.5 mL, esto se realizó para cada aislado de *A. alternata*. La extracción de ADN genómico se llevó a cabo por el método de Bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB) de acuerdo con Kalendar *et al.* (2021) con algunas modificaciones. A los microtubos con el micelio macerado se les agregó 1 mL de CTAB (10% de CTAB en 0.7 M de NaCl) más 100 µL de NaCl 5 M, se agitaron en vórtex durante 30 s y se incubaron a 95 °C durante 90 min en IncuMix™ (Select BioProducts). Una vez transcurrido el tiempo se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se centrifugaron a 12 000 rpm durante 1 min (EPPENDORF 5415C Centrifuge). Se transfirieron 700 µL del sobrenadante a un nuevo microtubo de 1.5 mL, al cual se le agregaron 500 µL de cloroformo: alcohol isoamílico (24:1), se mezclaron por inversión durante 10 min y se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min. Después se transfirieron 700 µL de la fase superior a un nuevo microtubo de 1.5 mL, se agregaron 500 µL de isopropanol frío, se mezclaron suavemente por inversión y se dejaron incubar a -20 °C

toda una noche. Posteriormente, los microtubos se centrifugaron a 12 000 rpm durante 15 min, se decantó el sobrenadante sin perder la pastilla de ADN, se agregaron 1000 µL de etanol 70% para lavar la pastilla y se centrifugaron a 12 000 rpm durante 5 min, se retiró el sobrenadante y se dejó secar la pastilla con los microtubos invertidos sobre papel estéril. Finalmente, se re-suspendió el ADN en 50 µL de agua libre de nucleasas y se almacenó a -20 °C. Para verificar la integridad del ADN se realizó la electroforesis en gel de agarosa al 1% teñido con Bromuro de etidio 0.5 µg/mL. Para determinar la concentración y la calidad del ADN se utilizaron 2 µL de la muestra y 198 µL de agua libre de nucleasas, y se midió la absorbancia a 260/280 nm.

**Reacción en cadena de la polimerasa (PCR).** Para la PCR se utilizó el sistema MyTaq™ Mix (meridian BIOSCIENCE® Cat. BIO-25041) en un volumen final de 25 µL. Se colocaron 1 µL de ADN (100 ng/µL), 0.5 µL de cada uno de los oligonucleótidos AAF2 (5'-TGCAATCAGCGTCAGTAACAAAT-3') y AAR3 (5'-ATGGATGCTAGACCTTTGCTGAT-3') (20 µM), 12.5 µL de My Taq Mix 2x y 10.5 µL de agua libre de nucleasas. El termociclador (Thermo electron corporation®) fue programado a un ciclo de 94 °C, 5 min; seguido de 40 ciclos a 94 °C, 1 min; 52 °C, 1 min; 72° C, 2 min y un ciclo a 72 °C, 7 min. Los productos de la amplificación de 340 pb fueron visualizados en un gel de agarosa al 2% teñido con bromuro de etidio 0.5 µg/mL, para determinar la longitud de los fragmentos amplificados se utilizó el marcador de 100 pb de Gen Script® (Konstantinova *et al.* 2002) (Fig. 1).

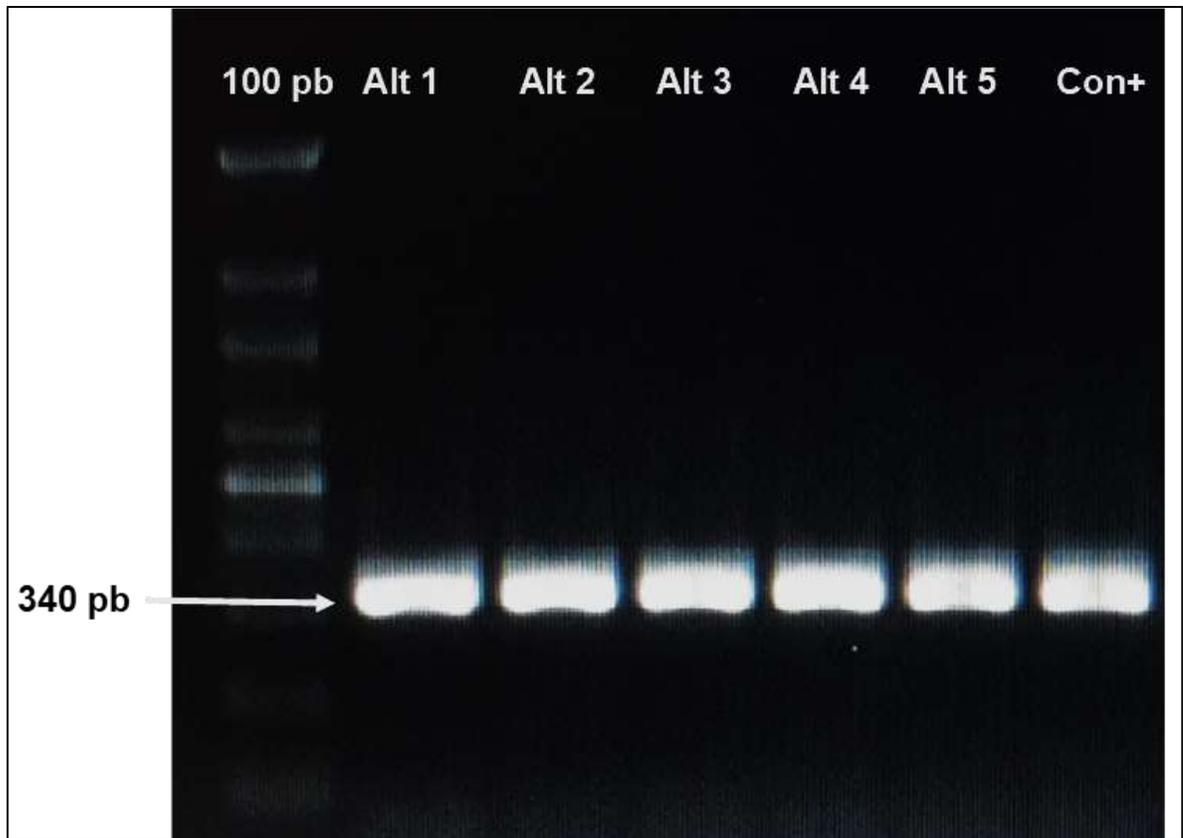


Figura 1. Productos de PCR visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 2%, teñido con bromuro de etidio 0.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Carril 1: marcador de tamaño molecular 100 pb (Gen Script®), carriles 2 al 6: cepas de *A. alternata* 1 a 5, carril 7: Control positivo.

### **Evaluación *in vitro***

**Medio de cultivo envenenado.** Se preparó medio de cultivo PDA (15g /L) adicionado con 5g/L de extracto de malta (Bio Basic) en una olla de presión (Presto Modelo 79291, capacidad 21 L) por 15 minutos a 15 libras a una temperatura de 121°C para su esterilización. Las NPs-ZnO y ZnO se prepararon en tubos de vidrio con 10 mL de agua desionizada, a razón de 1g/L =1000 ppm, y a partir de esta, se prepararon las concentraciones correspondientes tanto de nanopartículas de óxido de zinc como de óxido de zinc. Las NPs-ZnO fueron dispersadas por sonicación en tres ciclos de 15 min. Finalizada la esterilización, se dejó enfriar el medio de cultivo, el cual se completó con la solución de NPs previamente sonicada y ZnO, se agitó por un lapso de 15-20 minutos para lograr homogenizar la solución con el medio y por último cada tratamiento fue vaciado en cajas Petri (90 x 15 mm), sobre

los cuales se colocó en el centro un explante de 5 mm de *A. alternata*. Las cajas de Petri se incubaron a una temperatura de  $28 \pm 2$  °C por 12 días en cámara de crecimiento.

### **Diseño experimental**

Se evaluó el efecto *in vitro* de NPs-ZnO y ZnO sobre *A. alternata* bajo un diseño completamente al azar con 8 concentraciones (100, 200, 400, 800, 1200, 1600, 2000, 3000 ppm) y un testigo absoluto sin nanopartículas ni óxido de zinc (0 ppm) con 4 repeticiones cada una, considerada una caja Petri como una repetición.

### **Evaluación de crecimiento micelial y concentración de conidios**

La evaluación consistió en medir el crecimiento micelial, en dos ejes (horizontal y vertical) del fitopatógeno, cada 24 horas, hasta el llenado del testigo (12 días), utilizando como apoyo un calibrador (vernier) con compuesto digital (Titan®). Para el conteo de conidios se recolectó el micelio de las cajas en dH<sub>2</sub>O estéril, se agito la suspensión para homogenizar la concentración de conidios, posteriormente se tomaron 10 µL y se colocaron en la cámara de Neubauer/hemocitómetro (Marienfeld, Alemania), siguiendo los pasos y fórmulas de la guía proporcionada por Celeromics (Total de células contadas/ Número de cuadros x 10,000). Con los datos obtenidos en la evaluación se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial y porcentaje de inhibición de esporulación mediante la fórmula descrita por Orberá *et al.* (2009), tomando como 100% el crecimiento micelial del testigo y 100% de los conidios del testigo (0 ppm) respectivamente.

$$PI = \left( \frac{R1 - R2}{R1} \right) \times 100$$

Donde:

**PI:** es el porcentaje de inhibición del crecimiento radial/esporulación

**R1:** representa el valor promedio del radio del crecimiento del hongo (testigo)

**R2:** Es el valor promedio del radio de la colonia inhibida (tratamiento).

### **Análisis de resultados**

Con los porcentajes de inhibición micelial y de la esporulación se realizó un análisis Probit y se determinó los valores de la concentración inhibidora ( $CI_{50}$  y  $CI_{90}$ ) y sus límites fiduciales al 95% de confiabilidad. Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la inhibición micelial e inhibición de esporulación, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de los tratamientos con una prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0.05$ ). Los datos de inhibición micelial e inhibición de esporulación expresados en porcentaje fueron transformados por raíz cuadrada de arcoseno para su análisis. Para los análisis se utilizó el software estadístico SAS/STAT (SAS, Institute, 2002).

## RESULTADOS

La distribución de tamaño de las partículas se obtuvo al analizar 300 nanopartículas mediante la técnica de microscopio electrónico de transmisión de alta resolución. En la figura 2 se observa una micrografía de microscopio electrónico de transmisión de alta resolución de las nanopartículas de ZnO, que muestra una morfología semiesférica cristalina de tamaño medio de 23.44 nm y tamaño de distribución uniforme (a). Las partículas más grandes se distribuyen a la aglomeración de partículas. El histograma de distribución del tamaño de partícula indica que varía de 7.3. a 42.7 nm (b).

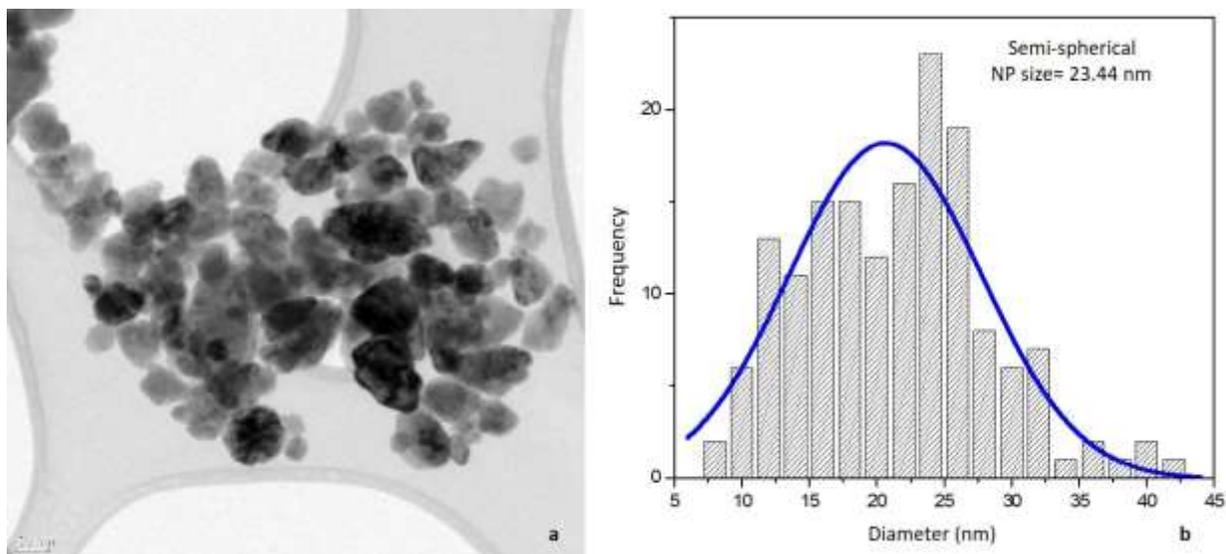


Figura 2. Micrografía de microscopio electrónico de transmisión de alta resolución que muestra la morfología semiesférica de nanopartículas de óxido de zinc (a) e histograma de distribución del tamaño de partícula (b).

Se encontraron diferencias significativas en la inhibición del crecimiento del micelio, el tratamiento con mayor eficiencia sobre *Alternaria alternata* fueron las NPs-ZnO a la concentración de 3000 con 86.7% de inhibición del crecimiento micelial, seguida de las concentraciones de 2000, 1600 y 1200 ppm. En el tratamiento ZnO en una concentración de 3000 ppm fue la que mostro una mayor inhibición en el crecimiento micelial, con una eficiencia de 84.4%. seguida de 1600 y 2000 ppm con 80 y 81%. En concentraciones bajas de NPs-ZnO se obtuvo una inhibición micelial de entre 40-80%, mientras que con ZnO se

obtuvo una inhibición micelial entre 27 y 74%. Los resultados obtenidos sobre la inhibición del crecimiento del micelio sobre *A. alternata* mostró diferencias significativas en todas las concentraciones en NPs-ZnO y ZnO en comparación del testigo (Cuadro 6, Figs. 3, 4).

Cuadro 5. Medias del porcentaje de inhibición micelial, porcentaje de inhibición de esporulación  $\pm$  desviación estándar de *Alternaria alternata* en medio PDA a diferentes concentraciones de NPs-ZnO y ZnO a 12 días de evaluación.

Tratamiento	Concentración (ppm)	Inhibición del crecimiento micelial (%) <sup>a, b</sup>	Inhibición de esporulación (%) <sup>a, b</sup>
Testigo	0	0 $\pm$ 0.00 h	0 $\pm$ 0.00 c
NPs-ZnO	3000	86.725 $\pm$ 1.34 a	100 $\pm$ 0.00 a
NPs-ZnO	2000	85.100 $\pm$ 0.89 ab	100 $\pm$ 0.00 a
NPs-ZnO	1600	83.250 $\pm$ 1.20 abc	100 $\pm$ 0.00 a
NPs-ZnO	1200	84.425 $\pm$ 1.06 abc	100 $\pm$ 0.00 a
NPs-ZnO	800	81.650 $\pm$ 0.97 bc	99.405 $\pm$ 0.54 a
NPs-ZnO	400	76.650 $\pm$ 0.27 d	98.228 $\pm$ 0.96 a
NPs-ZnO	200	45.125 $\pm$ 1.50 e	54.373 $\pm$ 16.58 b
NPs-ZnO	100	42.750 $\pm$ 1.73 e	38.748 $\pm$ 22.84 b
ZnO	3000	84.450 $\pm$ 1.18 abc	99.748 $\pm$ 0.31 a
ZnO	2000	81.700 $\pm$ 0.73 bc	99.433 $\pm$ 0.19 a
ZnO	1600	80.900 $\pm$ 2.04 c	99.768 $\pm$ 0.30 a
ZnO	1200	74.650 $\pm$ 0.24 d	98.335 $\pm$ 1.00 a
ZnO	800	75.800 $\pm$ 1.14 d	99.085 $\pm$ 0.67 a
ZnO	400	72.125 $\pm$ 1.91 d	98.995 $\pm$ 1.07 a
ZnO	200	33.825 $\pm$ 1.53 f	48.225 $\pm$ 19.90 b
ZnO	100	27.550 $\pm$ 3.57 g	31.630 $\pm$ 21.57 b
CV		2.27	12.30
R <sup>2</sup>		0.99	0.93
GL		16,67	16,67
F		1196.27***	42.54***
Pr>F		<0.0001	<0.0001

ppm=partes por millón. <sup>a</sup>Medias con la misma letra entre columna no son significativamente diferentes (Tukey; P<0.05). <sup>b</sup>Datos para sus análisis transformados por raíz cuadrada de arcoseno. CV=Coeficiente de Variación. \*\*\* Indica significancia contraste valor F a P <0.001.

En la evaluación del efecto de inhibición de esporulación sobre *A. alternata*, se obtuvo de 98-100% de inhibición de esporas desde 400 a 3000 ppm tanto con NPs como con ZnO, sin diferencias significativas. Se obtuvieron resultados significativos con 100% de inhibición de

la esporulación con las NPs-ZnO a concentraciones de 1200-3000 ppm, mientras que las concentraciones de 400 y 800 ppm presentaron una inhibición de 98.2 y 99.4% de la esporulación. En los tratamientos con ZnO se obtuvo una inhibición significativa con un rango de inhibición de 98-99% a concentraciones de 400-3000 ppm (Cuadro 6).

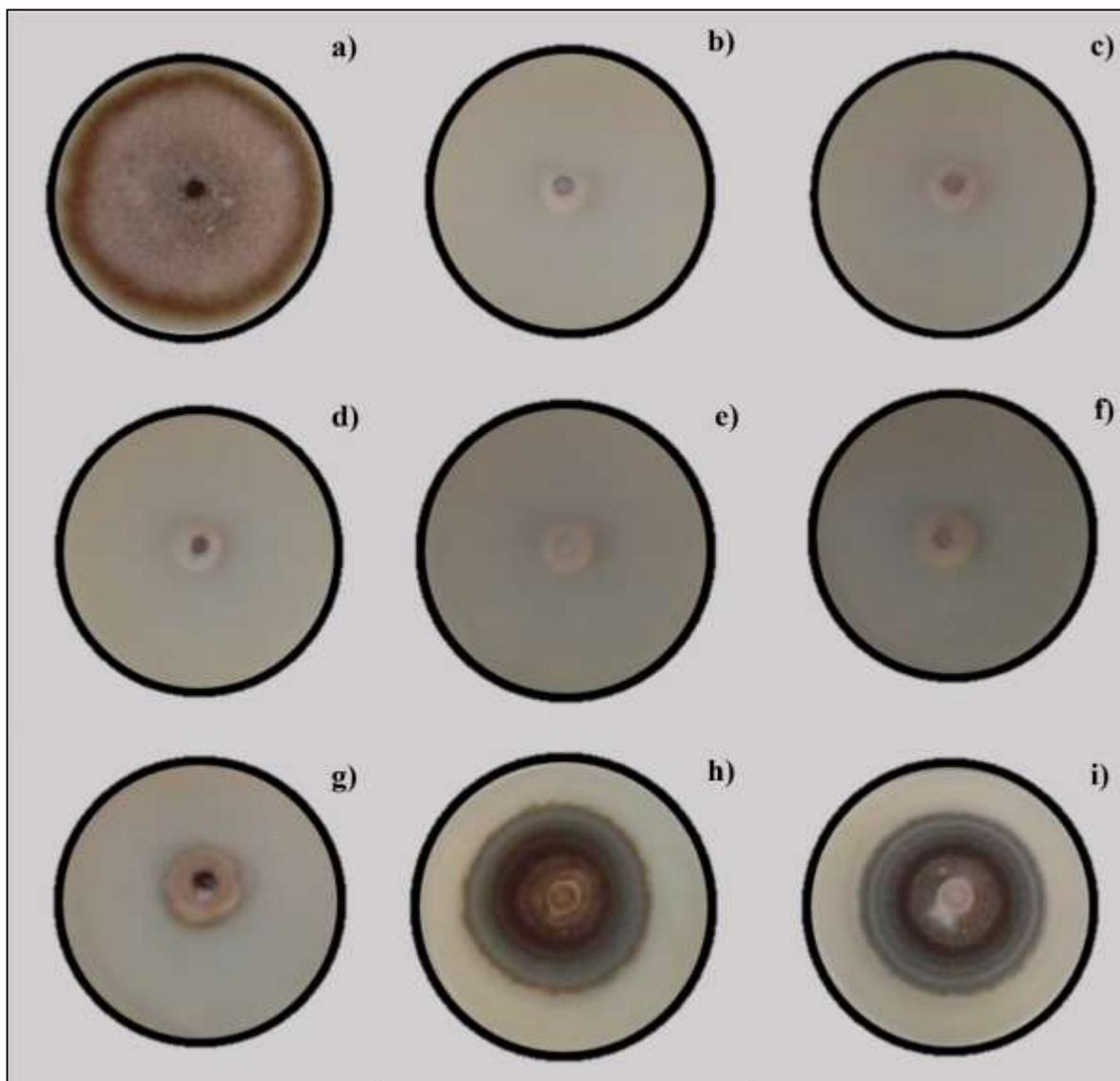


Figura 3. Actividad antifúngica de NPs-ZnO sobre *Alternaria alternata in vitro*: a) 0 ppm, b) 3000 ppm, c) 2000 ppm, d) 1600 ppm, e) 1200 ppm, f) 800 ppm, g) 400 ppm, h) 200 ppm, i) 100 ppm.

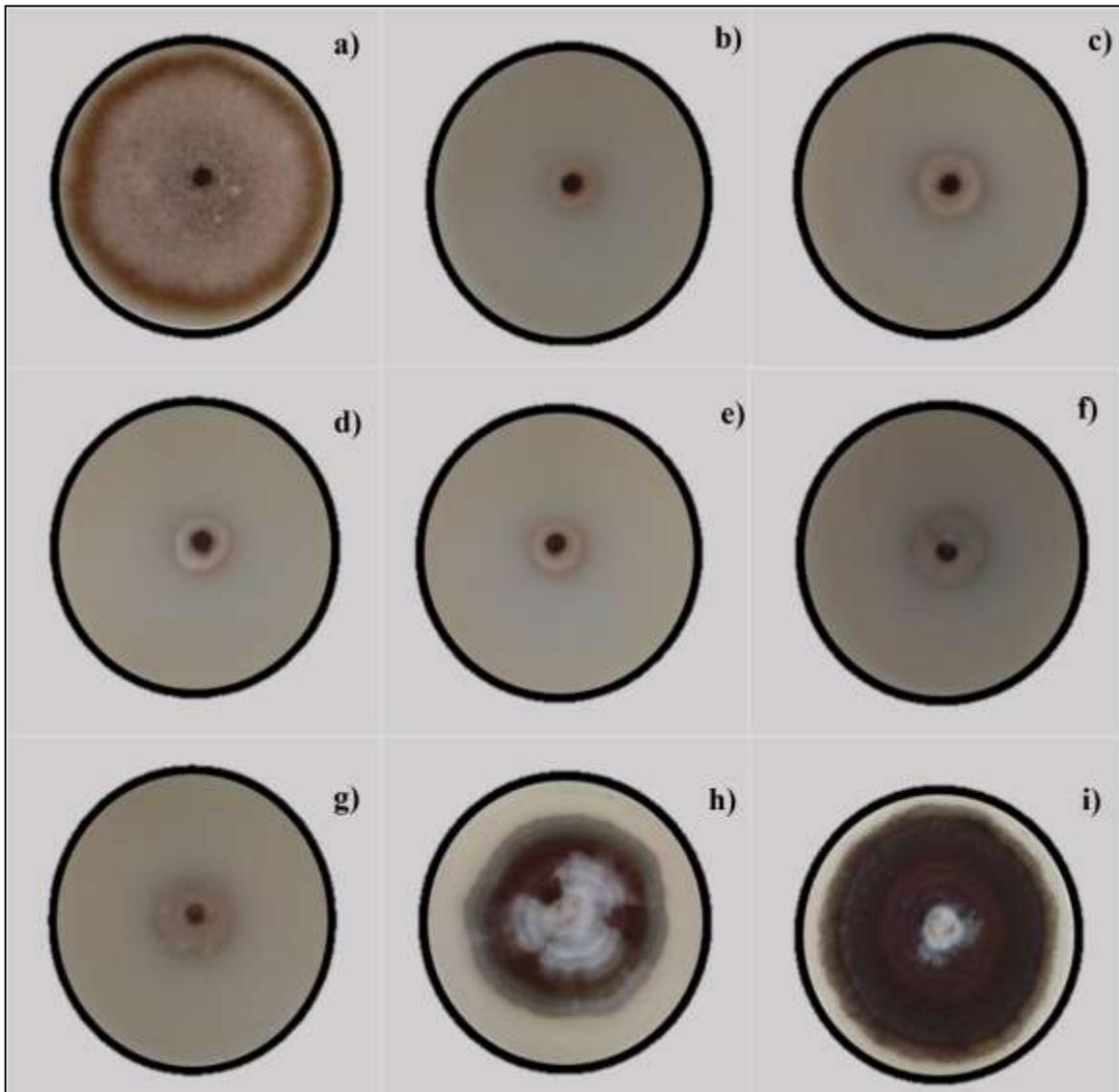


Figura 4. Actividad antifúngica de ZnO sobre *Alternaria alternata in vitro*: a) 0 ppm, b) 3000 ppm, c) 2000 ppm, d) 1600 ppm, e) 1200 ppm, f) 800 ppm, g) 400 ppm, h) 200 ppm, i) 100 ppm.

Para la inhibición del 50% del crecimiento micelial se requiere una concentración más baja de NPs-ZnO en comparación con el ZnO para inhibir el mismo porcentaje. Lo mismo pasa para la inhibición del 50% de esporas, se requieren una menor concentración de NPs-ZnO, misma situación para la inhibición del 90% del crecimiento de micelio y esporulación (Cuadro 7).

Cuadro 6. Concentración inhibitoria del crecimiento micelial y de la esporulación y límites fiduciales por NPs-ZnO y ZnO aplicados a *Alternaria alternata* en medio PDA a 12 días de evaluación.

Tratamientos	ppm					
	CI <sub>50</sub>	Límites fiduciales 95%		CI <sub>90</sub>	Límites fiduciales 95%	
		Inferior	Superior		Inferior	Superior
Inhibición de micelio						
NPs-ZnO	150.46	63.26	246.38	2908	1697	7749
ZnO	265.22	70.06	490.08	4086	1807	41521
Inhibición de esporas						
NPs-ZnO	141.34	102.22	178.59	347.71	264.21	575.44
ZnO	157.48	92.27	223.82	429.84	294.08	929.82

Ppm=partes por millón, CI<sub>50</sub>= Concentración inhibitoria del 50% del crecimiento,  
 CI<sub>90</sub>= Concentración inhibitoria del 90% del crecimiento.

## DISCUSIÓN

En los últimos años, el uso de la nanotecnología se ha convertido en una herramienta prometedora para el control de plagas (Wazid *et al.* 2018), particularmente en el control de plagas para la protección de cultivos, se han probado diferentes NPs contra diversas plagas, principalmente en condiciones de laboratorio (González-Merino *et al.* 2021).

Las NPs tienen la capacidad de anclarse a la pared celular y posteriormente penetrar en ella, provocando de este modo cambios en la estructura en la membrana celular que dan lugar a demasiada permeabilidad en la membrana (hay formación de hoyos y acumulación de nanopartículas en la membrana), esto provoca la salida proteínas, azúcares y disminución del trifosfato de adenosina (ATP) dando como resultado la muerte de la célula (Ibarra, 2016).

El zinc es un microelemento esencial para el crecimiento y desarrollo general de las plantas (Pandey *et al.* 2010). Actúa como precursor de fitohormonas como las auxinas, que favorecen el alargamiento y división celular e influyen en la reactividad del ácido indolacético, y como fitoestimulante hormonal, asociado a la biosíntesis de citoquininas y giberelinas. Además, es esencial para la fotosíntesis y facilita el metabolismo de los carbohidratos en las plantas porque estabiliza o activa las proteínas involucradas en estos procesos (Landa, 2021; Rehman, *et al.* 2012; Shyla y Natarajan 2014; Kriti *et al.* 2020), aumenta la aptitud biológica y ayuda a las plantas a sobrellevar las condiciones de estrés (Méndez-Arguello *et al.* 2016).

Entre las NPs utilizadas para la protección de cultivos, las NPs-ZnO son más recurrentes debido a su excelente estabilidad química y térmica, bajo costo de producción y no son dañinas para el medio ambiente (Rajiv *et al.* 2013; Sabri *et al.* 2013, citado por Kriti *et al.* 2020).

El papel de la liberación de ZnO de las NPs en la actividad antimicrobiana se probó usando micropartículas y nanopartículas sobre *Fusarium graminearum* Schwabe (Nectriaceae), demostrando que los efectos nanoespecíficos del ZnO juega un papel contribuyente en el nivel de efectos antifúngicos. La bioactividad fue más eficaz con NPs, lo que confirma que

el tamaño nanométrico mejora la eficacia de ZnO, aumentando su toxicidad en relación con micropartículas más grandes, inhibiendo el crecimiento micelial del hongo (Dimkpa *et al.* 2013). Las NPs metálicas de ZnO, ya sean puras o mezcladas, están siendo estudiadas globalmente por su potencial agrícola como promotores de crecimiento, nanofertilizantes y antimicrobiales (Méndez-Argüello *et al.* 2016).

En la presente investigación se comprobó que las NPs-ZnO con forma semiesférica y un tamaño promedio de 23.44 nm inhibieron el desarrollo de *A. alternata*, considerada esta tecnología como una alternativa para el manejo de este hongo; tal y como lo demostró Moreno (2015) las NPs-ZnO de 15 a 26 nm con dosis de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 mg demostraron efecto antifúngico contra *B. cinerea*, inhibiendo por completo el crecimiento de micelio de este fitopatógeno a una concentración de 1500 mg L<sup>-1</sup>, además en combinación, nanopartículas de ZnO/Ag la inhibición de este patógeno se observó a una concentración más baja desde 500 mg L<sup>-1</sup> en todas las concentraciones estudiadas.

Al-Dhabaan *et al.* (2017) evaluaron las NPs-ZnO y nanocompuestos de quitosano, óxido de zinc y cobre (NCS-CS-Zn-Cu) contra tres hongos patógenos de plantas, incluidos *A. alternata*, *R. solani* y *B. cinerea*. La aplicación *in vitro* mostró que las NCS-CS-Zn-Cu a 90 µg ml<sup>-1</sup> tienen la mayor actividad antifúngica, inhibiendo el crecimiento de *B. cinerea* con una inhibición de 1.7 cm en comparación con las otras concentraciones y con las otras nanopartículas. Las NPs-ZnO a 90 µg ml<sup>-1</sup> inhibieron significativamente el crecimiento de *R. solani*, con una inhibición de 1.6 cm en comparación con concentraciones de 30 y 60 µg ml<sup>-1</sup>. Mientras que las nanopartículas de Cu a 90 µg ml<sup>-1</sup> inhibieron el crecimiento de *A. alternata* en 1.4 cm.

La actividad antimicótica de NPs-ZnO sobre *Bipolaris sorokiniana* (Sorokin) Shoemaker (Pleosporaceae) y *Alternaria brassicicola* (Schwein.) Wiltshire (Pleosporaceae) fue investigada por Kriti *et al.* (2020). En este estudio se observó que las NPs ZnO son eficaces para interferir con el metabolismo de dichos hongos fitopatógenos, a una concentración de 20 ppm fueron eficaz para inhibir la germinación de esporas en *B. sorokiniana* y en 10 ppm

efectivas para *A. brassicicola*. Y a 100 ppm de NPs-ZnO inhibió significativamente el crecimiento micelial de ambos patógenos.

González-Merino *et al.* (2021) evaluaron el potencial *in vitro* de NPs-ZnO como agente antifúngico sobre *F. oxysporum*, reportando que las nanopartículas inhibieron el crecimiento del micelio de este patógeno a contracciones de 1600 a 3000 ppm con 81 a 83%, además de la esporulación con 82.57 a 83.85% en las mismas concentraciones.

Las NPs-ZnO y NPs-ZnO con plata sintetizadas con extractos vegetales fueron evaluadas sobre los hongos *Alternaria solani* Sorauer (Pleosporaceae) y *F. oxysporum*. La evaluación resultante fue que estas nanopartículas sintetizadas con extracto de *Lippia graveolens* Kunth (Verbenaceae) a 1000 mg L<sup>-1</sup> inhibieron el 65% del crecimiento micelial y redujeron en 66% la producción de esporas, mientras que a la adición de plata (NPs-ZnO/Ag) incremento la capacidad de inhibir la producción de esporas, alcanzando el 78%. Para el caso de *F. oxysporum* las NPs-ZnO inhibieron el crecimiento en un 62% y redujeron en 55% la producción de esporas, este último reduciendo a un más la producción de esporas hasta un 78% a la adición de plata (Merlín, 2020).

En otro estudio realizado por Muños (2020), este demuestra que NPs-ZnO obtenidas a 600°C, no eliminaron a la bacteria *C. michiganensis* a concentraciones desde 250-4000 mg L<sup>-1</sup>, sin embargo, inhibieron su crecimiento al 50%, a una concentración de 2000 mg L<sup>-1</sup>. Se demostró que la adición de nanopartículas de plata (NPs de Ag) mejoro la capacidad bactericida, debido a que las NPs de ZnO/ Ag inhibieron el crecimiento de la bacteria al 99% a partir de 4000 mgL<sup>-1</sup> e inhibieron su crecimiento al 50% a una concentración de 1000 mg L<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

Las nanopartículas metálicas de ZnO y ZnO inhibieron el crecimiento micelial y producción de esporas del hongo fitopatógeno *Alternaria alternata*, agente causal de la pudrición de frutos en tomate.

Las nanopartículas se presentan como una alternativa potencial para el control de este hongo fitopatógeno.

Es importante profundizar la búsqueda de este tipo de investigaciones, buscar nuevas alternativas amigables con el medio ambiente que sean eficientes para el control de *A. alternata*. Y contra otros microorganismos fitopatógenos que representan problemas en el sector agrícola.

## LITERATURA CITADA

- Al-Dhabaan, F. A., Shoala, T., Ali, A. A., Alaa, M., Abd-Elsalam, K. (2017). Chemically-produced copper, zinc nanoparticles and chitosan–bimetallic nanocomposites and their antifungal activity against three phytopathogenic fungi. *International Journal of Agricultural Technology*, 13(5):753-69.
- Allende, C. M., Salinas, P. L., Rodríguez, A. F., Olivares, P. N., Riquelme, S. J., Antúnez, B. A. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile. 112 p.
- Alvarado, R., Solera, F., Baudrit, J. V. (2014). Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de cinc y plata estabilizadas con quintosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 15(3):1-15.
- Álvarez, S. P. (2020). Nuevas aproximaciones en nanomedicina contra bacterias multirresistentes: nanopartículas inorgánicas. Tesis licenciatura. Universidad Complutense, Madrid, España. 21 p. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/PALOMA%20ALVAREZ%20SEBASTIA.pdf>
- Arredondo, S. (2016). Control de tizón en tomate industrial mediante un sistema de alerta temprana. Instituto de investigaciones agropecuarias, Villa Alegre, Chile.
- Arteaga, R. A. M. (2015). Evaluación del rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L) en invernadero bajo diferentes fuentes nutricionales. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 121 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6797/63420%20ARTEAGA%20RESENDIZ,%20ANA%20MARIA%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Batista, T. A. (2013). *La agricultura protegida y los invernaderos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Berrueta, M. M. (2012). Evaluación de germoplasma de tomate para industria y determinación de los componentes de resistencia a mancha bacteriana raza 3. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. 86 p. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/1848?mode=full>
- Baudoin, A. (2017). *Manual técnico de producción de tomate con enfoque de buenas prácticas agrícolas*. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT). La Paz, Bolivia 200 p.
- Barnett, H. L., Hunter, B. B. (1998) *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Minnesota, USA, APS Press.
- Bernal, R. (2010). Enfermedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero en las zonas de de salto y bella unión. Montevideo - Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INAI).
- Betancourt, G. R., Berlanga, D.M. L., Puente U. B., Rodríguez, F. O., Sanchez-Valdes, S. (2010) Surface modification of ZnO nanoparticles. *Mater. Sci. Forum*. 644:61-64.
- Borboa, F. J., Rueda, P. E. O., Acedo, F. E., Ponce, j., Cruz, M., Grimaldo, J. O., García O. A. (2009). Interacción de *clavibacter michiganensis subspecies michiganensis* en tomate del estado de Sonora, México. *Resista fitotecnia mexicana*. 32(4): 319-326.

- Canales, M. A., Villanueva, I. M. (2018). Actividad de nanoestructuras de ZnO biosintetizadas extracelularmente con *Mucor fragilis* frente a microorganismos fitopatógenos. *Revista de Energía Química y Física*. 5(14): 1-6.
- Carrillo-Fasio, J. A., Montoya-Rodríguez, T., Garcí- Estrada, R. S., Cruz-Ortega, J. E., Márquez-Zequera, I., Sañudo-Barajas, A. J. (2003). Razas de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* Snyder y Hansen, en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21 (2): 123-127
- Carrillo-Fasio, J. A., Sánchez-Baustista, L., García-Estrada, R., Allende-Molar, R., Márquez-Zequera, I. (2001). Razas de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Doidge) Dye. presentes en el Estado de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 19 (2): 248-250.
- Castro, R. D. (2017). Nanotecnología en la agricultura. *Bionatura* 2(3):1-6. Obtenido de DOI. 10.21931/RB/2017.03.03.9
- CEDRSSA. (Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria). (2020). Análisis de la producción y consumo de hortalizas. Obtenido de [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis\\_produccio%CC%81n\\_consumo\\_hortalizas.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis_produccio%CC%81n_consumo_hortalizas.pdf)
- CERDSSA. (Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria). (2020). Impacto del uso de plaguicidas en el sector agropecuario. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54IMPACTO%20DE%20LOS%20PLAGUICIDAS.pdf>
- Contreras, S. R., Depestre, M. T., Rodruíguez, Y. (2007). El virus del bronceado del tomate (TSWV). y su incidencia en el cultivo del pimiento. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 11(32): 33-39.
- Cubedo, L. L. (2008). Manejo biorracional de la pudrición de la corona y raíz (*Fusarium oxysporum f.sp. radis-lycopersici*) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis maestría. Instituto Politécnico Nacional, Guasave, Sinaloa, México. 96 p. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3806/MANEJOBIORRACIONAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Curimilma, C. S. S. (2015). Control de nematodo agallador de las raíces del tomate *meloitogyne incognita* (Kofoit and White, 1919) con extractos estandarizados de tres plantas nativas con propiedades nematicidas. Tesis licenciatura. Univesidad Nacional de Loja, Loja– Ecuador. 74 p. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10064>
- Del Puerto, R. A., Suárez, T., Palacio, E. D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 52 (3): 372-387.
- Debreczeni, D. (2015). Caracterización de aislados del virus del bronceado del tomate (TSWV) que superan las resistencias de los genes Sw-5 en tomate y Tsw en pimiento. Identificación de una fuente de tolerancia en pimiento. Tesis doctoral. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España. 132 p. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/51460/DEBRECZENI%20%20Caracterizaci%C3%B3n%20de%20aislados%20del%20virus%20del%20bronceado%20del%20tomate%20%28TSWV%29%20que%20superan%20la...pdf?sequence=10>
- Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Britt, D. W., Anderson, A. J. (2013). Antifungal activity of ZnO nanoparticles and their interactive effect with a biocontrol bacterium on growth antagonism of the plant pathogen *Fusarium graminearum*. *BioMetals*. 26: 913-924. <https://doi.org/10.1007/s10534-013-9667-6>

- Ephytia. (2021). Obtenido de <https://ephytia.inrae.fr/es/C/20887/Tomate-Biologia-epidemiologia> (Fecha de citado 21 de Octubre 2021).
- EPPO. (2018). *Botrytis cinerea*. Obtenido de <https://gd.eppo.int/taxon/BOTRCI> (Fecha de consulta 5 Octubre 2021).
- EPPO. (2020). *Rhizoctonia solani*. Obtenido de <https://gd.eppo.int/taxon/RHIZSO> (Fecha de consulta 7 Octubre 2021).
- Esquivel, F. d., Mas, D. S. (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. Rev. Cubana Quím. 33 (2): 23-45.
- Espinoza, M. M. G. (2008). Análisis de la diversidad genética de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Pseudomonas syringae* pv. tomato y *Xantomonas campestris* pv. *Visicatoria* en cultivos de tomate en Sinaloa. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Sinaloa, México. 130 p. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3794/ANALISISDIVERSIDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estay, P. P. (2018). Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades Trips de California. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Félix-Gastélum R., Gálvez-Figueroa, C.A. (2002). Control del Moho negro, *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) en el fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) considerando unidades calor y variables ambientales para la aplicación de azoxystrobin en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 20 (1):72-76.
- Fernández, H. E., Guerrero, R. J., Rueda, P. E., Acosta, R. M. (2013). Patógenos y síntomas asociados a la marchites del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Texcoco México. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 15 (3): 46-50.
- FIRA. (2019). Panorama agroalimentario, TOMATE ROJO 2019. Obtenido de <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf> (Fecha de consulta 10 octubre 2021).
- Flores, C. M., Martínez, D. M., Nieto, Á. D., Rodríguez, P. J., Colinas, L. M., Martínez, S. J. (2013). Reducción en la Germinación *in vitro* de Conidios de *Alternaria alternata* aislada de Eruca sativa con Jugo de Brócoli. Revista Mexicana de Fitopatología. 31(2): 180-190.
- Flores, C., Bueno, S., Giorgini, S. (2012). Enfermedades de Tomate. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Yuto: Ediciones INTA, 136 p.
- Fornaris, J. G. (2007). Características de la planta. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate. Universidad de Puerto Rico.
- Gregorio, C. M. Del R. (2011). Variedad de poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Obtenidas de (*Solanum lycopersicum* L.) con tizón tardío. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 63 p. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/1845/IIAF-M-2011-0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1845/IIAF-M-2011-0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gómez, J. R., Hernández F. L. M. Cossio, V. L. E., López, A. J. G., Sánchez, L. R. (2011). Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit. INIFAP, CIRPAC. Campo experimental Santiago Ixcuintla, Folleto Técnico Núm 19, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.
- González, M. A. M. (2020). Actividad antifúngica de nanopartículas de óxido de zinc en el patosistema *Fusarium oxysporum-Solanum lycopersicum* bajo condiciones controladas. Tesis maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo,

Coahuila, México. 48 p.  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47050/Gonz%C3%A1lez%20Merino%2C%20Ana%20Mar%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- González-Merino, A. M., Hernández-Juárez, A., Betancourt-Galindo, R., Ochoa-Fuentes, Y., Valdez-Aguilar, L., Limón-Corona M. L. 2021. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles in *Fusarium oxysporum-Solanum lycopersicum* pathosystem under controlled conditions. *Journal of Phytopathology*. 169(9):533-544. DOI: <https://doi.org/10.1111/jph.13023>.
- González, M. P. (2006). Enfermedades del tomate. Montevideo, Uruguay. Obtenido de [http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/enfermedades/Fusarium\\_tom.html](http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/enfermedades/Fusarium_tom.html)
- Guzmán, A., Corradini, S. F., Martínez, C. J. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre. Santiago, Chile: INIA.
- Haifa Group (2014). Guía del cultivo: Tomate. Estados Unidos de América. Obtenido de [http://www.haifa-group.com/spanish/files/Languages%20/Spanish/Tomate\\_2014.pdf](http://www.haifa-group.com/spanish/files/Languages%20/Spanish/Tomate_2014.pdf)
- Hernández, L. S. (2013). Estudio del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate tipo "cherry pera". Trabajo monográfico. Universidad de Almería, Almería, España. 157 p. file:///C:/Users/Hp/Downloads/TRABAJO.pdf
- Ibarra, A. J. C. (2016). Estudio y valoración del efecto bactericida de nanopartículas metálicas sobre el crecimiento y desarrollo de bacterias fitopatógenas de importancia agrícola. Tesis maestría. Instituto Politécnico Nacional. 164 p. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26594/Tesis%20MTA%20-%20Juana%20Cristina%20Ibarra%20Ar%C3%A1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Inecol. (2021). Obtenido de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1178-nanopartículas-una-alternativa-contrahongos-fitopatógenos>
- Integrate Taxonomic Information System Report Page: *Solanum Lycopersicum*, 2021. Obtenido de [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=521671#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671#null)
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2011). Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí. Campo Experimental San Luis. (CIRNE) San Luis potosi, México. 57 p.
- Jamdagni, P., Khatri, P., Rana, J. S. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *Journal of King Saud University-Science*. 30. 168-175.
- Jamdagni, P., Rana, J. S., Khatri, P. (2019). Antioxidant activity and antifungal fractional inhibitory concentration indices of zinc oxide nanoparticles in combination with carbendazim, mancozeb, and thiram. *Micro & Nano Letters*. 14. 1037-1040. <https://doi.org/10.1049/mnl.2019.0104>.
- Jaramillo-Pineda, J., Guerrero-Olazarán, M., Fuentes-Garibay, J. A., M, V.-S. J., Meza-García, J. L., Morales-Ramos, L. H. (2015). Identificación de especies de *Meloidogyne* utilizando la secuenciación de regiones espaciadoras transcritas internas

- de ADN ribosomal de estadios juveniles. *Revista Mexicana de fitopatología* 33(1): 1-11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/612/61240687001.pdf>.
- Jiménez, C. J., Oseas, E. U. (2017). Producción orgánica de tomate saladet (*Solanum Lycopersicum*) mediante la inoculación de bacterias. *Revista de Energía Química y Física*. 4(10): 19-25.
- Kalendar, R, Boronnikova S, Seppänen M (2021) Isolation and Purification of DNA from Complicated Biological Samples. In: Besse P. (eds) *Molecular Plant Taxonomy. Methods in Molecular Biology*, vol 2222. Humana, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0997-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0997-2_3).
- Konstantinova, P., Bonants P. J., Van Gent-Pelzer M. P., Van Der Zouwen P (2002) Development of specific primers for detection and identification of *Alternaria spp.* in carrot material by PCR and comparison with blotter and plating assays. *Mycological Research* 106(1): 23-33.
- Kriti, A., Ghatak, A., Mandal, N. (2020). Antimycotic efficacy of Zinc nanoparticle on dark-spore forming Phytopathogenic fungi. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(2): 750-754.
- Landa, P. (2021). Positive effects of metallic nanoparticles on plants: Overview of involved mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*. 161: 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.039>.
- Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., De los Santos-Villarreal, G., Vera-Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*. 28 (2): 9-24. Obtenido de <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- López, D. I. (2019). Identificación de posibles riesgos toxicológicos y sus regulaciones sanitarias del uso de nanomateriales en productos de consumo humano en México. *Revista Médica*. 10(3):221-228. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmed/md-2019/md193e.pdf>
- López, L. L., Navarro, T. G. (2020). ¿Qué relación tiene la nanotecnología con las plantas?. *Plantas y tecnología* 30-35 p.
- López, M. L. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate (*solanum lycopersicum*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. San José, Costa Rica. 130 p.
- Martínez-Ruiz, F. E. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en la zona árida del noroeste de México: la Importancia de su diagnóstico. *European Scientific*. 12(18): 232-252.
- Medina, P. G., Fernández, L. F. (2018). Nanotoxicidad: retos y oportunidades. *Revista mundo mano* 11(20): 7-16. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.20.6410>
- Melgar, J. C. (2012). Marchitez bacteriana en solanáceas: su reconocimiento y su manejo integrado. *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)*, 19 p.
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, I., Puente-Urbina, U., Lira-Saldivar, R. (2016). Promoción del crecimiento de *Capsicum annum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*. 8(17): 140-156.
- Merlín, T. J. A. (2020). Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc y óxido de zinc con plata asistida con extractos de plantas de zonas áridas y su antagonismo contra hongos fitopatógenos. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 69 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47126/K66839>

[%20Merlin%20Trujillo%2C%20Joaqu%20C3%ADn%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

- Monardes, M. H. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Características botánicas. Chile. Universidad de Chile. 60 p.
- Moreno, L. K. (2015). Control de hongo *Botrytis cinerea* en frutos de tomate mediante el uso de nanopartículas de Óxido de zinc/plata y un recubrimiento polimérico de poli (acetato de vinilo-co-alcohol vinílico). Tesis maestría. Centro de investigación en química aplicada. Saltillo, Coahuila, México. 94 p. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/307/1/Karina%20Moreno%20Le%20C3%B3n%20Maestria.pdf>
- Muños O. I. E. (2020). Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc y óxido de zinc/plata asistida con extractos de *Flourenzia cernua* DC: efecto antagonístico contra *Clavibacter michiganensis* y en la germinación de semillas de tomate. Tesis maestría. Centro de investigación en química aplicada. Saltillo, Coahuila, México. 89 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/47126>
- Notario, M. C., Sosa, M. M. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum*): Aporte nutrimenta, enfermedades poscosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. Temas selectos de ingeniería de alimentos 1 (6): 40-53.
- Nuño, M. R., Ponce M.J.F., Hernandez Z.C., Machain S.G.M. (2007). Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali. Baja california, México.
- Obregón, V. (2014). Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero. 1ª Ed. Ediciones INTA. EEA Bella Vista, Argentina. 54 p.
- Obregón, V. (2018). Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero. Ediciones INTA. EEA Bella Vista, Argentina. 54 p.
- Ojeda, G. A., Arias, G. A., Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. Mundo Nano 12(23): 1-14. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v12n23/2448-5691-mn-12-23-7.pdf> (Fecha de consulta 16 Octubre 2021).
- Orberá, R.T.M., Serrat, D. M.J., González, G. Z. (2009) Potencialidades de bacterias aerobias formadoras de endosporas para el biocontrol en plantas ornamentales. Fitosanidad. 13: 95-100.
- Palacio, B. A., Aguado, M. A., Cambra, A. M. (2010). El cancro bacteriano del tomate *Clavibacter michiganensis subsp. michinanensis*. Aragón, España: Centro de investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón.
- Pandey, A.C.S.; Sanjay, S.S.; Yadav, R. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental Nanoscience. 5: 488-497.
- Patrice, G. (2009). *Ralstonia solanacearum* raza 3 biovar 2. Universidad de Florida. Estados Unidos. [https://plantpath.ifas.ufl.edu/rsol/RalstoniaPublications\\_PDF/Ralstonia\\_solanacearum\\_ES\\_PDF.pdf](https://plantpath.ifas.ufl.edu/rsol/RalstoniaPublications_PDF/Ralstonia_solanacearum_ES_PDF.pdf)
- Pérez, G. M., Castro, B. R. (2012). Jitomate de invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México. 135 p.
- Pérez, R. G. (2017). Comportamiento fenológico y agronomico de la variedad tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sahel bajos condiciones de campo abierto y casa sombra. Tesis licenciatura. Torreón, Coahuila, México. 95 p.

- [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42226/GADIE L%20P%20C%2089REZ%20RODR%20C%208DGUEZ.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42226/GADIE%20L%20P%20C%2089REZ%20RODR%20C%208DGUEZ.pdf?sequence=1)
- Polack, A. (2005). Manejo Integrado de Moscas Blancas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Pedro, Buenos Aires, Argentina.
- ProMéxico. (2018). El mundo de la nanotecnología situación y prospectiva para México. Unidad de Inteligencia de Negocios, México. Obtenido de <https://ethic.com.mx/docs/estudios/El-mundo-nanotecnologia-Situacion-prospectiva-Mexico.pdf> (Fecha de consulta 14 Octubre 2021).
- PROMOSTA. (2005). El cultivo de tomate. Documento técnico. DIGTA. Obtenido de <http://dicta.gob.hn/files/2005,-El-cultivo-del-tomate,-F.pdf>
- Quesada, R. G., Méndez, S. C. (2005). Evaluación de sustratos para almacigos de hortalizas. *Agronomía mesoamericana* 16(2): 171-183.
- Quiróz, C. S. (2016). Guía para la producción de tomate en agricultura familiar. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San José, Costa Rica.: INTA, 22 p.
- Ramírez, C. M. (2018). El uso de Pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Rev. enferm. vanguard.* 6(2): 40-47.
- Ramírez, G. M., Santamaria, C. E., Mendez, R. J., Rios, F. J., Hernandez, S. J., Pedro, M. J. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratíoxa (*Bactericera cockerelli* B.y L.) (Homoptera: triocidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas.* 3(1): 47-56.
- Rajiv, P., Rajeshwari, S., Venckatesh, R. (2013). Bio-Fabrication of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L. and its size-dependent antifungal activity against plant fungal pathogens. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 112. 384-387.
- Rehman, H.U.; Aziz, T.; Farooq, M.; Wakeel, A. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: A review. *Plant Soil.* 361: 203-226.
- Retes, M. J. E. (2011). Detección de genotipos de *Solanum lycopersicum* L. resistentes al permanente del tomate (*Candidatus Liberibacter solanacearum*). Tesis maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán de Rosales, Sinaloa, México. 106 p. <http://cca.uas.edu.mx/images/posgrado/Tesis/COHORTE%2020092011/10.%20JESUS%20ENRIQUE%20RETES%20MANJARREZ.pdf>
- Reyes, C. (17 de 10 de 2017). Manchas bacterianas en tomate- *Xantomonas Vesicatoria*. Obtenido de Panorama agro. com.
- Reyes, C. (2017). Tizón tardío en tomate - *Phytophthora infestans*. *Revista de agricultura.* Obtenido de <https://panorama-agro.com/?p=2414>
- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, R., Yescas-Coronado, P., Orozco-Vidal, J. A. (2021). Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 12 (3): 1-13. Obtenido de [file:///C:/Users/Hp/Downloads/Dialnet-NanopartículasDeOxidoDeZincYSuEfectoEnElRendimiento-8052383%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/Dialnet-NanopartículasDeOxidoDeZincYSuEfectoEnElRendimiento-8052383%20(2).pdf)
- Robledo, B. J., Aguirre, A. C., Jairo, C. Z. (2019). Guía ilustrada de enfermedades en postcosecha de frutas y verduras y sus agentes causantes en Colombia. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colombia. 525 p.
- Rodríguez, R. R. (2006). Plagas y enfermedades del tomate . Continuación... Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), España. Obtenido de [file:///C:/Users/Hp/Downloads/146%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/146%20(2).pdf)

- Rodríguez-Guzmán, C., González-Estrada, R., Bautista-Baños, S., Gutiérrez-Martínez, P. (2019). Efecto del quitosano en el control de *Alternaria sp.* en plantas de jitomate en invernadero. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 22(1): 1-7. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.161>
- Rodríguez, S. V. H., Morales, B. J. L. (2007). Evaluación de alternativas de protección física y química de semilleros de tomate (*lycopersicum esculentum* mill) contra el ataque del complejo mosca blanca (*bemisia tabaci*, *gennadius*)-geminivirus y su efecto en el rendimiento, en el municipio de Tisma, Masaya. Tesis licenciatura. Managua, Nicaragua. 91 p. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh01r696e.pdf>
- Roselló, J., Porcuna, J. L. (2012). Cultivo ecológico del tomate y del pimiento. Cuadernos Técnicos SEAE. España. Obtenido de [https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Cultivo\\_ecologico.pdf](https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Cultivo_ecologico.pdf)
- Salazar, A. W; Guzmán, H. T. (2013). Efecto de poblaciones de *Meloidogyne sp.* en el desarrollo y rendimiento del tomate. Agronomía Mesoamericana. (24)2: 419-426.
- Salagro. (2019). El ciclo biológico del nemátodo *Meloidogyne*. Salagro soluciones agrosostenibles. Obtenido de <https://solagro.com.pe/blog/el-ciclo-biologico-del-nem%C3%A1todo-meloidogyne/> (Fecha de consulta 20 octubre 2021).
- S.A.S. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.
- Schultz, D., French, M. R. (2011). Mancha Bacteriana del Tomate y el Pimiento. Texas, USA: M AgriLife Extension Service-Texas A&M System.
- Sepúlveda, R. P. (2018). Manejo integrado de plagas y enfermedades pudrición gris en tomate. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2014). Diagnóstico y manejo de cáncer bacteriano. Ciudad de México, México. Comité estatal de sanidad vegetal del estado.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2019). Protocolo de Diagnóstico: *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* razas 1, 2 y 3 y *f. sp. radicis - lycopersici*. (Marchitez del tomate y pudrición de la corona y raíz) [Versión 1.0]. Tecámac, México.
- Shyla, K.K.; Natarajan, N. (2014). Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticles for enhancing groundnut seed quality. Indian Journal of Science and Technology. 7(9):1376-1381.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021) Panorama agroalimentario 2020. Obtenido de <file:///F:/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf> (Fecha de consulta 8 Octubre 2021).
- Simmons, E. G. (2007). *Alternaria: an identification manual*. CBS Fungal biodiversity centre, Utrecht, the Netherlands. 77 p.
- Sinavimo (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas). (2021) *Botrytis cinerea*. Obtenido de <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/botrytis-cinerea> (Fecha de consulta: 16 de octubre 2021).
- Singh, B. k., Rakesh, E. S., yadav, V.P.S., Singh D. K. (2010). Adoption of commercial cut flower production technology in meerut. Indican Research Journal of Extension Education. 10(1):50-53.

- Sociedad Española de fitopatología. (2010). Patógenos de plantas descritos en España. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Segunda edición. Madrid, España. 858 p.
- Sosa, M. A. (2013). Guía para el reconocimiento de enfermedades en el cultivo de tomate. Estación Experimental Agropecuaria. Instituto nacional de tecnología agropecuaria, INTA. El Colorado, Formosa, Argentina. 34 p.
- SQM. (2018). Tomate. Obtenido de <https://www.sqm.com/estudio/tomate/> (Fecha de consulta 9 octubre 2021).
- Vázquez-Olmos, A. R., Vega-Jiménez, A. L., Paz-Díaz, B. (2018). Mecanosíntesis y efecto antimicrobiano de óxidos metálicos nanoestructurados. Mundo nano. 11(1): 29-44. Obtenido de DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62545
- Villamor, S. E. (2020). Impacto medio ambiental de el uso de nanopartículas. Tesis licenciatura. Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 40 p. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103533/VILLAMOR%20SANCHO%20E DUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vivar, C. J. F. (2007). Eficacia de dos sistemas de solarización en proceso de compostaje para reducir niveles de *Rhizoctonia*. Tesis Licenciatura. Universidad Del Azuay. Cuenca, Ecuador. 51 p. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/452/1/06658.pdf>
- Wazid, Nadagouda, S., Prabhuraj, A., Naik, R. H., Shakuntala, N. M., Sharanagouda, H. (2018). Effect of Biosynthesized Zinc Oxide Green Nanoparticles on Pulse Beetle, *Callosobruchus analis* (Coleoptera: Chrysomelidae). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 7:503-512.