



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Químicas

Lic. En Químico Farmacobiólogo

Departamento de Bioquímica-Alimentos



“Estudio de la capacidad antifúngica de timol y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum lycopersicum var cerasiforme*) var. *cherry*”

Tesis para obtener el Título de Químico Farmacobiólogo

Presenta

p.Q.F.B Zurita Lerín Bernardo

Director: Teresa Soledad Cid Perez

Co- director: Raúl Ávila Sosa-Sánchez

Junio 2025



OFICIO C.Q./CT 011P/2024

**C. Bernardo Zurita Lerín
PRESENTE**

Toda vez que se cuenta con la aprobación del Coordinador de la Licenciatura en Farmacia, le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

"Estudio de la capacidad antifúngica de timol y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum Lycopersicum* var *Cerasiforme*) var. *Cherry*"

ha sido autorizado, siendo:
D.C. Teresa Soledad Cid Pérez, Directora De Tesis
D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez, Asesor De Tesis

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., 1 de marzo de 2024

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena digital: 8Fc-Bk%Bb/Xu!l)Aj"Zj,Js+Bs.Zy\$Oc/Pa.Uq+Si-Uw!Wh.Zs+Up&Uf%hk"Ny%Wh(Ms+Dn#Dg\$Zi*Ua)Kr,Nb!Lr*Tu+Kk)Ug(Yq%Kn,Ki"so#Un#Bh\$Op'To'Qr\$Pq%Bq%Pt+Pt.Zk\$R o!Wm.We'Tu&Zz(Xz"Ok!Qv.Wd/Qt.Ef"Tr.Hk.Gw\$Ua/St/ly%Ts/Zf!Sh)Fb&Jr"Ee*Gi/He/Mo#Tn\$Pk-Li(Qx'Md.Ae.Gb\$Cq'Ng-Cj(Cp"Np"Yq-Nz&Cq#Se/Jc)Qs,Ra&

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 55 00 Ext. 7390



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**



OFICIO C.Q./CT 041 RPCR/2025

OFICIO DE REGISTRO Y NOMBRAMIENTO DE COMISION REVISORA

Nombre del(la) estudiante: **Bernardo Zurita Lerin**

Matrícula: **201752431**

Nombre del director: **D. C. Teresa Soledad Cid Pérez**

Nombre del codirector o asesor: **D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez**

Título de la Tesis:

"Estudio de la capacidad antifúngica de timol y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum Lycopersicum* var *Cerasiforme*) var. *Cherry*"

Comisión Revisora:

Presidente: D.C. Addí Rhode Navarro Cruz

Firma: _____

Secretario: D.C. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Firma: _____

Vocal: D.C. Ricardo Munguía Pérez

Firma: _____

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., 9 de junio de 2025


Dr. Henoc Flores Segura

Director Facultad de Ciencias Químicas

c.c.p. Archivo



Facultad de Ciencias Químicas
Av. San Claudio No. 1 Edificio FCQ 9
Ciudad Universitaria Col. San Manuel
(222)2295500 ext. 7390



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



OFICIO C.Q./CT 035 A/2025

Dr. Henoc Flores Segura
Director Facultad de Ciencias Químicas
Presente.

OFICIO DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Título de la Tesis:

“Estudio de la capacidad antifúngica de timol y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum Lycopersicum* var *Cerasiforme*) var. Cherry”

Comisión Revisora:

Presidente: D.C. Addf Rhode Navarro Cruz

Firma: 

Secretario: D.C. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Firma: 

Vocal: D.C. Ricardo Munguía Pérez

Firma: 

Los integrantes de la Comisión Revisora comunicamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de licenciatura de **Químico Farmacobiólogo** que presenta la estudiante **Bernardo Zurita Lerín**, bajo la dirección del **D. C. Teresa Soledad Cid Pérez** y codirección de **D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez** por lo que estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el estudiante presente su defensa y examen, con número de matrícula **201752431**.

Atentamente

Comisión revisora

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 15 de agosto de 2025

c.c.p. Archivo



Facultad de Ciencias Químicas
Av. San Claudio No. 1 Edificio FCQ 9
Ciudad Universitaria Col. San Manuel
(222)2295500 ext. 7390

Dedicatoria

Este documento y todo el trabajo que hay detrás de este, está dedicado a las personas que amo en esta vida, primeramente, mi madre Margarita Alejandra Lerín Arellano que es el pilar en mi educación y valores, a mi padre Bernardo Zurita Granados mi apoyo en los tiempos difíciles y nunca me deja solo y a mi hermano Alejandro Zurita Lerín que es el motivo por el cual sigo adelante.

También quiero dedicar esta tesis al amor de mi vida, la MVZ Arely Morelos Vidal la cuál creyó en mí desde el día que me conoció.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, que me ha dejado llegar a este momento tan importante en mi vida académica y me da fortaleza.

A mis amigos que he conocido a lo largo de la vida, son la viva muestra que existe el amor sincero y desinteresado. Sin ustedes no sería la persona que soy.

A mi familia, que me han colmado de amor y apoyo en todo momento y enfermedad,

A mis madrinas de graduación, mis ejemplos a seguir en la vida.

A mi abuela Julita Alejandrina Arellano Macip, que ha sido mi amiga de aventuras y mi gran confidente.

A mi compañero el QFB Jorge Sebastián Bahena Montoya, que me enseñó con paciencia y profesionalismo.

A mi Directora la Dra. Teresa Soledad Cid Pérez por su infinito apoyo, su sacrificio y cariño maternal que me ayudo para culminar este proyecto, a mi Director el Dr. Raúl Ávila Sosa-Sánchez que me apoyó hasta el final, que creyó en mí y en mi trabajo.

A mis Sinodales, la Dra. Addi Rhodes Navarro Cruz, la Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio y al Dr. Ricardo Munguía Pérez que han dado su apoyo y guiado para terminar este proyecto.

Índice

Dedicatoria-----	5
Agradecimientos-----	6
Índice-----	7
Índice de tablas-----	9
Índice de figuras-----	10
1. Introducción-----	11
2. Revisión bibliográfica-----	12
2.1 Pérdida de alimentos-----	12
2.2 Jitomate-----	14
2.2.1 Propiedades nutrimentales-----	16
2.2.2 Importancia económica del jitomate-----	17
2.2.3 Cosecha de jitomate-----	18
2.2.4 Jitomate variedad cherry-----	19
2.2.5 Causas de pérdidas post cosecha del jitomate-----	19
2.2.6. Principales microorganismos patógenos del jitomate-----	21
2.2.6.1 <i>Botrytis</i> sp.-----	22
2.2.6.2 <i>Fusarium</i> sp.-----	24
2.3 Antifúngicos-----	24
2.3.5 Compuestos de origen natural-----	28
2.4 Aceites esenciales y compuestos mayoritarios de aceites esenciales-----	29
2.4.1 Orégano y sus principales compuestos (timol y carvacrol)-----	32
2.5 Métodos para la determinación de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales o componente volátiles <i>in vitro</i> -----	34
2.5.1 Determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI)-----	34
2.5.2 Determinación de la concentración mínima bactericida (CMB)-----	34
2.5.3 Actividad antimicrobiana en fase de vapor-----	35
3. Justificación-----	37
4. Objetivos-----	39
4.1 Objetivo general-----	39
4.2 Objetivos específicos-----	39
5. Diagrama de trabajo-----	40
6. Materiales y métodos.-----	41
6.1 Material-----	41

6.2 Reactivos -----	41
7. Metodología -----	42
7.1 Conteo y ajuste de esporas-----	42
7.2 Materia prima e inoculación-----	42
7.3 Compuestos de origen natural. -----	43
7.4 Cámara fase vapor.-----	43
7.5 Almacenamiento de materia prima. -----	44
7.6 Vertido en placa y conteo de UFC-----	44
8. Resultados y discusión-----	45
8.1 Evaluación del crecimiento <i>in situ</i> de los hongos deterioradores del jitomate (<i>Botrytis</i> sp y <i>Fusarium</i> sp) -----	45
8.2 Evaluación del efecto antifúngico de los compuestos timol y carvacrol en fase de vapor contra hongos <i>Botrytis</i> sp y <i>Fusarium</i> sp. -----	46
9. Conclusión -----	52
10. Sugerencia-----	53
Bibliografía -----	54

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química y nutrimental de las diferentes variedades de jitomates	17
Tabla 2. Microorganismos presentes en jitomate comercial	21
Tabla 3. Principales plaguicidas químicos usados en la producción de jitomate.....	25
Tabla 4. Ejemplos de compuestos volátiles y su principal grupo funcional.....	31
Tabla 5. Principales componentes químicos de los aceites de diferentes hierbas.....	32
Tabla 6. Características químicas y físicas de timol y carvacrol	33
Tabla 7. Equipo y marcas propuestas en la investigación	42
Tabla 8. Concentraciones de Timol y Carvacrol usadas en el experimento	44
Tabla 9. Días de almacenamiento para el vertido en placa	45

Índice de figuras

Figura 1. Cadena de suministros de los alimentos	12
Figura 2. Porcentaje de pérdida de alimentos por región	13
Figura 3. Pérdidas porcentuales de los alimentos	14
Figura 4. Morfología del jitomate.....	15
Figura 5. Principales estados productores de jitomate a nivel nacional	18
Figura 6. Jitomate infectado por <i>Botrytis</i> sp. o enfermedad del moho gris	24
Figura 7. Ejemplo visual de la cámara de vapor usada en el experimento	44
Figura 8. Cinética de <i>Fusarium</i> sp y <i>Botrytis</i> sp. inoculado en jitomate cherry almacenado por 20 días (25°C)	46
Figura 9. Cinética de crecimiento de <i>Botrytis</i> sp. inoculado en jitomate cherry expuesto a timol en fase vapor a diferentes concentraciones (41.6, 62.5 y 83.3 µL/L) durante un periodo de almacenamiento de 20 días a 25 °C.	48
Figura 10. Cinética de crecimiento de <i>Fusarium</i> sp. en jitomate cherry tratado con timol en fase vapor (41.6, 62.5 y 83.3 µL/L) durante 20 días a 25 °C.	49
Figura 11. Cinética de crecimiento de <i>Fusarium</i> sp. en jitomate cherry, expuesto a carvacrol en fase vapor a diferentes concentraciones (baja: 38.8 µL/L, media: 58.2 µL/L, alta: 77.6 µL/L) durante 20 días de almacenamiento a 25 °C	50
Figura 12. Cinética de <i>Botrytis</i> sp. inoculado en jitomate cherry con diferentes concentraciones de carvacrol colocado en fase vapor (baja 38.8 µL/L, media 58.2 µL/L, alta 77.6 µL/L) almacenado por 20 días (25°C)	51

1. Introducción

El jitomate ha sido una hortaliza de gran importancia a lo largo de los años, tiene características nutritivas importantes en la dieta humana siendo fuente importante de vitaminas (A, B1, B2, y C), minerales (calcio, fósforo, potasio y sodio) y antioxidantes. Además de un uso variado en diferentes platillos y rutinas de todo el mundo. Derivado de su alto porcentaje de humedad, esta hortaliza es propensa a sufrir afecciones por diferentes microorganismos patógenos dando como resultado un gran daño post cosecha; con pérdidas económicas importantes a países productores como México. Existen más de 200 enfermedades asociadas etiológicamente a el jitomate donde el agente causal puede ir desde insectos, nematodos, virus, bacterias y hongos; teniendo este último enfermedades como moho gris, moho blanco, marchitamiento fúngico, tizón temprano entre otras. El uso de antifúngicos químicos es el principal método de protección para el control de perdidas post cosecha del jitomate, pero el uso excesivo de estos agentes químicos se ha asociado con efectos adversos para la salud de las hortalizas y del consumidor; por lo antes descrito la búsqueda de antifúngicos de origen natural es primordial en la rama agroindustrial. En años recientes los aceites esenciales o sus compuestos puros se han consolidado como una alternativa de antifúngicos naturales, siendo el aceite de orégano y específicamente sus dos compuestos mayoritarios timol y carvacrol (pertenecientes a la familia de los terpenos) uno de los compuestos naturales más utilizados como antimicrobianos y específicamente como antifúngico en alimentos teniendo un efecto positivo en la conservación de estos.

2. Revisión bibliográfica

2.1 Pérdida de alimentos

El control de las pérdidas de alimentos es importante en los esfuerzos para combatir el hambre, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria en los países más pobres del mundo. Las pérdidas de alimentos afectan a la seguridad alimentaria de las personas de bajos recursos, la calidad, la inocuidad alimentaria, el desarrollo económico y perjudica ampliamente al medioambiente. El desperdicio de alimentos conlleva a pérdidas de recursos utilizados en la producción, como tierra, agua, energía e insumos. Producir comida que no va a consumirse supone emisiones innecesarias de dióxido de carbono además de mermas en el valor añadido de los alimentos producidos. Los alimentos se pierden o desperdician a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción agrícola inicial hasta el consumo final en los hogares. En los países de ingresos altos y medianos, los alimentos se desperdician de manera significativa en la etapa del consumo, lo que significa que todavía son adecuados para el consumo humano. En las regiones industrializadas, el desperdicio de alimentos es más prominente en la etapa de consumo, principalmente en los hogares y en menor medida en restaurantes y comercio minorista, esto se debe principalmente por la cultura de consumo en donde la poca planeación, la compra en exceso y la percepción de la calidad crea un gran porcentaje de alimentos que se perderán sin darles un uso. En los países de ingresos bajos, los alimentos se pierden principalmente durante las primeras etapas y las etapas intermedias de la cadena de suministro de alimentos y se desperdician muchos menos alimentos en el consumo (FAO, 2021).



Figura 1. Cadena de suministros de los alimentos (Cámara Guatemalteca de Alimentos y Bebidas)

El índice de pérdida de alimentos es una herramienta usada para obtener un dato certero del porcentaje de cuanto alimento se desecha en una época y región específica, esta herramienta abarca desde que se cosecha hasta antes del nivel minorista. Con él se logra medir los cambios las mermas porcentuales de una cesta de 10 productos básicos por país en comparación con un período de referencia. El porcentaje de pérdidas en alimentos a través de las diferentes etapas fue de 13.2% del total producido en el año 2021. Al hablar de este porcentaje, comparando con anteriores años, no se puede llegar a un pronóstico a futuro ya que solo ha tenidos pequeñas variaciones a lo largo de los años (ODS,2021).

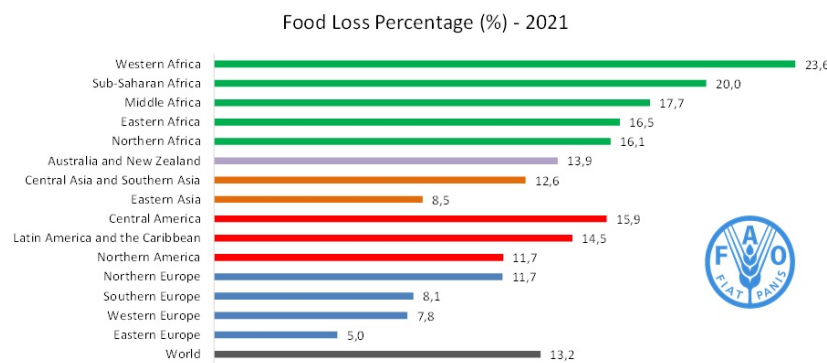


Figura 2. Porcentaje de pérdida de alimentos por región (ODS).

En la figura 2. se observa que el porcentaje de la pérdida de alimentos varía sustancialmente dependiendo de la región mundial. Mientras que en Europa toma los valores más pequeños entre el 5 y el 11.7 %, en Latinoamérica y América Central ronda el 15 %. En África muestra ser la región con mayor pérdida y gran variabilidad ya que en el norte de África oscila entre 16.1 %; mientras que en la región sur y oeste la pérdida representa a un 20-23.6 %.

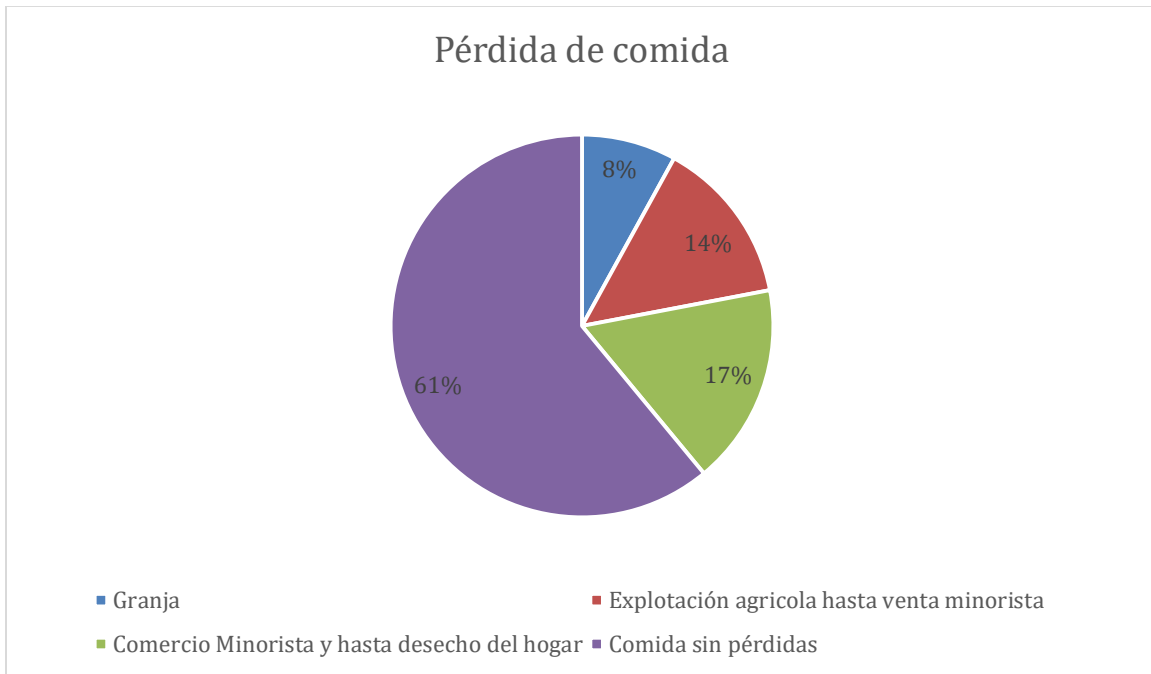


Figura 3. Pérdidas porcentuales de los alimentos (IFCO,2023).

En la figura 3, se muestra el porcentaje que se pierde de alimentos a nivel mundial, en cada una de las etapas de la cadena de suministros de alimentos (para el año 2023), en donde las etapas post cosecha aportaron casi el 30% del alimento desechado; es decir el 14% de los alimentos del mundo se pierde desde la etapa post cosecha y antes de venta minorista; y otro 17% de los alimentos se desperdicia en los hogares, los servicios alimentarios y el comercio minorista (UN, 2023)

En México la pérdida anual de alimentos es del 25% a nivel nacional. En las zonas geográficas donde existe un clima húmedo con abundante calor los principales agentes causales de podredumbre son los hongos y los insectos siendo afectados principalmente los lugares con un mal almacenaje (Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real , 2022).

2.2 Jitomate

El jitomate (*Lycopersicum esculentum*) es el nombre genérico que se ha dado a las plantas herbáceas con tallo voluble y a sus bayas de color rojo amarillento o incluso rojizo (el color rojo amarillento se debe a la presencia de los pigmentos), tiene un sabor ligeramente ácido, su forma suele ser redonda y achatada, excepto la variedad saladette, que es alargada. Es la

hortaliza con mayor producción para consumo humano (FAO. 2023), las condiciones de cultivo varían pero las óptimas suelen darse en zonas cálidas o templadas con temperaturas entre 20 a 24 °C aunque también en climas más frescos, los climas húmedos con temperaturas elevadas y una humedad relativa superior al 75% no son muy adecuados, los suelos profundos y aireados con materia orgánica y un pH ácido son ideales para el crecimiento de las planta, se pueden plantar en el exterior en un lugar que proteja las hortalizas del sol y el viento, pero para una mejor protección es mejor plantarlas en un invernadero (SAGARPA).

MORFOLOGÍA DEL CULTIVO DE TOMATE

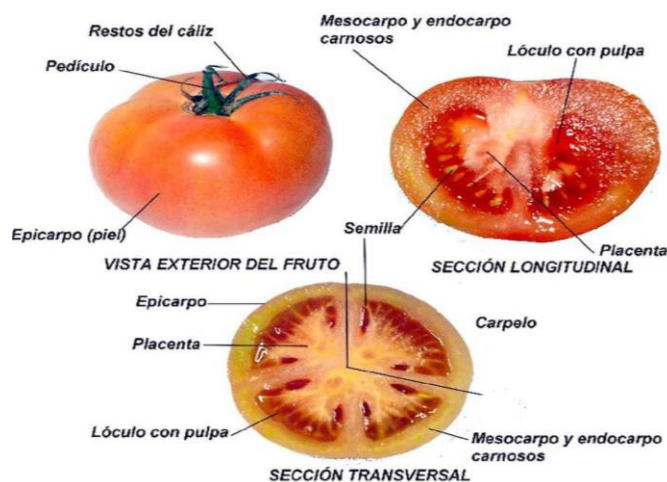


Figura 4. Morfología de jitomate (Campirano, 2021).

La morfología del fruto del jitomate tiene varias partes entre las cuales destaca:

1. Epicarpio:

Esta es la capa externa del fruto, que consiste en células epidérmicas cubiertas por una cutícula cerosa que protege contra la pérdida de agua y la invasión de microorganismos (Rodríguez & Melgarejo, 2006).

2. Mesocarpio:

Representa la mayor parte del tejido carnoso y jugoso del fruto. Está compuesto por células parenquimáticas que almacenan agua, azúcares y nutrientes, proporcionando sabor y textura al jitomate (Bergougnoux, 2014).

3. Endocarpio:

Capa interna que rodea las cavidades loculares donde se alojan las semillas, aunque en el jitomate esta capa no está muy diferenciada (Taiz & Zeiger, 2010).

4. Cavidades loculares:

Son espacios internos que contienen una sustancia gelatinosa y las semillas, ayudando a mantenerlas hidratadas y facilitando su dispersión (Rodríguez & Melgarejo, 2006).

5. Semillas:

Pequeñas, planas y de color amarillento, contienen el embrión para la futura planta (Taiz & Zeiger, 2010).

En cuanto al pedúnculo, este es la estructura que conecta el fruto con el tallo de la planta. Está compuesto por tejido vascular que transporta agua, nutrientes y productos fotosintéticos hacia el fruto, apoyando su desarrollo y maduración (Taiz & Zeiger, 2010). El pedúnculo también sostiene físicamente al fruto y está unido a una estructura llamada cáliz, formada por sépalos que protegen el fruto en sus etapas tempranas (Rodríguez & Melgarejo, 2006).

2.2.1 Propiedades nutrimentales

La composición química de las diferentes variedades de jitomate es muy parecida y con poca variabilidad, algunos valores se muestran en la Tabla 1, de forma general la bibliografía marca que el jitomate contiene entre 92-96% de agua, 0.5-1% de proteínas, 0.2-0.7% grasas y 1.2-2.5% de azúcares. Además, contiene diferentes concentraciones de luteína (pigmento característico de color amarillo), carotenos (pigmento característico de color naranja), licopenos (pigmento que da el color rojo característico al tomate) y vitaminas C, B1, B2 y B5. (Notario Medellín & Sosa Morales, 2012).

El jitomate es un alimento con bajo aporte energético, dos tomates medianos aportan tan sólo 22 calorías. Así mismo se caracteriza por tener una buena cantidad de fenoles, que en conjunto con los carotenos y vitamina C se relacionan con sustancias con carácter antioxidante con función protectora del organismo (FAO, 2023).

Tabla 1. Composición química y nutrimental de las diferentes variedades de jitomates. FUENTE: Reyes et al., 2017.

Variedad	Energía (Kcal)	Agua (g)	Proteína total (g)	β-caroteno (mcg)	Licopeno (mcg)	Luteínas (mcg)	Vitamina C (mg)
Cherry	12.3	95.2± 1.2	0.78 ± 0.02	350.4 ± 38.4	1680 ± 163	38.4 ± 9.6	82 ± 20
Cherry Pera	16.2	92.6 ± 1.3	1.05 ± 0.06	355.2 ± 37	207.2 ± 29.6	140.6 ± 29.6	39 ± 12
Pera	8.9	96.0 ± 1.4	0.056 ± 0.03	224.0 ± 28.0	480 ± 58	32.0 ± 12.0	164 ± 22
Racimo	12.6	93.3 ± 1.4	0.91 ± 0.10	26.8 ± 6.7	1567.8 ± 262.3	20.1 ± 6.7	174 ± 21
Raf	15.7	93.9 ± 1.5	0.96 ± 0.07	91.5 ± 18.3	2412.7 ±262.3	61.0 ± 18.3	155 ± 0.10
Rambo	9.9	95.8 ± 0.8	0.55 ± 0.08	117.6 ± 16.8	407.4 ±46.2	33.6 ± 8.4	263 ± 22

2.2.2 Importancia económica del jitomate

En 2018, el jitomate producido en México fue el cuarto producto que más se exportó al extranjero, después de las moras, el aguacate, limón y la cerveza. Los principales países de destino son Canadá, Estados Unidos y Japón. En 2022, el comercio total (incluyendo compras y ventas internacionales) de jitomate fresco y refrigerado ascendió a 2,520 millones de dólares. Los principales países de destino del comercio de jitomates frescos y refrigerados son Estados Unidos (2.414 millones de USD), Canadá (6,61 millones de USD), Japón (698.000 USD), Guatemala (87,9 millones de USD) y Honduras (30,2 millones de USD). Además, en 2021 México fue el segundo exportador mundial de jitomate, sólo detrás de Estados Unidos (Secretaría de Economía, 2022). En la figura 3 se muestran las principales zonas de producción son el centro y norte del país, donde se cultiva la variedad Saladette (Secretaría de Economía, 2022).

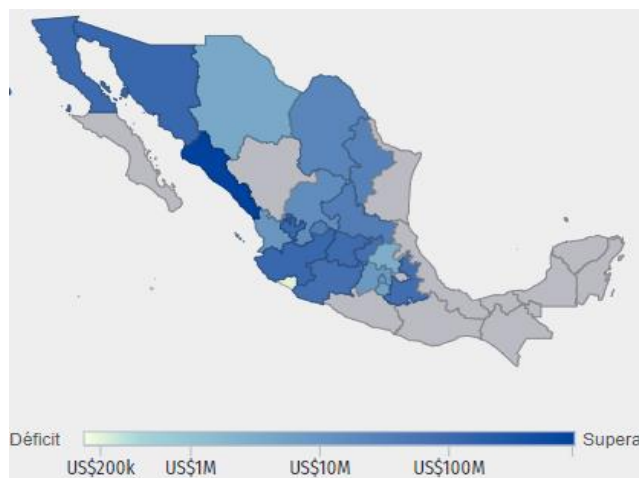


Figura 5. Principales estados productores de jitomate a nivel nacional (Secretaría de Economía, 2022).

En el 2023 el intercambio comercial total fue de US\$2,867, siendo el principal exportador del mundo y dentro de México las entidades federativas con mayor producción fueron: Sinaloa (US\$1,066M), Jalisco (US\$292M), Sonora (US\$289M), Guanajuato (US\$182M) y Puebla (US\$147M) (Economía, 2023).

2.2.3 Cosecha de jitomate

Los frutos de la planta del jitomate son de maduración climatérica, es decir, siguen madurando después de la cosecha. Esta característica debe tenerse en cuenta a la hora de elegir el grado de madurez del fruto para el momento de la cosecha. Lo ideal es que el momento de la recolección sea lo más cercano posible al estado de maduración “verde maduro”, ya que la tecnología post cosecha es aún incierta y la recolección en estados tempranos de maduración permite disponer de espacio suficiente para la manipulación de la cosecha, el envasado, el transporte y la entrega al consumidor sin graves problemas de sobre maduración. La madurez fisiológica se reconoce cuando la parte inferior del fruto empieza a volverse naranja y el resto del fruto permanece verde, el signo organoléptico más evidente de la madurez es el cambio de color de verde a rojo causado por la descomposición de la clorofila y la síntesis de licopeno además que el grado de decoloración que indica la madurez. El grado de madurez según la FAO (2019), se clasifica en los siguientes niveles:

- Estado 1 – Verde Maduro: la superficie total del fruto es verde, variando el tono de

verde según el cultivar.

- Estado 2 – Rompiendo: aparición de otro color, además del verde de fondo, en no más del 10% de la superficie del fruto.
- Estado 3 – Pintón: entre un 10 a un 30% de la superficie del fruto presenta color amarillo pálido, rosado, rojo o una combinación de ambos.
- Estado 4 – Rosado: entre un 30 a un 60% de la superficie, mostrando color rosado rojo.
- Estado 5 – Rojo claro: entre un 60 hasta 90% de la superficie de color rojo.
- Estado 6 – Rojo: Más del 90% de color rojo.

2.2.4 Jitomate variedad cherry

Jitomates cherry (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme), también conocidos como jitomates cereza y jitomates perla (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme). Pertenece a la familia de las solanáceas (tomates) y son una de las variedades de jitomate más populares. Son de color rojo cuando se encuentran fresco sus frutos son muy pequeños, de 1-3 cm de diámetro, en racimos de hasta 15 frutos. En comparación con las demás variedades, los cherry son más ricos en ácidos orgánicos, ácido ascórbico, licopeno, caroteno y otros nutrientes; por ejemplo, el contenido en vitamina C de los cherry es 1.7 veces superior al de otras variedades de jitomate, como se muestra en la Tabla 1. Son fáciles de consumir y se les ha relacionado con muchos beneficios para la salud, como reforzar el sistema inmunitario, ralentizar el proceso de envejecimiento, reducir la presión arterial, disminuir los niveles de colesterol y prevenir el cáncer (Wang et al., 2022).

2.2.5 Causas de pérdidas post cosecha del jitomate

Las pérdidas post cosecha se deben a varias causas, cuya gravedad depende de la fase del proceso en la que se daña el alimento: el manejo, el transporte, el almacenamiento y la comercialización son fundamentales para la seguridad de esta hortaliza. Las distintas causas de deterioro pueden clasificarse de la siguiente manera:

Desórdenes fisiológicos:

1. Daño por enfriamiento (DPE): las hortalizas al no tener una forma de regulación de su temperatura tienden a tener alteraciones por temperaturas bajas sin llegar al punto de

congelación entre las cuales destaca la reducción de la velocidad metabólica, alteración de las velocidades enzimáticas y las concentraciones de sustratos y productos de reacción. El principal síntoma visible del DPE en el jitomate es la maduración incompleta (Artés, 2002).

2. Maduración irregular (Blotchy ripening): es una consecuencia de un conjunto de afecciones (temperatura, sustratos o patógenos) que tienen como daño visible una coloración inadecuada siendo una mancha blanca o amarilla en el área extrema apical y pueden llegar hasta el cáliz (BAYER, 2004).
3. Quemaduras de sol: causada por una exposición a la radiación del sol por tiempos prolongados, la lesión se observa en el proceso post cosecha en las zonas superiores y laterales de la hortaliza (Genta, Et al., 1992)
4. Fruto hueco o puffines: da como resultado un producto de menor peso y densidad, además de presentar cavidades huecas en varios lóculos con contenido gelatinoso menor al igual de la cantidad de semillas. Condiciones inadecuadas de crecimiento como es la fertilización, carencia de luz solar o de temperatura son las principales causas de este (Jaramillo 2012).
5. Podredumbre apical: el déficit de calcio es la principal causa de este, el jitomate al solo usar las xilemas para transportar el calcio tiende a no poder redistribuir de manera adecuada a las áreas en donde hay niveles por debajo de lo necesario. Las lesiones comienzan con colores verde-marrón hasta alcanzar un color negro con depresiones secas en las células apicales (GREENCUT, 2022).
6. Rajaduras o grietas: es la creación de una grieta que puede ser radial o concéntrica, se puede encontrar al principio del crecimiento o al final de este y se da en los especímenes de tamaño grande, con baja tensión en su piel y pericarpio delgado con demasiado tiempo expuesto al sol (Genta, et al., 1992).

Daños mecánicos: se producen cuando no se manipulan con cuidado en la fase previa a la venta. El daño no es visible, ya que sólo se produce durante la maduración; el problema comienza en la cosecha y continúa hasta que se consume el producto, este es uno de los puntos más importantes, ya que los recolectores no suelen estar cualificados y las pérdidas son elevadas (FAO,2019).

Daño fitopatológico: causados por microorganismos patógenos presentes en el medio ambiente; en la mayoría de los casos, estos organismos son favorecidos por los dos tipos de daños anteriores ya que crean las condiciones ideales para estos patógenos.

2.2.6. Principales microorganismos patógenos del jitomate

Los agentes causales presentan mecanismos diferenciados mediante los cuales pueden alterar uno o varios procesos fisiológicos fundamentales del huésped. Entre las principales alteraciones se encuentran la interferencia en la absorción y el transporte de agua y nutrimentos, las disrupciones en el metabolismo primario y secundario, la inhibición de la actividad fotosintética, el bloqueo del transporte de fotosintatos, así como la afectación de procesos asociados al desarrollo reproductivo, la maduración de frutos y la senescencia de tejidos (Martínez et al., 2016). Por otro lado, factores como los daños mecánicos y fisiológicos, las condiciones ambientales, las características genóticas y fenotípicas del cultivo, las prácticas de manejo agronómico utilizadas y los sistemas de almacenamiento post cosecha pueden actuar como elementos predisponentes en la generación de un huésped susceptible, favoreciendo así la colonización e infección por parte del agente etiológico.

Tabla 2. Microorganismos presentes en jitomate comercial. (Flores et al., 2012)

Tipo de microorganismo		
Bacterianas	Fungosas	Virales
Marchitamiento bacteriano	Mancha gris del tomate	Begomovirus
Médula hueca	Marchitez por <i>fusarium</i>	Hojas cordón de zapato
Cancro bacteriano	Polvillo o cenicilla	Peste negra
Mancha bacteriana	Chupadera o mal de los almácigos	
	Moho de la hoja	
	Raíz corchosa	
	Moho blanco	
	Pata blanca	

Los jitomates y su cultivo están amenazados por diversos patógenos además de ser susceptibles a diversos microorganismos causantes de enfermedades. Los hongos son la principal causa de deterioro principalmente en climas tropicales dónde la tasa de deterioro

por hongos puede llegar al 11%. Además, como muestra la Tabla 2, pueden ser atacados por una amplia gama de patógenos fúngicos, estos agentes si llegan a infectar pueden causar pérdidas significativas a la mayor parte del cultivo al final de la temporada (Flores et al., 2012). En el noroeste de México, particularmente en el estado de Sonora, la producción hortícola se ve severamente afectada por enfermedades fúngicas, con pérdidas que pueden alcanzar el 100% en cultivos susceptibles (López-Orona et al., 2014). También hay estudios que identifican a las enfermedades fúngicas como la principal causa de la pudrición de los cultivos, por ejemplo, el muestreo realizado en diferentes centros de producción en Michoacán mostró que los cultivos pueden verse afectados por diversas enfermedades fúngicas (Alvarado et al., 2010). Además, un estudio de muestreo en un pequeño número de centro de producción en Puebla identificó varias enfermedades fúngicas que llegaron a afectar a los cultivos en el Centro de Tecnologías Innovadoras para la Protección Agropecuaria (CITAP) de la Universidad Autónoma de Puebla (UPAEP), donde se han detectado al menos tres hongos patógenos (*Botrytis*, *Alternaria* y *Cladosporium*) (Arana Gómez et al., 2017).

2.2.6.1 *Botrytis* sp.

Uno de los hongos que causan enfermedades en los jitomates es el género *Botrytis*, que provoca una enfermedad llamada “podredumbre gris”. Se reconoce por sus lesiones grises, que se vuelven negras con bordes pálidos a medida que avanza la infección y si la enfermedad está muy avanzada las lesiones se vuelven negras con bordes pálidos, entre las plantas hospedadoras de la enfermedad se encuentran las fresas, los pimientos, las uvas, las peras, las manzanas y los jitomates. La variación dentro del genoma depende del hospedador y de la zona geográfica, aun así, todos comparten la misma forma de vida necrótica invadiendo los tejidos a través de aberturas naturales y luego se propaga de los tejidos muertos a los sanos secretando proteínas para la muerte celular, la adquisición de nutrientes y la colonización del tejido vegetal muerto. Al ser un organismo capaz de adaptarse a distintas temperaturas provoca pérdidas significativas en una amplia gama de cultivos hortícolas y florícolas de importancia económica muy extendida en campos, jardines e invernaderos ya que puede infectar todas las partes de la planta además de provocar pérdidas del producto tanto en el campo como en el almacenamiento (Fillinge et al., 2016). Estas infecciones están

provocadas por la alta humedad y consisten en una serie de procesos, cada uno de los cuales depende del huésped y del entorno, en la mayoría de las enfermedades causadas por *Botrytis*, el patógeno se propaga a través de varios conidios transportados por el aire que desarrollan diferentes estrategias para infectar y colonizar el huésped. Estas estrategias incluyen la infección y colonización del hospedador a través de diferentes vías de entrada de esporas, como la esporulación y la invasión de esporas a través de pétalos muertos, heridas, hojas caídas, etc. Los largos periodos de alta humedad relativa y bajas temperaturas aumentan la propagación de la enfermedad, y las esporas de *Botrytis cinérea* (SINAVIMO).

El ciclo consta de varias fases: La primera es la adhesión y germinación de las esporas sobre la superficie del huésped, la segunda, su penetración en el tejido vegetal ya sea por aberturas naturales o por medio de heridas del tejido. En la tercera fase, el patógeno coloniza el lugar de la invasión, provocando la muerte de las células adyacentes al lugar de invasión y causando el daño primario; la cuarta fase comienza con una fase latente en la que los mecanismos de defensa de la planta intentan controlar al patógeno que permanece en los lugares de necrosis causados por el daño primario y en la fase final, el patógeno consigue superar la barrera de defensa de la planta y comienza a extenderse por los tejidos circundantes de la planta, lo que provoca la colonización y el reblandecimiento de los tejidos infectados en un breve periodo de tiempo. Finalmente, el patógeno produce una nueva generación de esporas en los tejidos infectados que pueden iniciar un nuevo ciclo de infección (Alvarado et al., 2010).



Figura 6. Jitomate infectado por *Botrytis sp.*
o enfermedad del moho gris (Ephytia, 2021).

2.2.6.2 *Fusarium* sp.

La enfermedad causada por *Fusarium* también denominada “marchitamiento” es la más devastadoras del jitomate y ha causado importantes pérdidas en la producción a nivel mundial. La enfermedad es una de las principales enfermedades vasculares y específicamente en las plantas del jitomate se caracteriza por el marchitamiento y oscurecimiento de las hojas. En la primera fase de la enfermedad las hojas o partes de plantas infectadas pierde turgencia y se vuelve flácido el lugar infectado, después comienza los cambios de coloración en la hoja de verde oscuro a verde más claro - amarillo verdoso- amarillo- marrón y finalmente se marchita y provoca la muerte de plantas. El rendimiento de los cultivos es insignificante en zonas con plantaciones de jitomate infectadas (Prihatna et al., 2018). La principal causa de marchitez por *Fusarium* en plantas de jitomate se puede deber a la obstrucción de los vasos del xilema con micelio, esporas o los polisacáridos producidos por el hongo. En el vaso, el hongo secreta (tejido fibroso formado por células muertas que forma parte del xilema) varias toxinas entre las cuales está el ácido fusárico, ácido deshidrofusárico y la licomarasmina después de ser producidas son transportadas a las hojas, en las que provocan una reducción de la síntesis de clorofila que conduce a una fotosíntesis reducida, altera la permeabilidad de las membranas celulares y su capacidad para controlar la pérdida de agua a través de la transpiración, lo que resulta en diferentes pronósticos desde la pérdida de hojas, epinastia, marchitamiento, necrosis intervenal, pardeamiento y en última instancia, muerte de toda la planta. (Agrios, 2005).

2.3 Antifúngicos

Durante el proceso de transporte de las diferentes frutas y hortalizas existe la alta probabilidad crear las condiciones más adecuadas para la colonización de microorganismos específicamente hongos que produzcan podredumbre; sobre todo cuando el alimento hospedero tiene una gran humedad como lo es el jitomate. La estrategia dominante en el mundo para el control de hongos sigue siendo el uso de fungicidas químicos, se han ideado

nuevos planes para evitar estos ya que a pesar de su gran capacidad para eliminar o inhibir estos microorganismos se generan muchos residuos tóxicos dañinos a la salud del consumidor y al ambiente en el que se usan (Rodríguez et al., 2021). Existen diferentes métodos antifúngicos utilizados a lo largo de los años, entre los cuales podemos encontrar:

2.3.1 Tratamientos químicos

Los productos químicos que se pueden usar en el control de patógenos de jitomate se muestran en la Tabla 6, teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

Categoría I (extremadamente tóxicos), categoría II (altamente tóxicos), categoría III (medianamente tóxicos), categoría IV (ligeramente tóxicos).

Tabla 3. Principales plaguicidas químicos usados en la producción de jitomate (FAO, 2019)

Nombre comercial	Ingrediente activo	Categoría	Enfermedades que controla
Amistar 50 WG	Azoxystrobin	IV	Alternaria, antracnosis de fruto, cenicilla, moho clorótico, oidium
Elosan 720 SC	Azufre	III	Cenicilla, moho clorótico, oidium
Top-sul SC	Azufre	III	Cenicilla, oidium
Benomil 50WP	Benomil	III	Antracnosis de fruto, botrytis, cenicilla, damping-off, <i>fusarium</i> , moho clorótico, oidium, Sclerotinia
Bavistin 500 SC	Carbendazim	III	Antracnosis de fruto, <i>Botrytis</i> , damping-off, <i>Fusarium</i> , <i>Sclerotinia</i>
Curzate M8	Cimoxanil + Mancozeb	III	Damping-off, gota, marchitez por <i>Verticillium</i>
Euparen WP 50	Didofluanid	III	<i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i> , damping-off, <i>Sclerotinia</i> .
Score 250 EC	Difenoconazol	III	<i>Alternaria</i> , antracnosis de fruto, cenicilla, moho clorótico, oidium, <i>Botrytis</i>
Forum 500 WP	Dimetamorf	III	Damping-off, gota, marchitez por <u><i>Verticillium</i></u>
Metalfun 40 EC	Dodermorf acetato	III	Cenicilla, moho clorótico, oidium
Teldor combi SC 416.7	Fenhexamid + tebuconazole	III	<i>Botrytis</i> , <i>Sclerotinia</i>
Brestanid 500SC Fentin	hidróxido de estaño	III	<i>Alternaria</i> , gota
Switch 62.5 WG	Fluodioxonil + cipronidil	III	<i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Sclerotinia</i>
Aliette 80 WP	Fosetil aluminio	IV	Marchitez por <i>Verticillium</i> , gota
Kocide 101	Hidróxido cúprico	III	<i>Alternaria</i> , antracnosis de fruto, <i>Erwinia</i> , fumagina, gota, marchitez por <i>Verticillium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Xantomonas</i>
Kasumin 2% (drenchs, follaje)	Kasugamicina	III	<i>Erwinia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Xantomonas</i>

Stroby SC	Kresoxim metil	III	<i>Botrytis, Sclerotinia</i>
Dithane M-45	Mancozeb	III	<i>Alternaria</i> , antracnosis de fruto, damping-off, <i>Erwinia</i> , gota, <i>Xantomonas</i>
Manzate 200WP	Mancozeb	III	<i>Alternaria</i> , antracnosis de fruto, damping-off, <i>Erwinia</i> , gota, <i>Xantomonas</i>
Rally 40 WP	Myclobutanil	III	<i>Alternaria</i> , cenicilla, oidium
Sandofan M	Oxadixil + mancozeb	III	Damping-off, gota
Oxiclor 35 WP	Oxicloruro de cobre	III	<i>Alternaria</i> , antracnosis de fruto, <i>Erwinia</i> , fumagina, marchitez por <i>Verticillium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Xantomonas</i>
Cobrethane	Oxicloruro de cobre + mancozeb	III	Damping-off, <i>Erwinia</i> , gota, <i>Pseudomas</i> , <i>Xantomonas</i>
Previcur N SL	Propamocarb	IV	Damping-off, gota
Sumilex 50 WP	Proximidona	III	<i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i> , damping-off, <i>Sclerotinia</i>
Folicur EW 250	Tebuconazole	III	<i>Alternaria</i>
Mertect 500SC	Tiabendazol	IV	Antracnosis del fruto, <i>Botrytis</i> , damping-off, <i>Fusarium</i> , <i>Sclerotinia</i>
Equation Pro	Famoxadone	III	Gota, <i>Alternaria</i>

La utilidad de sustancias químicas a lo largo de los años ha quedado demostrada por el control que ejerce sobre las enfermedades y un mejor rendimiento por hectárea de numerosos cultivos, y su baja repercusión económico-social. Más, sin embargo, el uso inadecuado y excesivo, su aplicación en tiempos incorrectos y en cultivos que no se tienen investigaciones previas sobre su beneficio hacen de estas sustancias un riesgo tóxico sobre la salud humana, animal y también la afectación importante contra los diversos ambientes (FAO,2019).

2.3.2 Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico en frutas y hortalizas es un proceso en el cual se usa agua, calor seco, calor húmedo o vapor de agua a un intervalo de temperatura de entre 40 a 60 °C por intervalos de tiempo de uno hasta cinco minutos, todo esto variando del tipo de alimento a tratar, del área geográfica en el cual se produce y el clima. Principalmente tiene beneficios en el aumento de vida de almacén y la protección contra agentes externos como son los insectos, aunque en el proceso puede llegar a afectar el proceso de respiración, afectar el proceso de maduración, alteración en la producción de etileno y cambios en conformación de macromoléculas (Sivakumar et al., 2013).

2.3.3 Radiación UVC

Este método usa una intensidad y potencia de radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400 nm, esta se clasifica en 3 tipos: A (trescientos quince a cuatrocientos nanómetros), B (doscientos ochenta a las trescientos quince nanómetros) y C (cien a doscientos ochenta) se ha observado que el uso a doscientos cuarenta y cinco nanómetros de longitud de onda es donde se tiene mejor efecto germicida, los dos mecanismos que se atribuyen su efecto son: la activación de mecanismos de defensa celular en el tejido vegetal y la afectación directa del microorganismo que se encuentre en la parte externa del alimento (Rivera et al., 2007).

2.3.4 Control Biológico

Este método consiste en usar microorganismos altamente específicos (contra el microorganismo blanco) o un compuesto derivado de este para poder disminuir o eliminar los efectos dañinos que pueda producir un agente patógeno en la hortaliza sin dañar al consumidor o al ambiente. Los mecanismos de acción que caracterizan diferentes organismos incluyen: El antagonismo directo entre el agente de control biológico y el hongo patógeno, la ocupación competitiva por exclusión de nicho del patógeno, combinada con la producción de metabolitos secundarios, el hiperparasitismo o micoparasitismo (producción de enzimas) o la producción de metabolitos volátiles. Sin embargo, la eficacia de estos agentes biológicos puede verse significativamente reducida por cambios bruscos en las condiciones ambientales, los cuales afectan tanto su viabilidad como su capacidad de colonización y acción antagonista, algunos ejemplos son:

- Temperatura: cambios extremos en la temperatura pueden inhibir el crecimiento o incluso inactivar al agente de biocontrol. Por ejemplo, se ha demostrado que *Trichoderma harzianum* presenta óptimo desempeño entre 25–30 °C, pero su actividad micoparasítica disminuye drásticamente por debajo de 15 °C o por encima de 35 °C (Mendoza et al., 2008).
- Humedad relativa y disponibilidad hídrica: la efectividad de biocontroladores como *Bacillus subtilis* disminuye en condiciones de sequía, debido a la menor movilidad en el sustrato y reducción en la producción de metabolitos secundarios (Klopper et al., 2004). Además, condiciones de alta humedad pueden favorecer al patógeno,

sobrepasando la capacidad competitiva del biocontrolador.

- pH del sustrato: algunos biocontroladores presentan un rango de tolerancia estrecho al pH. *Trichoderma spp.*, por ejemplo, muestra un desarrollo óptimo en pH ligeramente ácido (5.0–6.5), y su crecimiento se ve afectado negativamente por suelos alcalinos (Verma et al., 2007).
- Alteración del microbioma nativo: El uso intensivo de agroquímicos o fertilizantes sintéticos puede modificar el microbioma del suelo, reduciendo la competitividad y persistencia de agentes biológicos como *Bacillus amyloliquefaciens* (Berendsen et al., 2012).

2.3.5 Compuestos de origen natural

Los productos naturales orgánicos generalmente son metabolitos secundarios que forman los organismos para diferentes actividades mayoritariamente en mecanismos de defensa, en la industria alimentaria especialmente en la industria agroalimentaria. El uso de todos estos bioinsumos son tendencia mundial donde existen diferentes recursos obtenidos principalmente de plantas por los cuales es posible la eliminación del hongo patógeno, entre los cuales destaca la estimulación de las defensas de la planta, control biológico y derivados naturales obtenidos de estas. Todos estos tipos de insumos han tenido resultados eficientes y son amigables con el medio ambiente y el consumidor. (Mesa et al., 2019)

2.3.5.1 Quitina

La quitina es uno de los polisacáridos más importantes y abundantes en el mundo, la principal fuente de obtención de este material es en los exoesqueletos de crustáceos, alas de insectos, paredes celulares de insectos, etc. A nivel industrial se obtiene principalmente de en el tratamiento de conchas de crustáceos y está a su vez se usa para crear el quitosano mediante el proceso de desacetilación química (Làrez, 2003). A este biomaterial se le atribuyen propiedades antifúngicas por diferentes características como son: la concentración (la inhibición está relacionada a la dosis), la naturaleza policatiónica, su longitud de la cadena (aumenta la superficie de contacto), el efecto inhibitorio en la síntesis de enzimas (poligalacturonasa, pectin metil esterasa, pectato liasa y celulasa), producción de compuestos fenólicos (clorogénico, ácido caféico) y por poder formar barreras estructurales (Bautista, 2005).

2.3.5.2 Ácido jasmónico

Existen sustancias producidas por las plantas resultado de serie de señales sistémicas con la finalidad de activar respuestas de defensa específica frente al patógeno en una infección. Las diferentes vías por activar son dependientes del microorganismo por ejemplo si el agente patógeno se alimenta de tejido vivo, la respuesta de la planta será por medio de la hormona ácido salicílico teniendo como resultado la resistencia sistémica adquirida, por otro lado, si el agente patógeno se alimenta de tejidos que previamente destruye mediante el uso de toxinas la respuesta será por la hormona ácido jasmónico resultando en una resistencia inducida. Mediante este mecanismo, las plantas toman medidas defensivas frente a un potencial atacante a la vez que preparan su sistema defensivo para una reacción más rápida y /o más fuerte en el futuro permitiendo que las plantas tratadas con estas hormonas incrementan la resistencia frente a los diferentes fitopatógenos de interés en el manejo postcosecha (Poveda, 2020).

2.3.5.3 Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son sustancias químicas producidas por las frutas y verduras que contribuyen a su sabor y aroma. El tipo y concentración de COV dependen de la especie y la variedad y cambian conforme la fase de maduración, el estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas, lo que vuelve muy complejo dilucidar su biosíntesis. La actividad biológica exhibida por los COV se relaciona con la protección directa de las plantas contra los fitopatógenos y/o indirectamente a través de la inducción de resistencia de las plantas. Estos compuestos se clasificaron químicamente en grupos de ésteres, alcanos, alquenos, alquinos, alcoholes, terpenoides, aldehídos, cetonas y compuestos que contienen azufre (Vera et al., 2021).

2.4 Aceites esenciales y compuestos mayoritarios de aceites esenciales

Los aceites esenciales se definen como compuestos aromáticos y volátiles de bajo peso molecular que son inocuos, mientras la dosis suministrada no supere los límites de toxicidad. Sufren degradación química en presencia de la luz solar, del aire, del calor, de ácidos y álcalis fuertes, generando oligómeros de naturaleza indeterminada. Son solubles en los disolventes orgánicos comunes. Casi inmiscibles en disolventes polares asociados (agua, amoniac). Tienen propiedades de solvencia para los polímeros con anillos aromáticos presentes en su

cadena. Son aceptados como sustancias seguras (GRAS) por la Agencia de Drogas y Alimentos de E.E.U.U. (FDA) (Code of Federal Regulations, 2003).

Los aceites esenciales pertenecen a gran grupo de sustancias complejas con estructuras químicas diferentes en donde se incluyen terpenos, monoterpenos y sesquiterpenos (hidrocarburos, alcoholes, cetonas, que pueden ser acíclicos, monocíclicos, bicíclicos, tricíclicos) todos estos teniendo dentro de su estructura azufre y nitrógeno además de tener la propiedad que al contacto con el aire se evaporan por su alta volatilidad, Estas sustancias se han obtenido a partir de diferentes partes de las plantas como flores, yemas, semillas, hojas, ramas, corteza, hierbas, madera, frutos y raíces y se consideran metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, producidos al momento de activarse mecanismos de defensa como respuesta a factores ambientales y ecológicos, estos presentan roles de defensa, atracción de polinizadores, entre otros. al igual que algunos alcaloides, flavonoides, taninos, y saponinas un punto muy importante es que su composición química puede verse afectada por el medio ambiente, la procedencia de la planta y el método de extracción. Generan diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano. Bajo condiciones de temperatura ambiental, son líquidos poco densos, pero con mayor viscosidad que el agua (Acevedo et al., 2013).

La siguiente tabla presenta algunos compuestos volátiles dependiendo del grupo funcional del aceite esencial.

Tabla 4. Ejemplos de compuestos volátiles y su principal grupo funcional (Reyes et al., 2017)

Grupo Funcional	Compuestos volátiles
Fenoles	Carvacrol Eugenol Timol
Aldehídos	Citral Citronela Benzaldehído Perilaldehído Cinamalaldehído
Alcoholes	Terpenos Bomeol Mentol Geraniol Linalol Feniletanol
Alcoholes sesquiterpenos	Famecol

	Cedrol
Cetonas	Alcanfol Carvona α -tujona
Ésteres	Acetato de linalilo Salicilato de metilo Etil acetato Anetol
Ésteres y Óxidos	Metil timol Anetol Cineol
Hidrocarburos	Careno β -cariofileno α -pineno Limoneno

Estudios muestran que la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales depende de tres características principales: el carácter hidrofóbico y la capacidad de este para alterar y penetrar al microorganismo, la estructura química que lo acompaña y el tipo de microorganismo en el cual se usará. Todo esto se junta para encontrar el modo de acción correspondiente para alterar y penetrar la estructura de un microorganismo por medio de su estructura lipídica de la pared celular, una vez dentro alterará las estructuras celulares que llevan a la desnaturalización de proteínas y a la destrucción de la membrana celular, aumentando su permeabilidad conduciendo a una ruptura citoplasmática, lisis celular y la muerte del organismo. La composición de los aceites esenciales varía de acuerdo con las diferentes partes de la planta de las cuales se extrae, y puesto que sus compuestos volátiles son los que presentan el efecto antimicrobiano, la determinación de su composición es importante (Reyes et al., 2017).

Se ha reportado que los componentes mayoritarios pueden alcanzar hasta un 85% de la composición total del aceite esencial, mientras que los demás pueden estar presentes solo como trazas, lo cual puede observarse en la tabla siguiente:

Tabla 5. Principales componentes químicos de los aceites esenciales de diferentes hierbas. (Reyes et al., 2017)

Nombre común	Nombre científico	Componente mayoritario	Composición aproximada (%)
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	Linalol E-2-decanal	70% -
Canela	<i>Cinnamomum zeylandicum</i>	Trans-cinamaldehído	65%

Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol Timol γ-Terpineno ρ-cimeno	80% 64% 2-52% traza 52%
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	α-pineno Acetato de bornillo Alcanfor 1,8 cineol	2-25% 0-17% 2-14% 3-89%
Salvia	<i>Salvia officinalis L.</i>	Alcanfor α-pineno β-pineno 1,8-cineol α-tujona	6-15% 4-5% 2-10% 6-14% 20-42%
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol Acetato de eugenilo	75-85% 8-15%
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Timol Carvacrol Y-Terpineno ρ-cimeno	10-64% 2-11% 2-31% 10-56%

2.4.1 Orégano y sus principales compuestos (timol y carvacrol)

La planta orégano es una especie de planta herbácea que consta de 43 especies y 18 híbridos con distribución mundial abarcando diferentes regiones incluyendo el Mediterráneo, Asia Central, la Península Arábiga, el Norte de África y Europa siendo las más comunes el *Origanum vulgare* nativo de Europa, y el *Lippia graveolens* originario de México, normalmente se aplica en alimentos y cosméticos como agente aromatizante, también es ampliamente utilizado en agricultura y medicina tradicional ya que ha presentado propiedades antimicrobianas y características antioxidantes. Al poder usar diferentes técnicas de extracción, partes de plantas o regiones de recolección se puede encontrar diferentes constituyentes en las especies de *Origanum*, pero la mayoría de los componentes encontrados son similares entre ellos están los fenoles, terpenos y sus derivados, como γ-terpineno, α-tujeno, β-mirceno, α-terpineno, terpinen-4-ol, β-cariofileno, linalool, limoneno, timol y carvacrol (Hou et al., 2020).

Carvacrol (5-isopropil-2-metilfenol) es un líquido fenólico que se conoce por su amplia gama de actividades biológicas (antibacteriana, antifúngica y antiviral), también es un agente antioxidante, modulador de la respuesta inmune, antiinflamatorio y anticancerígeno. Se utiliza principalmente en la industria alimentaria como conservante natural de alimentos. El timol (2-isopropil-5-metilfenol) es un monoterpeno fenólico, cristalino e incoloro. Posee

varias propiedades farmacológicas incluyendo antioxidante, antiinflamatorio, antibacteriano, analgésico, antiespasmódico, antifúngico, actividades antisépticas y antitumorales. Además, el timol posee múltiples efectos terapéuticos contra diversas enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales, enfermedades neurológicas, reumatológicas, metabólicas y malignas (Gholami et al.,2022).

Tabla 6. Características fisicoquímicas de timol y carvacrol (Gholami et al., 2022).

Propiedad química	Timol	Carvacrol
Formula molecular	150 $C_{10}H_{14}O$	150 $C_{10}H_{14}O$
Nombre común	2-isopropil-5-metilfenol	5-isopropil-2-metilfenol
Apariencia	Cristal blanquecino	Líquido incoloro a amarillo pálido
Olor	Acre y caustico	Olor parecido a timol
Densidad	0.969	0.976
Punto de ebullición	233	237

Estos dos isómeros son los principales componentes de los aceites esenciales de algunas Lamináceas (orégano, tomillo y ajedrea), y son producidos por las plantas principalmente como mecanismo de defensa contra microorganismos fitopatógenos. En consecuencia, un potente antimicrobiano y fungitóxico. El timol y carvacrol son compuestos que han sido documentados previamente, como agentes que provocan alteraciones en la morfología hifal y agregados, lo que resulta en diámetros hifales reducidos y lisis de la pared de las hifas, ya que éstas interactúan con la membrana celular del patógeno. Además, químicos modificados estructuralmente, derivados de timol y carvacrol han mostrado actividad antimicrobiana al producir cambios en la actividad biológica (Numpaque et al., 2011). Los terpenoides revelan una clase amplia y potente de productos naturales con un papel notable en los sistemas enzimáticos de las plantas y resaltan una importante actividad biológica contra varias plagas. (Agric, 2021) La actividad antimicrobiana de los terpenoides puede explicarse por al menos cinco mecanismos de acción: daño en la estructura y función de la membrana, inhibición de la biosíntesis y función de los ácidos nucleicos, interferencia de procesos metabólicos esenciales, inducción de la coagulación de los componentes citoplásmicos y la interrupción

en la comunicación celular normal (Gallegos et al.,2019). Dentro de los mecanismos propuestos para el timol y carvacrol como fungicida está la desarrollada y observada con *B. cinérea* que tuvieron acciones sobre la membrana celular y la alteración del citoplasma de las hifas. (Jihong Et al., 2019) Se documentaron casos en los cuales carvacrol presentó un poder fungicida eficiente en contra de *Fusarium*, un estudio del 2021 presento entre los efectos en contra del hongo después de estar en contacto con este compuesto están: la disminución del número total de esporas en comparación del grupo sin tratar además de observar una alteración morfológica de estas. (Saghrouchni et al., 2021) Por otro lado, timol está prometiendo ser un posible fungicida y controlar infecciones causadas por *Fusarium solani* (Agric, 2021).

2.5 Métodos para la determinación de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales o componente volátiles *in vitro*

Existen numerosos métodos que los investigadores han utilizado con frecuencia para la evaluación *in vitro*; sin embargo, aunque la investigación se ha desarrollado durante décadas, aún no se ha establecido un estándar internacionalmente aceptado. La mayoría de los métodos se basan en estándares de eficacia comprobada utilizados para el análisis de antibióticos. Debido a las propiedades específicas de los aceites esenciales y sus componentes mayoritarios, como la volatilidad y la hidrofobicidad, se han adoptado numerosas modificaciones de estos procedimientos estándar. Enseguida se presentan algunas de las metodologías propuestas

2.5.1 Determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI)

La determinación se basa en la incorporación de diferentes concentraciones del aceite esencial al medio junto con un inóculo estandarizado del microorganismo probado. La serie de diluciones de aceite esencia se puede preparar en un medio no selectivo líquido (dilución en caldo) o sólido (dilución en agar). Siempre debe incluirse un control de crecimiento (sin el aceite esencial probado).

2.5.2 Determinación de la concentración mínima bactericida (CMB)

La determinación de la CBM se utiliza habitualmente como medida complementaria a la

determinación de la actividad antimicrobiana mediante la CMI mediante dilución en caldo. Se define como la concentración mínima de AE que desvitaliza el microorganismo analizado (Hulankova, 2024).

2.5.3 Actividad antimicrobiana en fase de vapor

La fase de vapor se basa en la creación de una atmósfera en un área específica sin contacto directo con el aceite, usando solo la parte volátil de este a cierta temperatura, creando un microambiente. No existe un modelo universal para evaluar y usar este tipo de mecanismo antimicrobiano más sin embargo un grupo de investigadores encontraron diferentes modelos propuestos para la creación de la cámara y uso de la fase vapor (Reyes et al., 2019) entre esos tenemos lo siguientes:

El uso de cajas petri inoculadas con el microorganismo a probar y se dejará un espacio de 5 mm alejado del compuesto sobre un papel filtro controlando la temperatura. El principio de esta forma se basa en que la volatilidad de la sustancia es rápida y mayoritariamente se usa en bacterias. La creación de una cámara con cierta concentración de compuesto a la cual se le ingresará las placas con el microorganismo a evaluar, se sella esa cámara creando una atmósfera con el compuesto volatilizando a lo largo de varios días. Esta forma es útil para usarse en contra de los hongos ya que estos microorganismos crecen de manera lenta y así aseguramos que haya una cantidad estable de compuesto dentro de la cámara. Esta forma es útil para usarse en contra de los hongos ya que estos microorganismos crecen de manera lenta y así aseguramos que haya una cantidad estable de compuesto dentro de la cámara.

La creación de una cámara doble (una cámara superior y una inferior) con una cantidad mayor de pozos que tendrán medio para el crecimiento del microorganismo y debajo de este una cantidad conocida del aceite esencial en donde cada pozo superior e inferior estarán sellados y no podrá escaparse a otras áreas de la cámara. Este tipo de cámaras sirve para evaluar diferentes concentraciones del aceite esencial al mismo tiempo. (Seo et al., 2015). La siguiente es usar el mismo principio que el anterior solo que para un solo pozo y con menores distancias entre ellos (Lee, 2018).

Otro modelo es mediante una tapa de microtubo que contiene una concentración específica de aceite esencial. Un tapón de agar (diámetro 13 mm) inoculado con una bacteria. La

suspensión se coloca sobre la tapa y se incuba a 37 C por 24 h, para después leer el crecimiento en los tapones recuperando la cepa (Amat, 2017).

El uso de una charola plástica donde se agregará el aceite esencial en un papel filtro, el huésped con el agente microbiano y sellada posteriormente para posteriormente leerlos con UFC por medio de un vertido de placa (Bahena, 2023)

Algunas investigaciones han llegado a la conclusión que tiene mejor efecto antimicrobiano la fase de vapor que usar directamente el compuesto, además que tiene una gran actividad antifúngica por el crecimiento superficial de estos, además de que los vapores generados por los compuestos tienden a afectar a alguna etapa del crecimiento de los hongos entre las cuales está: la germinación, en el crecimiento de la hifa o en la etapa de esporulación. También puede deberse a la inactivación de los conidios estos al ser muy estables es muy difícil de eliminar, El uso de estos compuestos debe de ser en concentraciones grandes y en tiempos cortos (Reyes et al., 2017).

Un estudio hecho en el 2009 en el cual ponían varios microorganismos en contra de 39 compuestos mayoritarios de aceites esenciales llegó a la conclusión que este tipo de método antimicrobiano es de mayor eficacia con todo tipo de hongos y de menor utilidad contra bacterias (Nedorostova et al., 2009).

3. Justificación

El jitomate es una hortaliza nutricionalmente importante ya que contiene vitaminas, minerales y compuestos a los que se les otorga actividad antioxidante (carotenoides, licopeno y vitamina C). El bajo aporte calórico del jitomate lo hace una de las hortalizas de alta demanda en las cocinas y platillos de todo el mundo. En el panorama nacional el jitomate es uno de los productos con mayor producción y exportación igualando en importancia a las moras, la cerveza, el limón y el aguacate; por ende, en un vegetal sumamente importante en la economía mexicana.

Debido a la gran importancia económica de esta hortaliza, el área agroindustrial se ha enfocado en evitar pérdida o mermas del producto; aumentando así el rendimiento de producción y llevando la mayor cantidad de jitomate a los puntos de venta. El manejo post cosecha (almacenamiento, transporte, etc.) es uno de los eslabones débiles de la producción de jitomate ya que el elevado porcentaje de agua hace que sean propensos a daños fisiológicos y microbiológicos (por agentes como: virus, bacterias y hongos).

Si fijamos nuestra mirada hacia los hongos, el uso de fungicidas ha existido desde hace mucho tiempo en la industria agrónoma, dentro de estos métodos, los fungicidas químicos son los que se han utilizan con mayor frecuencia gracias a la facilidad de uso, a su alta eficiencia y a los precios relativamente económicos. Sin embargo, su alta toxicidad para el humano y animales; y las afectaciones al suelo y/o medio ambiente los hace poco agradable a los ojos de los agricultores. Basándose en la protección a la salud del consumidor y al medio ambiente se han propuesto diversas alternativas naturales y menos agresivas para el control de estos microorganismos. Hoy día una de las alternativas que proponer diversos grupos de investigación en la química verde son es el uso de aceites esenciales y/o componentes mayoritarios de estos. El uso de estos compuestos químicos es una nueva modalidad de protección contra hongos y es un tema abierto a investigaciones y debates. El timol y el carvacrol, son compuestos volátiles de la familia de los terpenos, los cuales se encuentran en los aceites esenciales de la familia Lamiáceas y cuyo uso ha ido en aumento por su efectividad como antimicrobiano además de ser aceptadas por la FDA como seguro. Por todo lo antes descrito, en el siguiente trabajo se pretende evaluar la capacidad antifúngica de timol

y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum lycopersicum* var *cerasiforme*) var cherry.

4. Objetivos

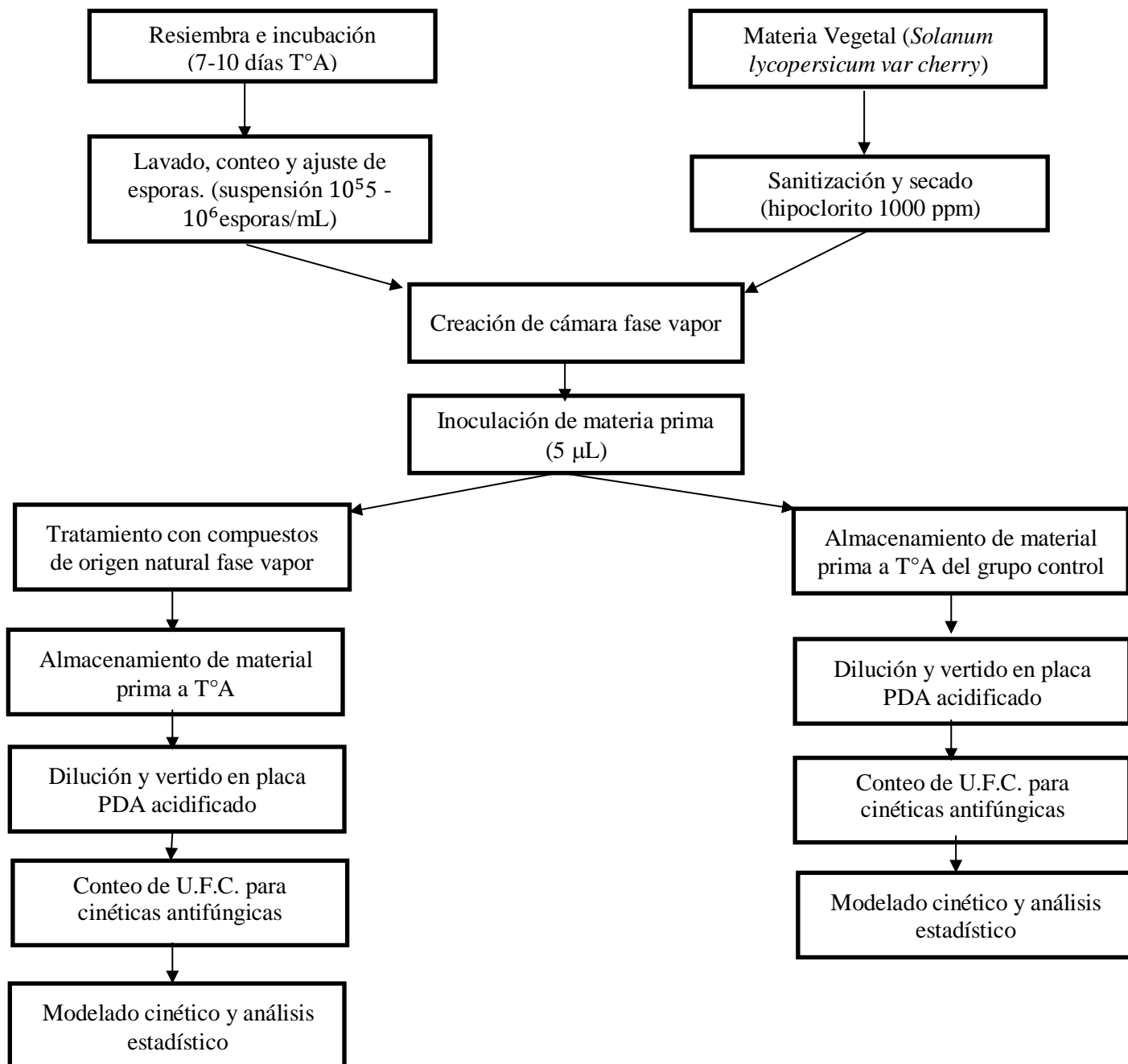
4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad antifúngica de timol y carvacrol en fase vapor contra hongos deterioradores de jitomate (*Solanum lycopersicum var cerasiforme*) var cherry.

4.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el crecimiento *in situ* de los hongos deterioradores del jitomate (*Botrytis sp* y *Fusarium sp*)
2. Evaluar el efecto antifúngico de los compuestos timol y carvacrol en fase de vapor contra hongos *Botrytis sp* y *Fusarium sp* inoculados en jitomate (*Solanum lycopersicum var cerasiforme*) var Cherry.

5. Diagrama de trabajo



6. Materiales y métodos.

6.1 Material

- Material biológico: jitomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*) en buen estado, sin fisuras o mallugado; con un buen estado de maduración y de tamaño regular (5-8 gramos).
- Material de vidrio y reactivos: los necesarios para cada determinación.

6.2 Reactivos

- Agar de papa y dextrosa (PDA).
- Solución de ácido tartárico (10%).
- Solución sanitizante de hipoclorito (1000 ppm).
- Agua destilada estéril.
- Cloralex®.
- Compuestos de origen natural: timol, carvacrol.

Tabla 7. Equipo y marcas propuestas en la investigación

Equipo	Modelo	Marca
Cámara de Neubauer	0610030	Marienferld
Autoclave	As-25	CISA
Stomacher	400 circulator	Seaward
Cuenta colonias	Q20-2941	Solbat
Vortex	FINE VORTEX	FINEPCR
Balanza analítica	Pionner PA313	Ohuas
Microscopio	N980016	Lomo

7. Metodología

7.1 Conteo y ajuste de esporas

Se utilizaron como hongos deterioradores de jitomate a *Botrytis sp.* y *Fusarium sp* cada hongo se sembró en picos de flauta en agar PDA acidificado con ácido tartárico al 10%. Al séptimo día de crecimiento se realizó un lavado de esporas de cada uno de los hongos deterioradores. El lavado se realizó con 10 mL de agua estéril para obtener una solución inicial de esporas. El cálculo de conteo de esporas se realizó utilizando una cámara de Neubauer (Formula 1), que nos permitió conocer el número de esporas de solución. Finalmente, se realizó un ajuste de esporas con agua destilada para obtener 1×10^5 a 1×10^6 de esporas/mL de los hongos seleccionados para este experimento.

Formula 1:

$$Total\ de\ esporas = \frac{(numero\ de\ esporas \cdot 10000)}{numero\ de\ plazas \cdot dilucion}$$

7.2 Materia prima e inoculación

Se utilizaron jitomates cherry (*Solanum lycopersicum var. Cerasiforme*) obtenidos de un supermercado de Puebla eligiendo los domos con ejemplares similares en tamaño y color; los cuales fueron sumergidos para su sanitización en una solución de hipoclorito a 1000 ppm durante 10 min (García-Galindo, et al., 2018). Pasando ese tiempo se eliminaron los restos de esa solución en agua destilada para posterior secarlos con toallas de papel para su pesado unitario. Una vez realizado el proceso de sanitización de los jitomates (limpios y secos) se prosiguió con una perforación de 2-3 mm de profundidad en el área del pedúnculo y se inoculó 5 μ L de la solución de esporas de los hongos previamente ajustados con ayuda de una micropipeta de 10 μ L y en condiciones de esterilidad (Aguilar et al., 2015).

7.3 Compuestos de origen natural.

Para el tratamiento fase vapor se utilizaron 2 compuestos volátiles de origen natural: timol y carvacrol. Estos agentes se colocaron en pedazos de papel filtro adheridos a la cámara de fase vapor a distintas concentraciones mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 8. Concentraciones de timol y carvacrol usadas en la fase experimental de esta investigación

Concentración	Timol	Carvacrol
Baja	41.6 $\mu\text{L/L}$	38.8 $\mu\text{L/L}$
Media	62.5 $\mu\text{L/L}$	58.2 $\mu\text{L/L}$
Alta	83.3 $\mu\text{L/L}$	77.6 $\mu\text{L/L}$

7.4 Cámara fase vapor.

Se utilizaron charolas plásticas como cámaras de fase vapor; sobre la base de las charolas (parte inferior) se colocó la materia prima vegetal (por triplicado) previamente inoculada, de forma que el pedúnculo quedar hacia arriba. En la parte superior de la cámara (tapa) se adhirió el papel filtro que contiene la concentración respectiva de cada compuesto de origen natural (timol o carvacrol). Ya creada la cámara con fase vapor y para no generar fugas de compuestos volátiles la charola se cerró y selló con parafilm. Con respecto a las cámaras de fase vapor de los controles (cámara sin compuesto volátil) el proceso se hizo del mismo modo exceptuando el tratamiento con los compuestos de origen natural y sellando con parafilm al igual que los demás (Bahena, 2023).



Figura 7. Ejemplo visual de la cámara de vapor usada en el experimento (Bahena, 2023).

7.5 Almacenamiento de materia prima.

El almacenamiento de las cámaras se realizó en cajas plásticas a temperatura ambiente (25 °C). El almacenamiento de cada cámara de fase vapor se realizó en cajones separados según los días de almacenamientos requeridos (0, 5, 10, 15 o 20 días) y al tipo de hongo deteriorador a utilizado. Es importante enfatizar que en esta fase es muy importante tener cuidado con la posición de la cámara y evitar movimientos rudos.

Tabla 9. Días de almacenamiento para el vertido en placa

<i>Botrytis sp.</i> y <i>Fusarium sp.</i>	Tiempo (día de almacenamiento)			
	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20
Timol	●	●	●	●
Carvacrol	●	●	●	●

7.6 Vertido en placa y conteo de UFC

Para obtener datos cuantificables de la actividad fungicida se utilizaron los jitomates inoculados con diversas concentraciones de compuestos puros (timol y carvacrol) y los jitomates control en cada uno de los días de almacenamiento (0, 5, 10, 15 y 20). Al llegar al día de almacenamiento se tomaron los jitomates (por triplicados) se colocaron en una bolsa estéril y se trituraron con ayuda de un stomacher, para obtener una dilución primaria y posteriores diluciones decimales que permitieran conocer las UFC cuantificables. Todo este proceso será siguiendo los lineamientos de la NOM-111-SSA1-1994.

8. Resultados y discusión

8.1 Evaluación del crecimiento *in situ* de los hongos deterioradores del jitomate (*Botrytis sp* y *Fusarium sp*)

En la primera fase de esta investigación se evaluó el crecimiento de los hongos deterioradores (NOM-111-SSSA-1994) inoculados en el pedúnculo del jitomate. Los datos se determinaron mediante cinéticas de crecimiento ($\log N/N_0$) durante un periodo de almacenamiento de 20 días (posteriores a la inoculación), a temperatura ambiente. Como se muestra en la Figura 8, el crecimiento sigue una cinética muy similar para ambos hongos deterioradores; mostrando en los 5 primeros días la mayor velocidad de crecimiento, para posteriormente disminuir su velocidad hasta los 20 días de almacenamiento. Pese a lo antes descrito, en la Figura 1 se muestra que el crecimiento de *Botrytis sp* al día cinco con casi 3.8 ciclos logarítmicos a comparación de *Fusarium sp* que solo creció 2.5 ciclos logarítmicos; el crecimiento de los hongos a los días 10 y 15 mostró un ritmo de crecimiento muy parecido teniendo una diferencia entre ambos hongos de aproximadamente 1 ciclo logarítmico para finalmente llegar a los 20 días de almacenamiento con un crecimiento de 5.6 y 5.2 ciclos logarítmicos para *Botrytis sp* y *Fusarium sp* respectivamente.

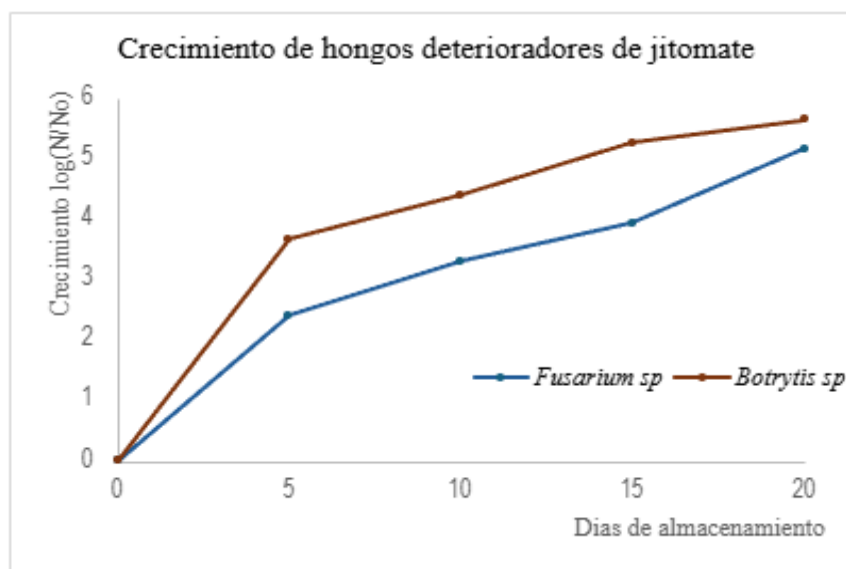


Figura 8. Cinética de crecimiento de *Fusarium sp* y *Botrytis sp* (hongos deterioradores), inoculados en jitomate cherry almacenados hasta por 20 días a temperatura ambiente (25 °C).

8.2 Evaluación del efecto antifúngico de los compuestos timol y carvacrol en fase de vapor contra hongos *Botrytis sp* y *Fusarium sp*.

Diversos aceites esenciales tienen como componentes mayoritarios al timol y carvacrol (orégano, tomillo, mejorana); compuestos químicos que han comprobado su actividad biológica como antimicrobianos en múltiples trabajos de investigación (Salas-Orozco et al., 2021, Rodríguez-Ramos et al., 2022, Hassan et al., 2023, Ramírez-Luna et al., 2020, García-Cortés et al. (2024)). El uso de estos agentes químicos en la industria alimentaria ha desarrollado muchas propuestas acerca de estos compuestos naturales ya sea como aceites esenciales o solos, como compuestos mayoritarios puros. En esta segunda fase de la investigación se utilizarán los 2 componentes mayoritarios del orégano mexicano. En la Figura 9, se muestra la cinética de crecimiento de *Botrytis sp* control (sin ninguna concentración de timol) en comparación con las cinéticas de *Botrytis sp* tratadas con timol a tres concentraciones diferentes (concentración baja, media y alta) durante los 20 días de almacenamiento. Al día cinco de almacenamiento no se logró observar alguna diferencia significativa entre la cinética control y la concentración más baja de timol (41.6 $\mu\text{l/L}$) en comparación con las cinéticas de las concentraciones media y alta de timol en donde la diferencia fue de por lo menos 2 ciclos logarítmicos. Por otro lado, al día diez podemos observar un crecimiento acelerado solo de los jitomates tratados con timol (todas las concentraciones utilizadas), ya que la velocidad de crecimiento de la cinética control no fue tan marcada. Fue hasta el día 15 de almacenamiento, donde todas las concentraciones de timol mostraron diferencias significativas de crecimiento con respecto a la cinética control mostrando actividad antifúngica de 2 y hasta 2.5 ciclos logarítmicos. Finalmente, el día 20 de almacenamiento podemos observar que todas las cinéticas muestran haber llegado a la fase estacionaria mostrando que el timol tiene actividad antifúngica y que a concentraciones de 62.5 y 83.3 $\mu\text{l/L}$ de timol se puede obtener una inhibición de más de 2.7 ciclos logarítmicos.

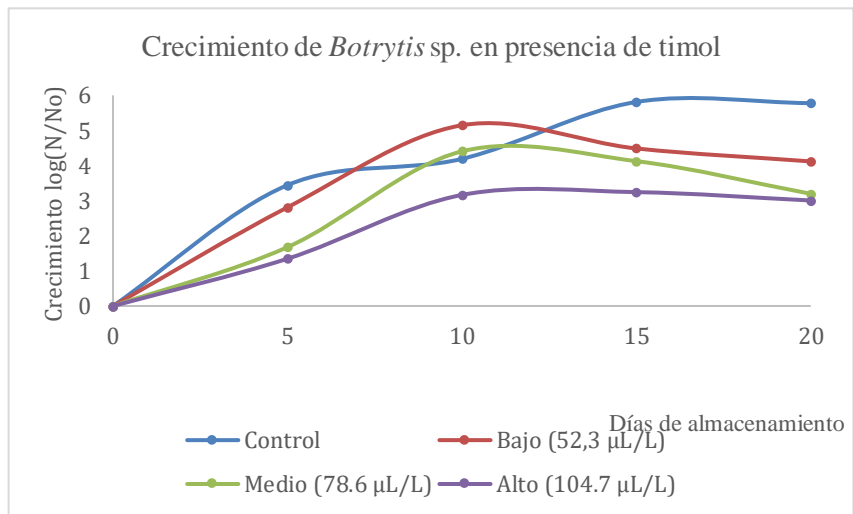


Figura 9. Cinética de crecimiento de *Botrytis sp.*, inoculados en jitomates cherry expuestos a diferentes concentraciones de timol en fase vapor almacenados hasta por 20 días a temperatura ambiente (25 °C).

Fusarium es un hongo que se ha descrito como el principal agente patógeno del jitomate en diversas investigaciones. En la figura 10, se comparan la cinética de crecimiento de *Fusarium sp* control vs las cinéticas de crecimiento de *Fusarium sp* tratadas con timol a tres concentraciones diferentes (baja, media y alta), a lo largo de 20 días de almacenamiento. En esta figura se muestra que al día 5 de almacenamiento, la cinética control y la concentración baja de timol (41.6 ml/L de timol), no muestran diferencias significativas. Pero, las cinéticas tratadas con las concentraciones de 62.5 y 83.3 µl/L de timol muestran una fase de adaptación de 5 días con una diferencia de por lo menos 2 ciclos logarítmicos. A partir del día 10 de almacenamiento ninguna de las cinéticas con timol logró obtener un valor significativo o actividad fungistática. Relacionando la anterior información, se sugiere que *Fusarium sp* después de 5 días de almacenamiento puede adaptarse y crecer sin problemas a concentraciones de hasta 83.3 ml/L de timol.

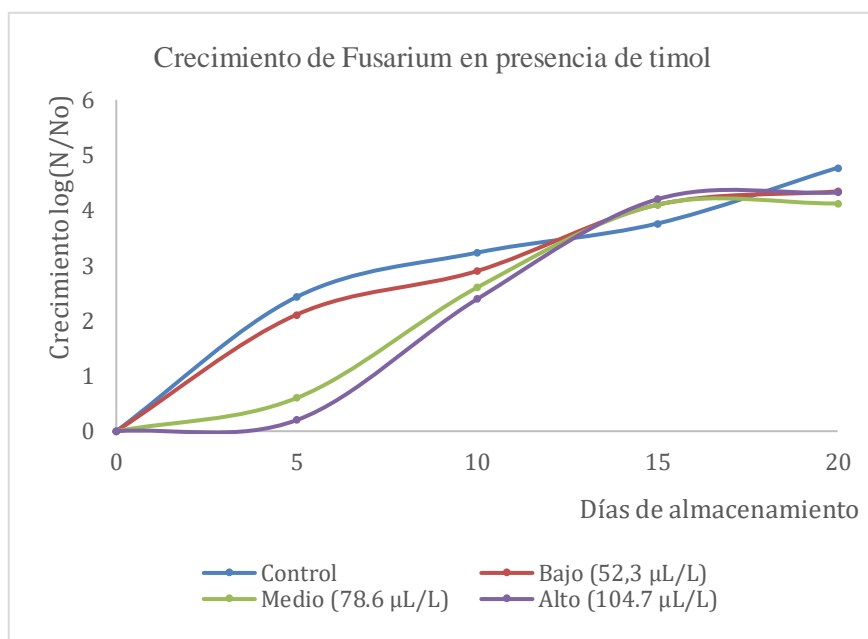


Figura 10. Cinética de crecimiento de *Fusarium sp*, inoculados en jitomates expuestos a diferentes concentraciones de timol en fase vapor almacenados hasta por 20 días a temperatura ambiente (25 °C).

Timol y carvacrol son 2 isómeros estructurales, pero que como compuestos químicos antimicrobianos han mostrado diferencias significativas en la actividad biológica. A partir de este apartado se describirá la función del carvacrol como antifúngico. Como se observa en la Figura 11, Se compararon las cinéticas de crecimiento de *Fusarium sp* (control) con las cinéticas de crecimiento de *Fusarium sp* tratadas con carvacrol a tres concentraciones diferentes a lo largo de 20 días de almacenamiento. En los primeros cinco días de almacenamiento, se obtuvieron aproximadamente 1.2 ciclos logarítmicos de diferencia entre la cinética control y las cinéticas tratadas a cualquiera de las concentraciones utilizadas de carvacrol (no existe diferencias significativas entre ellas). Para los días 10 y 15 de almacenamiento la cinética control mostró una velocidad de crecimiento logarítmico exponencial; mientras que las cinéticas tratadas con carvacrol su velocidad de crecimiento disminuye, llegando a la fase estacionaria. Al llegar al día veinte de almacenamiento, se observó que todas las cinéticas con carvacrol mostraron una actividad fungistática de 2.0, 3.5 y 4 ciclos logarítmicos de la concentración más baja a la más alta respectivamente.

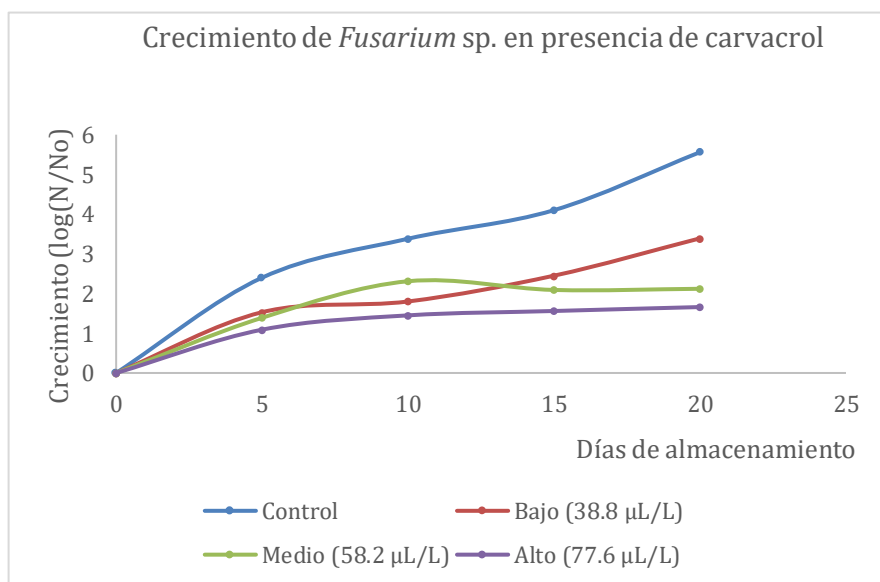


Figura 11. Cinética de crecimiento de *Fusarium sp.*, inoculados en jitomates cherry expuestos a diferentes concentraciones de carvacrol en fase vapor almacenados hasta por 20 días a temperatura ambiente (25 °C).

Finalmente, en la Figura 12 se compara la cinética de crecimiento de *Botrytis sp.* control con las cinéticas de crecimiento del mismo hongo tratadas con carvacrol a tres concentraciones diferentes teniendo una concentración baja, media y alta a lo largo de 20 días de almacenamiento. Al día 5, la cinética control, mostro un crecimiento de casi 4 ciclos logarítmicos, mientras que las cinéticas con carvacrol a concentraciones de 58.2 y 77.6 µL/L mostraron una fase de adaptación del hongo con un crecimiento de 0.5 ciclos logarítmicos en promedio. Para los días 10 y 15 todas las cinéticas tratadas con carvacrol no mostraron diferencias significativas entre ellas (sin importar su concentración), mostrando una inhibición de por lo menos 2 ciclos logarítmicos con respecto a la cinética control. Para el día 20 de almacenamiento la concentración de 77.6 µL/L de carvacrol mostro claramente su actividad fungistática logrando una inhibición de 3 ciclos logarítmicos.

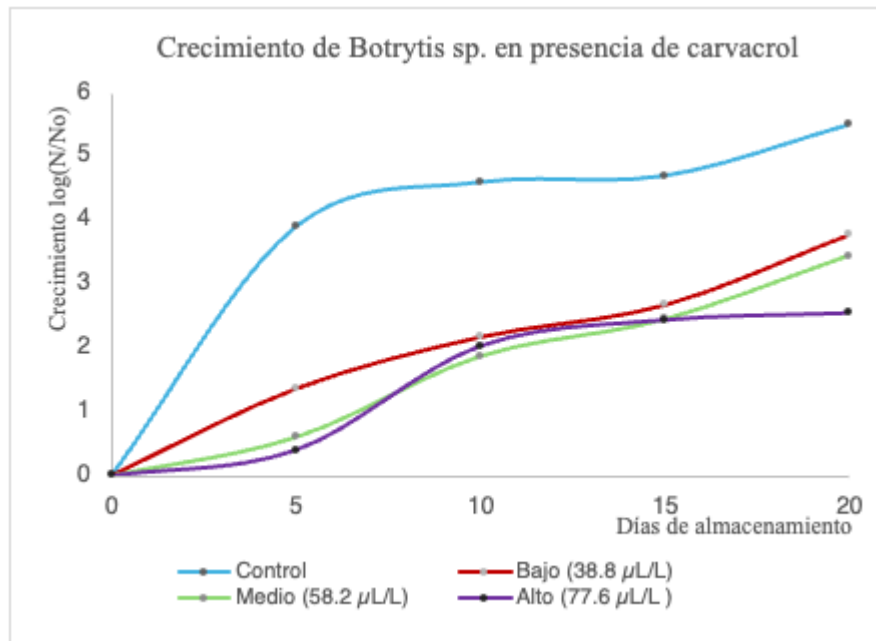


Figura 12. Cinética de crecimiento de *Botrytis sp.*, inoculados en jitomates cherry expuestos a diferentes concentraciones de carvacrol en fase vapor almacenados hasta por 20 días a temperatura ambiente (25 °C).

En esta investigación, se puede observar que el timol es el compuesto químico que menos influye en el crecimiento de los hongos patógenos deterioradores (*Botrytis sp.* y *Fusarium sp.*) inoculados en jitomate cherry. Comparando la Figura 9 y Figura 10 podemos observar que el timol mostró un mejor efecto fungistático sobre *Botrytis sp.* durante los 20 días de almacenamiento específicamente en la concentración más alta a comparación de *Fusarium* en el cual solo actuó los primeros 5 días de almacenamiento obtiene un efecto fungistático que se perdió bruscamente antes del día diez de almacenamiento.

Por otro lado, el carvacrol mostró ser más efectivo como antifúngico al actuar inhibiendo el crecimiento de las cinéticas de los 2 hongos patógenos utilizados. Si comparamos, las cinéticas de las Figuras 11 y 12 podemos observar que el carvacrol produjo en ambos hongos un efecto fungistático constante durante los 20 días de almacenamiento. La gran diferencia entre los hongos patógenos utilizados es que *Fusarium* durante los primeros 5 días de almacenamiento obtuvo valores similares en el control y las cinéticas con carvacrol. Mientras que, en *Botrytis sp.* el efecto fungistático se llevó de forma constante desde el inicio hasta los

20 días de almacenamiento. EL uso de la fase vapor como método antifúngico con ayuda de componentes mayoritarios de aceites esenciales (como es timol y carvacrol) es un campo muy poco investigado y lleno de posibilidades, los resultados logrados en la investigación con las concentraciones obtenidas son similares a la literatura encontrada, por ejemplo en 2022 un estudio obtuvo una concentración mínima inhibitoria sobre *Aspergillus niger* y *Penicilium expansum* usando una concentración de tomillo con 102µL/L de timol y 60.43µL/L de carvacrol (Reyes, 2022). Por otro lado, Bahena reportó que a concentraciones altas propuestas de 92µL/L para eugenol y 105µL/L para cinamaldehído, también en su experimento se observó un efecto antifúngico sobre *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp y *Rhizopus* sp, todos ellos inoculados y tratados en jitomate uva. (Bahena, 2023). En resumen, el mecanismo de acción de los isómeros no es totalmente claro, pero se proponen 4 efectos:

1. La unión a la región hidrofóbica de la membrana celular modificando la estructura y morfología (Liu, 2022) inhibiendo la lipoperoxidación de la membrana así afectando la integridad de esta, del mismo modo, se registró un marcado incremento de la conductividad eléctrica del medio (indicando liberación de componentes intracelulares) y una notable caída del pH externo, lo que evidencia fuga electrolítica como consecuencia del daño membran (Zhang et al., 2019).
2. Generar estrés oxidativo dentro de la célula fúngica. Múltiples estudios han demostrado que la exposición al timol aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), como radicales superóxidos (O_2^-) y peróxido, que atacan lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Hao et al., 2023).
3. Inhibición de la biosíntesis de ergosterol y la acumulación de especies reactivas de oxígeno provocando acumulación de intermediarios tóxicos y comprometiendo aún más la membrana celular (ROS) (Ye, 2023).
4. Paraliza la germinación de conidios y la producción de esporas de *B. cinerea*, frenando su capacidad infectiva (Salas-Orozco et al. 2021, Hassan et al., 2023).

9. Conclusión

- ✓ Se logró observar el crecimiento de *Botrytis* sp. y *Fusarium* sp. inoculado en jitomate cherry con un máximo de 20 días.
- ✓ Carvacrol tiene un mayor efecto fungistático durante los 20 días de almacenamiento.
- ✓ *Botrytis* sp *obtuvo* mayor sensibilidad a los agentes terpenoides usados.
- ✓ La concentración más alta de ambos compuestos mayoritarios (83.3 $\mu\text{L/L}$ para timol y 77.6 $\mu\text{L/L}$ para carvacrol) tuvieron un valor fungistático significativo sobre ambos patógenos del jitomate.

10. Sugerencia

- Utilizar en concentraciones más altas los compuestos de timol y carvacrol en la creación de nuevas cinéticas.
- Crear mezclas de ambos compuestos a diferentes concentraciones para nuevas cinéticas.
- Usar compuestos mayoritarios de algún otro aceite esencial.
- Identificar macrológicamente y micrológicamente cambios morfológicos después de varios días de almacenamiento.
- Obtener cepas con su especie identificada.
- Construir un nuevo tipo de cámara fase de vapor donde se pueda evaluar jitomate Saladette.
- Identificar mecanismos de adaptación de los hongos ante la presencia de timol y carvacrol.
- Conocer el mecanismo de acción fungicida de timol y carvacrol.
- Usar más de un método fungicida en una misma cinética.

Bibliografía

1. Acevedo, Diofanor, Navarro, Mario, & Monroy, Luis. (2013). Composición Química del Aceite Escencial de Hojas de Orégano (*Origanum vulgare*). *Información tecnológica*, 24(4), 43-48. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000400005>.
2. Agric, J. (21 de Junio de 2021). Food Chem. Obtenido de Thymol as an Interesting Building Block for Promising Fungicides against *Fusarium solani*: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.0c07439>.
3. Agrios, G.N., 2005. *Plant Pathology*, Elsevier Academic Press, San Diego, CA. <https://shop.elsevier.com/books/plant-pathology/agrios/978-0-08-047378-9>.
4. Alfaro-Sifuentes, L., Juan, M., Meca, D. E., Elorrieta, M. A., & Valenzuela, J. L. (2019). Effectiveness of Chemical and Thermal Treatments on Control *Rhizopus Stolonifer* Fruit Infection Comparing Tomato Cultivars with Different Sensitivities to Cracking. *International journal of environmental research and public health*, 16(15), 2754. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152754>.
5. Alves Eloy, M., Ribeiro, R., Martins Meireles, L., Antonio de Sousa Cutrim, T., Santana Francisco, C., Lirian Javarini, C., Borges, W. S., Costa, A. V., Queiroz, V. T., Scherer, R., Lacerda, V., Jr, & Alves Bezerra Morais, P. (2021). Thymol as an Interesting Building Block for Promising Fungicides against *Fusarium solani*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 69(25), 6958–6967. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07439>.
6. Amat, S., D. Baines, and T. W. Alexander. 2017. A vapour phase assay for evaluating the antimicrobial activities of essential oils against bovine respiratory bacterial pathogens. *Letters in Applied Microbiology* 65 (6):489–95. doi: 10.1111/lam.12804.
7. Arana Gómez, D., & Sánchez Aguilera, C. (2017). Guía fotográfica de insectos-plaga y enfermedades del Jitomate en el CITAP-UPAEP. Obtenido de https://investigacion.upaep.mx/images/img/editorial_upaep/biblioteca_virtual/pdf/gfiej_email.pdf.
8. Arcila-Lozano, Cynthia Cristina, Loarca-Piña, Guadalupe, Lecona-Uribe, Salvador, & González de Mejía, Elvira. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 100-111. Recuperado en 02 de diciembre de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100015&lng=es&tlng=es.
9. Bahena, Jorge S. (2023). Estudio de la capacidad antifúngica de eugenol y cinamaldehído en fase de vapor contra *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp. y *Botrytis cinerea*, en tomate (*Solanum lycopersicum* var uva). BUAP.
10. BAYER. (4 de diciembre de 2017). Jaspeado del tomate o Blotchy Ripening, Vegetables Sudamérica, <https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/recursos/noticias/jaspeado-del-tomate.html#:~:text=El%20Jaspeado%20del%20Tomate%20o,%2C%20variedad%2C%20suelo%20altitud>.
11. Becerril, A., & Ballinas, V. (2017). En México se desperdician al año 20.4 millones de toneladas de alimentos. *La jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2017/11/17/sociedad/043n1soc>
12. Berendsen, R. L., Pieterse, C. M., & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478–486.
13. Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170-189. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.001>
14. Cámara Guatemalteca de Alimentos y Bebidas –CGAB.(2022).La cadena de suministro de los alimentos. #CGAB #IndustriaAyB #AlimentosyBebidas #VidaSaludable #Guatemala #Economía. Facebook. <https://www.facebook.com/cgab.org.gt/photos/a.1909116992746875/3203262396665655/?type=3>.

15. Carvalho, F. P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science & Policy*, 9(7- 8), 685–692. doi:10.1016/j.envsci.2006.08.0.
16. Cervantes Juan, María Magdalena, Olalde Portugal, Víctor, Martínez Franco, Mónica Berenice, Notario Zacarías, María Isabel, & Valdés Rodríguez, Silvia Edith. (2020). La cistatina de amaranto previene y controla el tizón temprano en tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 567-580. Epub 30 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2066>.
17. Christian J Silva, Jaclyn A Adaskaveg, Saskia D Mesquida-Pesci, Isabel B Ortega-Salazar, Sivakumar Pattathil, Lisha Zhang, Michael G Hahn, Jan A L van Kan, Dario Cantu, Ann L T Powell, Barbara Blanco-Ulate, *Botrytis cinerea* infection accelerates ripening and cell wall disassembly to promote disease in tomato fruit, *Plant Physiology*, Volume 191, Issue 1, January 2023, Pages 575–590, <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac408>.
18. Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951–4959.
19. Cristescu SMDe Martinis D, te Lintel Hekkert S, Parker DH, Harren FJM.2002.Ethylene Production by *Botrytis cinerea* In Vitro and in Tomatoes. *Appl Environ Microbiol*68: <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5342-5350.2002>
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PHYTO-10-20-0475-IA>.
20. Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real . (26 de Septiembre de 2022). La poscosecha y la pérdida de alimentos. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-poscosecha-y-la-perdida-de-alimentos/>.
21. Du, W.-X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E., Mandrell, R., & Friedman, M. (2009). Antibacterial Effects of Allspice, Garlic, and Oregano Essential Oils in Tomato Films Determined by Overlay and Vapor-Phase Methods. *Journal of Food Science*, 74(7), M390–M397. Doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01289.x.
22. Ephytia. (22 de abril de 2021). *Botrytis cinerea* Pers., (1794). Ephytia. Recuperado el 02/12/24) <https://ephytia.inra.fr/es/C/4995/Tomate-Botrytis-cinerea>.
23. Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. A., & Sukor, R. (2019). Effects of simultaneous UV-C radiation and ultrasonic energy postharvest treatment on bioactive compounds and antioxidant activity of tomatoes during storage. *Food chemistry*, 270, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.031>.
24. F, Artés y Hernández. (2002). Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/50bc4fbc-e382-4632-b59d-02a7198bfca8/content>.
25. FAO. (2021). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/886a9afa-95b3-5b57-b5d8-44d7c67e3fac>.
26. FAO. (2007). Buenas prácticas agrícolas [bpa] en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Obtenido de Cosecha y manejo poscosecha: <https://www.fao.org/3/a1374s/a1374s07.pdf>.
27. FAO. (2023). *Crops and livestock products: Tomato production in the world, 2022*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
28. FAO. (2023). Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial N.o1.
29. Fatima Reyes-Jurado, Addí Rhode Navarro-Cruz, Carlos Enrique OchoaVelasco, Enrique Palou, Aurelio López- Malo & Raúl Ávila-Sosa (2019): Essential oils in vapor phase as alternative antimicrobials: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2019.1586641.
30. Fillinger, S., & Elad, Y. (Eds.). (2016). *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. doi:10.1007/978-3-319-23371-0.

31. Flores. C., Buono, S., GiorginI, S. (2012). Guía de consulta Enfermedades de Tomate. <https://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/GuiaConsultaEnfermedadesTomateWeb.pdf>
32. Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 337–359.
33. Gallegos-Flores, P.I.; Bañuelos-Valenzuela, R.; Delgadillo-Ruiz, L.; Meza-López, C.; Echavarría-Cháirez, F. Actividad antibacteriana de cinco compuestos terpenoides: Carvacrol, Limoneno, Linalool, α -Terpineno y Timol. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 2019, 22, 241–248. [Google Scholar] [CrossRef].
34. García-Cortés, M., Méndez-Robles, M. D. C., & Hernández-Carranza, P. (2024). Eficacia antifúngica de carvacrol microencapsulado para el manejo postcosecha de jitomate (*Solanum lycopersicum*). Preprint, SciELO México. [Preprint disponible en SciELO; DOI pendiente de asignar.]
35. García-Galindo, H. S., et al. (2018). Efecto de la desinfección con hipoclorito de sodio en la calidad de semillas de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 263-269.
36. Genta, H., Bernal, R. and Guarinoni, C. (1992) Fisiología y Manejo de postcosecha en tomate de primor. Montevideo: INIA.
37. Gholami-Ahangaran, M., Ahmadi-Dastgerdi, A., Azizi, S., Basiratpour, A., Zokaei, M., & Derakhshan, M. (2022). Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. *Veterinary medicine and science*, 8(1), 267–288. <https://doi.org/10.1002/vms3.663>.
38. Gonçalves, D. C., Tebaldi de Queiroz, V., Costa, A. V., Lima, W. P., Belan, L. L., Moraes, W. B., Corrêa Póvoa, H. C. (2021). Reduction of Fusarium wilt symptoms in tomato seedlings following seed treatment with *Origanum vulgare* L. essential oil and carvacrol. *Crop Protection*, 141, 105487. Doi:10.1016/j.cropro.2020.
39. González-Estrada, R., Blancas-Benítez, F., M. Velázquez-Estrada, R., Montaña-Leyva, B., Ramos-Guerrero, A., Aguirre-Güitrón, L., ... Gutierrez-Martinez, P. (2020). Alternative Eco-Friendly Methods in the Control of Post- Harvest Decay of Tropical and Subtropical Fruits. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.85682.
40. GREENCUT. (2022). ¿Podredumbre apical? Evita la enfermedad de la peseta en el tomate. <https://www.greencut-tools.com/blog/como-prevenir-podredumbre-apical-tomate/#:~:text=Se%20trata%20de%20una%20enfermedad,temprano%20en%20esta%20mism a%20zona>.
41. Hao, Y., Zhang, J., Sun, C., Chen, X., Wang, Y., Lu, H., Chen, J., Shi, Z., Zhang, L., Yang, L., & Huang, S. (2023). Thymol Induces Cell Death of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* via Triggering Superoxide Radical Accumulation and Oxidative Injury In Vitro. *Agronomy*, 13(1), 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010189>.
42. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.
43. Hassan, A. M., El-Mogy, M. M., & Ali, M. A. (2023). Nanoencapsulated carvacrol vapor for the control of tomato grey mold. *Foods*, 12(6), 1183. <https://doi.org/10.3390/foods12061183>.
44. Hong, J. K., Sook Jo, Y., Jeong, D. H., Woo, S. M., Park, J. Y., Yoon, D. J., Lee, Y. H., Choi, S. H., & Park, C. J. (2023). Vapours from plant essential oils to manage tomato grey mould caused by *Botrytis cinerea*. *Fungal biology*, 127(4), 985–996. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2023.02.002>
45. Hou, H., Zhang, X., Zhao, T., & Zhou, L. (2020). Effects of *Origanum vulgare* essential oil and its two main components, carvacrol and thymol, on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *PeerJ*, 8, e9626. <https://doi.org/10.7717/peerj.9626>.
46. IFCO SYSTEMS, (26 de octubre 2023). Desperdicio de alimentos por países: ¿quién desperdiciará más en 2023?. IFCO. <https://www.ifco.com/es/que-pais-desperdicia-mas-alimentos/>.

47. Jaramillo, J. E., et al. (2012). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13320>.
48. Kalemba, D. y Kunicka, A. 2003. Antibacterial and Antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*. 10 (10): 813-829.
49. Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus spp.*. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266.
50. Lárez-Velásquez C, Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *UDO Agrícola* 8(1): 1–22 (2008).
51. Lima, I. O., Pereira, F. de O., Oliveira, W. A. de, Lima, E. de O., Menezes, E. A., Cunha, F. A., & Diniz, M. de F. F. M. (2013). Antifungal activity and mode of action of carvacrol against *Candida albicans* strains. *Journal of Essential Oil Research*, 25(2), 138–142. doi:10.1080/10412905.2012.754728.
52. López-Orona, C. A., Esqueda-Valle, J. A., Gutiérrez-Coronado, M. A., & Valenzuela-Soto, J. H. (2014). Enfermedades fúngicas en cultivos hortícolas del noroeste de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32(1), 1-10.
53. Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., & Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) En La Zona Árida Del Noroeste De México: La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal*, ESJ, 12(18), 232. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>.
54. Mendoza, A. R., Hernández, L., & Villanueva, M. (2008). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento y micoparasitismo de *Trichoderma harzianum*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1), 9–14.
55. Mesa, V. A., Marín, P. A., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(1), 23-30.
56. Nakkeeran, S., Kavitha, K., Chandrasekar, G., Renukadevi, P., & Raguchander, T. (2005). UV sensitivity and formulation of fluorescent pseudomonads for improved shelf life and disease management. *Journal of Biological Control*, 19(2), 177–183.
57. Nedorostova, Lenka & Kloucek, Pavel & Kokoska, Ladislav & Stolcova, Miluse & Pulkrabek, Josef. (2009). Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against foodborne bacteria. *Food Control*. 20. 157-160. 10.1016/j.foodcont.2008.03.007.
58. NORMA Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
59. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-111-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Mohos y Levaduras en alimentos.
60. Notario Medellín, & Sosa Morales. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum*): aporte nutrimental, enfermedades postcosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. Obtenido de <https://tsia.udlap.mx/tag/jitomate-solanum-lycopersicum/>
61. Numpaque, M.; Oviedo, L.; Gil, J.; García, C.; y Durango, D. 2013. Thymol and carvacrol: biotransformation and antifungal activity against the plant pathogenic fungi *Colletotrichum acutatum* and *Botryodiplodia theobromae*. *Trop. Plant Pathol.* 36(1):003-013.
62. ODS. (Diciembre de 2021). Portal de datos de indicadores de los ODS. Obtenido de Indicador 12.3.1 - Pérdidas y desperdicio mundiales de alimentos: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-dataportal/data/indicadores/1231-global-food-losses/es>.
63. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Producción de tomate bajo condiciones protegidas. <https://www.fao.org/4/a1374s/a1374s00.htm>.
64. P. Suwanamornlert, S. Sangchote, W. Chinsirikul, A. Sane, V. Chonhenchob, Antifungal activity of plant-derived compounds and their synergism against major postharvest pathogens of longan fruit in vitro, *International Journal of Food Microbiology*, Volume 271, 2018, Pages 8-14, ISSN 0168-1605, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.02.009>.

65. Physiological and Molecular Plant Pathology, 111, 101521. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101521>.
66. Pinto, L., Bonifacio, M. A., De Giglio, E., Cometa, S., Logrieco, A. F., & Baruzzi, F. (2020). Unravelling the Antifungal Effect of Red Thyme Oil (*Thymus vulgaris* L.) Compounds in Vapor Phase. *Molecules* (Basel, Switzerland), 25(20), 4761. <https://doi.org/10.3390/molecules25204761>.
67. Poveda, J. (2020). Use of plant-defense hormones against pathogen-diseases of post-harvest fresh produce.
68. Prihatna, C., Barbetti, M. J., & Barker, S. J. (2018). A Novel Tomato Fusarium Wilt Tolerance Gene. *Frontiers in microbiology*, 9, 1226. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01226>.
69. PROFECO. (20 de Diciembre de 2020). Jitomate, versátil y nutritivo. Obtenido de <https://www.gob.mx/profeco/articulos/jitomate-versatil-y-nutritivo?state=published>.
70. Ramírez-Luna, R., Pérez-Marroquín, C., & Rojas-Velázquez, D. (2020). Evaluación del uso de aceites esenciales en fase vapor como alternativa antifúngica en tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 38(1), 89–97. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2002-1>
71. Reyes Jurado, F., Palou, E., & López Malo, A. (8 de Junio de 2017). Vapores de aceites esenciales: alternativa de antimicrobianos naturales. Obtenido de <https://tsia.udlap.mx/vapores-de-aceites-esenciales-alternativa-de-antimicrobianosnaturales/>.
72. Reyes-Jurado, F., Bárcena-Massberg, Z., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A., & Palou, E. (2022). Fungal inactivation on Mexican corn tortillas by means of thyme essential oil in vapor-phase. *Current research in food science*, 5, 629–633. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.03.010>
73. Reyes-Pérez, Juan José, Enríquez-Acosta, Emmanuel Alexander, Ramírez-Arrebató, Miguel Ángel, Zúñiga Valenzuela, Elizabeth, Lara-Capistrán, Liliana, & Hernández-Montiel, Luis Guillermo. (2020). Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, rendimiento y contenido nutricional del tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 457-465. Epub 30 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2392>.
74. Reyes-Pérez, Juan José, Rivero-Herrada, Marisol, García-Bustamante, Erick Leonardo, Beltrán-Morales, Félix Alfredo, & Ruiz-Espinoza, Francisco Higinio. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163. Epub 10 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1338>.
75. Rivas-García, T., Luis Gustavo Gonzalez-Gomez, Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., & Terrero-Soler, J. C. (2021). Agronomic response of two tomato varieties (*Solanum Lycopersicon* L.) to the application of the biostimulant white chitosan. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>.
76. Rivera-Pastrana, Dulce M., Gardea-Béjar, Alfonso A., Martínez-Téllez, Miguel A., Rivera-Domínguez, Maricela, González-Aguilar, Gustavo A. (2007). EFECTOS BIOQUÍMICOS POSTCOSECHA DE LA IRRADIACIÓN UV-C EN FRUTAS. Y HORTALIZAS. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 4. <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.4.361>
77. Rodríguez Alvarado, G., García López, J., & Fernández Pavía, S. (10 de Diciembre de 2010). Enfermedades del Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v29n1/v29n1a5.pdf>.
78. Rodríguez, E., & Melgarejo, P. (2006). Anatomía y morfología del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(1), 65-75. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcch/article/view/12345> (Nota: enlace ejemplo, revisar repositorio correspondiente).
79. Rodríguez-Guzmán, Carlos A., Montañón-Leyva, Beatriz, Velázquez-Estrada, Rita M., Sánchez-Burgos, Jorge A., García-Magaña, María de Lourdes, González-Estrada, Ramsés R., & Gutiérrez-Martínez, Porfirio. (2021). Estado actual de métodos alternativos, de control de hongos y su efecto en la calidad postcosecha de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*). *TIP. Revista*

- especializada en ciencias químico-biológicas, 24, e388. Epub 17 de abril de 2023. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.388>.
80. Rodríguez-Ramos, J., Hernández-López, M., & Bautista-Baños, S. (2022). Use of essential oils in vapor phase to control fungal pathogens in tomatoes during storage. *Journal of Food Protection*, 85(3), 425–432. <https://doi.org/10.4315/JFP-21-275>.
 81. Saghrouchni, H., El Barnossi, A., Salamatullah, A. M., Bourhia, M., Alzahrani, A., Alkaltham, M. S., Alyahya, H. K., Tahiri, N. E. H., Imtara, H., & Var, I. (2021). Carvacrol: A Promising Environmentally Friendly Agent to Fight Seeds Damping-Off Diseases Induced by Fungal Species. *Agronomy*, 11(5), 985. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050985>.
 82. Salas-Orozco, M. F., Martínez-Hernández, G. B., Amador-Espejo, G. G., & González Aguilar, G. A. (2021). Antifungal effect of thymol vapor against *Botrytis cinerea* in tomato fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 179, 111589. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111589>.
 83. Sánchez-Domínguez, D. & Bautista-Baños, Silvia & Bosquez-Molina, E. & Hernández-Lauzardo, A. & Valle, M.. (2005). Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7. 1-6.
 84. Segvić Klarić, M., Kosalec, I., Mastelić, J., Piecková, E., & Pepeljnak, S. (2007). Antifungal activity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil and thymol against moulds from damp dwellings. *Letters in applied microbiology*, 44(1), 36–42. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.02032.x>.
 85. Seo, H. S., L. R. Beuchat, H. Kim, and J. H. Ryu. 2015. Development of an experimental apparatus and protocol for determining antimicrobial activities of gaseous plant essential oils. *Int J Food Microbiol* 215:95–100. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.021.
 86. Shcherbakova L, Mikityuk O, Arslanova L, Stakheev A, Erokhin D, Zavriev S and Dzhavakhiya V (2021), Studying the Ability of Thymol To Improve Fungicidal Effects Of Tebuconazole and Difenoconazole Against Some Plant Pathogenic Fungi In Seed or Foliar Treatments. *Front. Microbiol.* 12:629429. Doi: 10.3389/fmicb.2021.629429.
 87. Singh, V. K., Singh, H. B., & Upadhyay, R. S. (2017). Role of fusaric acid in the development of ‘Fusarium wilt’ symptoms in tomato: Physiological, biochemical and proteomic perspectives. *Plant physiology and biochemistry : PPB*, 118, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.028>.
 88. Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plaga. *Botrytis cinérea*. Argentina.org, arg. <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/botrytis-cinerea>.
 89. Sivakumar, D., & Fallik, E. (2013). Influence of Heat Treatments on Quality Retention of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Food Reviews International*, 29(3), 294–320. <https://doi.org/10.1080/87559129.2013.790048>.
 90. Smith-Palmer A., Stewart J. y Fyfe L. 1998. Antimicrobial properties of plant essential oils and Essences against five important food-borne Pathogens. *Letters in Applied Microbiology*. 26 (2): 118-122.
 91. Soyulu, E. M., Kurt, S., & Soyulu, S. (2010). In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *International journal of food microbiology*, 143(3), 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.015>.
 92. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
 93. Vasilatis, A. A., Gianfagna, T. & Simon, J. E., (2021) “Investigation of Growth Inhibition by Thymol and Carvacrol from *Thymus* spp. And *Origanum vulgare* on *Botrytis cinerea*”, *Journal of Medicinally Active Plants* 10(1), 24-31. Doi: <https://doi.org/10.7275/n3bj-jn34>.
 94. Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., & Valero, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1), 1–20.

95. Walter, M., Jaspers, M.V., Eade, K. et al. Control of *Botrytis cinerea* in grape using thyme oil. *Australasian Plant Pathology* 30, 21–25 (2001). <https://doi.org/10.1071/AP00059>.
96. Wang, D., Wang, Y., Lv, Z., Pan, Z., Wei, Y., Shu, C., Zeng, Q., Chen, Y., & Zhang, W. (2022). Analysis of Nutrients and Volatile Compounds in Cherry Tomatoes Stored at Different Temperatures. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(1), 6. <https://doi.org/10.3390/foods12010006>
97. Yanlin Liu, Shihao Liu, Xunguang Luo, Xiao Wu, Jie Ren, Xiaoqing Huang, Shun Feng, Xiaoyi Lin, Maozhi Ren, Pan Dong, Antifungal activity and mechanism of thymol against *Fusarium oxysporum*, a pathogen of potato dry rot, and its potential application, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 192, 2022, 112025, ISSN 0925-5214, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112025>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521422001934>).
98. Ye, S.; Shuai, L.; Luo, D.; Ba, L. Inhibitory Activity and Mechanism of Action with Thymol against the Blueberry Pathogenic Fungi Caused by *Neopestalotiopsis clavispora*. *Horticulturae* 2023, 9, 983. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9090983>
99. Zeng, C., Tan, P., & Liu, Z. (2019). Effect of exogenous ARA treatment for improving postharvest quality in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 108959. doi: 10.1016/j.scienta.2019.10895.
100. Zhang, J., Ma, S., Du, S., Chen, S., & Sun, H. (2019). Antifungal activity of thymol and carvacrol against postharvest pathogens *Botrytis cinerea*. *Journal of food science and technology*, 56(5), 2611–2620. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03747-0>.
101. Zhang, J.; Hao, Y.; Lu, H.; Li, P.; Chen, J.; Shi, Z.; Xie, Y.; Mo, H.; Hu, L. Nano-Thymol Emulsion Inhibits *Botrytis cinerea* to Control Postharvest Gray Mold on Tomato Fruit. *Agronomy* 2022, 12, 2973. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122973>.