



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE ENFERMEDADES POSTCOSECHA EN CHAYOTE

(Sechium edule (Jacq.) Sw.)

SIUL DENNIS ROMERO VELAZQUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis, titulada: **TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE ENFERMEDADES POSTCOSECHA EN CHAYOTE (*Sechium edule* (Jacq) Sw.)**, realizada por la alumna: **Siul Dennis Romero Velazquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DRA. MA. DE LOURDES C. ARÉVALO GALARZA

ASESOR

DR. JORGE CADENA IÑIGUEZ

ASESOR

DR. DANIEL NIETO ÁNGEL

ASESOR

DRA. BERTHA TLAPAL BOLAÑOS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme el apoyo económico para realizar mis estudios de Maestría.

Al Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México (GISeM), por el apoyo brindado en la realización de esta investigación.

A la Línea Prioritaria de Investigación en Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad (LPI-7) del Colegio de Postgraduados por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación.

A los miembros de mi consejo particular, a la Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza, Dr. Jorge Cadena Íñiguez, Dra. Bertha Tlapal Bolaños y Dr. Daniel Nieto Ángel, por todo el apoyo, paciencia y colaboración en este proyecto, porque con nada podré pagar las grandes enseñanzas que me dieron tanto profesional como personalmente, a cada uno de ustedes muchas gracias.

Al Grupo Productor de Chayotes JV, y personalmente a Valentín Ventura Valerio por su tiempo, apoyo, disponibilidad y colaboración incondicional para este proyecto.

Al personal del laboratorio de Fisiología y Tecnología postcosecha del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, a Don Arturito, por otorgarme las facilidades en la realización de la fase de evaluación, y al personal del laboratorio de Micología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, Marianita y Sr. Juanito, por todo su apoyo, colaboración y por su gran amistad.

Al Dr. Gerardo Leyva Mir por sus acertadas observaciones durante la fase experimental.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional...

Gracias

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
Importancia económica	4
Generalidades del cultivo	5
LITERATURA CITADA	14
IV. REDUCCIÓN DE LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES CON APLICACIONES PRECOSECHA	18
REDUCITION OF DISEASES WITH PRE-HARVEST APPLICATIONS.....	19
INTRODUCCIÓN	20
MATERIALES Y METODOS.....	21
Localización	21
Aplicación de tratamientos	21
Análisis de calidad	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA.....	34
V. CONTROL <i>IN VITRO</i> E <i>IN VIVO</i> DE HONGOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES POSTCOSECHA EN CHAYOTE (<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.)	36

IN VITRO AND IN VIVO CONTROL OF POSTHARVEST DISEASES CAUSED BY FUNGI IN CHAYOTE (<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.)	37
ABSTRACT	37
INTRODUCCIÓN	38
MATERIALES Y MÉTODOS	39
Cepas	39
Efectividad in vitro de fungicidas	39
Pruebas de efectividad biológica in vivo sobre frutos de chayote	40
<i>Material vegetal</i>	40
Inoculación y tratamientos	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	51
CONCLUSIONES GENERALES	52
LITERATURA CITADA	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estados productores de chayote en México.....	5
Cuadro 2. Peso inicial y final (g) de frutos de chayote cosechados después de la aplicación de tratamientos.....	31
Cuadro 3. Valores de la CL_{50} y CL_{95} ($mg L^{-1}$) de los fungicidas y <i>B. subtilis</i> para el control del crecimiento micelial de <i>D. bryoniae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> y <i>F. solani</i> aislados de frutos de chayote.....	46
Cuadro 4. Valores de la CL_{50} y CL_{95} ($mg L^{-1}$) de los fungicidas y <i>B. subtilis</i> para el control del crecimiento micelial de <i>P. capsici</i> aislados de frutos de chayote.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de chayote en México, 2013.....	4
Figura 2. Distribución de tratamientos en huerta comercial de chayote...	21
Figura 3. Periodo de aplicación de tratamientos a frutos en campo.....	22
Figura 4. Clasificación de chayotes de acuerdo con el contenido de clorofilas (a y b) y color (°Hue, Chroma y Luminosidad).....	23
Figura 5. Clasificación de chayotes de acuerdo con la edad y presencia de vejiga.....	23
Figura 6. Clasificación de chayotes de acuerdo con la edad y presencia de viviparismo.....	24
Figura 7. Cámaras húmedas con frutos de chayote y chayote después de 15 días de almacenamiento.....	26
Figura 8. Porcentaje de frutos con viviparismo, en tratamientos con una aplicación precosecha, después de 21 días de almacenamiento a temperatura de 20 ± 3 °C. Los tratamientos son: Testigo (agua), Silicato de calcio (CaSiO_3 a 10.944 g i.a./L); silicato de potasio (KSiO_3 a 27.36 g i.a./L); Tebuconazole-trifloxystrobin (1.781g i.a./L); Fluopyram-pyrimethanil (5.39 g i.a./L); Boscalid + pyraclostrobin + <i>Bacillus subtilis</i> (20.49 g i.a./kg). (n= 20).....	27
Figura 9. Porcentaje de frutos con viviparismo, en tratamientos con dos aplicaciones precosecha, después de 21 días de almacenamiento a temperatura de 20 ± 3 °C. Los tratamientos son: Testigo (agua), Silicato de calcio (CaSiO_3 a 10.944 g i.a./L); silicato de potasio (KSiO_3 a 27.36	

g i.a./L); Tebuconazole-trifloxystrobin (1.781g i.a./L); Fluopyram-pyrimethanil (5.39 g i.a./L); Boscalid + pyraclostrobin + <i>Bacillus subtilis</i> (20.49 g i.a./kg). (n= 20).....	28
Figura 10. Fruto con vejigas, síntoma de senescencia acelerada después de siete días de ser cosechado, en la segunda repetición presente en frutos con dos aplicaciones de productos.....	29
Figura 11. Firmeza inicial de frutos de chayote con A) una aplicación de productos (2 repeticiones); B) dos aplicaciones primera repetición y C) dos aplicaciones (segunda repetición) (n=6).....	30
Figura 12. Pérdidas de peso de los frutos de chayote con A) una aplicación de productos (2 repeticiones); B) dos aplicaciones primera repetición y C) dos aplicaciones (segunda repetición) n=6± SE.....	32
Figura 13. Efectividad de <i>B. subtilis</i> con concentración de 0.01mg·L ⁻¹ , comparada con el testigo de cada patógeno evaluado.....	41
Figura 14. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de tebuconazol-trifloxystrobin en a. <i>D. bryoniae</i> y b. <i>F. oxysporum</i> a ocho días de incubación a una temperatura de 25±2 °C.....	43
Figura 15. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de <i>Didymella bryoneae</i> con diferentes concentraciones de fungicidas y <i>B. subtilis</i> . (n=10 ± DE).....	44
Figura 16. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> con diferentes concentraciones de fungicidas y <i>B. subtilis</i> (n=10 ± DE).....	44

Figura 17. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de procloraz en <i>F. solani</i> a ocho días incubación a una temperatura de 25±2 °C.....	45
Figura 18. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de <i>F. solani</i> con diferentes concentraciones de fungicidas y <i>B. subtilis</i> (n=10 ± DE).....	46
Figura 19. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de <i>B. subtilis</i> en <i>P. capsici</i> a ocho días incubación a una temperatura de 25 ± 2 °C.....	48
Figura 20. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de <i>Fusarium solani in vitro</i> con diferentes concentraciones de fungicidas y <i>B. subtilis</i> (n=10 ± DE).....	48
Figura 21. Severidad de daño de <i>P. capsici</i> en frutos de chayote, después de cinco días de la inoculación.....	50
Figura 22. Severidad de daño de <i>P. capsici</i> en frutos de chayote, después de cinco días de la inoculación con tratamientos a) Propamocarb; b) Fosetil-aluminio y c) <i>B. subtilis</i>	50

Tratamientos para el control de enfermedades postcosecha en chayote (*Sechium. edule* (Jacq) Sw .)

ROMERO, V.S.D¹., ARÉVALO, G.M.L¹., CADENA, I.J²., NIETO, A.D^{1,3}., TLAPAL⁴, B.B.

1. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4 Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

RESUMEN

El fruto de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) es una hortaliza de exportación de gran importancia para México y Costa Rica. En México ha adquirido gran importancia económica principalmente en el estado de Veracruz. En los últimos años una excelente calidad e inocuidad de los productos hortofrutícolas debe ser cumplidos tanto para el mercado de exportación como para el consumo nacional, por lo cual los frutos deben tener buena apariencia, sanos y libres de defectos. Sin embargo, debido a que los chayotes generalmente son empacados dentro de una bolsa de polietileno, los cambios de temperatura e intensidad respiratoria y de transpiración generan condiciones de alta humedad en el empaque, lo cual permite para el desarrollo y crecimiento de patógenos durante el almacenamiento, transporte y comercialización, produciendo pérdidas invaluable y limitando su vida de anaquel, y demeritando la confianza de los productores exportadores con los brokers o cadenas de supermercados, al no mantener la calidad de los frutos de chayote.

Actualmente no hay fungicidas aprobados para el control de hongos en postcosecha para los frutos de chayote, por lo cual el presente trabajo muestra los resultados de la aplicación precosecha de diferentes productos químicos y de origen orgánico para controlar la incidencia de enfermedades en postcosecha. Los resultados mostraron, que dada las características de la huerta y el manejo integrado realizado, no se presentaron frutos enfermos, por lo que no se registraron diferencias entre tratamientos.

Por otro lado se realizaron evaluaciones *in vitro* e *in vivo* de la efectividad de algunos fungicidas y *Bacillus subtilis* sobre cuatro cepas de hongos patógenos que atacan a chayote en postcosecha: *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani* y *Didymella bryoniae*. Los resultados mostraron que *Bacillus subtilis* fue el agente antagonista de mayor efectividad en el control de los patógenos en las pruebas *in vitro*.

Palabras clave: Fungicidas, calidad postcosecha, patógenos.

Treatments for control of post-harvest diseases in chayote (*Sechium. edule* (Jacq) Sw .)

ABSTRACT

ROMERO, V.S.D¹., ARÉVALO, G.M.L¹., CADENA,I.J²., NIETO,A.D^{1,3}. TLAPAL⁴, B.B.

1.Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4 Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

The fruit chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) is a vegetable of export of great importance to Mexico and Costa Rica. In Mexico has acquired great economic importance mainly in the state of Veracruz. In recent years an excellent quality and safety of horticultural products must be achieved for exportation and for domestic consumption, by which the fruits must have good appearance, healthy and free from defects. However, due to the fact that chayote are usually packaged inside a polythene bag, the changes of temperature and respiratory rate and transpiration generated conditions of high moisture in the packaging, which allows for the development and growth of pathogens during storage, transportation and marketing, producing high losses and reducing their shelf-life, this decreased the confidence of the exporting producers with the brokers or supermarket chains, in keeping the high quality of the fruits of chayote.

There are currently no approved fungicides for the control of fungi during postharvest for chayote fruits, by which the present work shows the results of the pre-harvest application of different chemicals and organic compounds to control the incidence of postharvest diseases. The results showed that, given the characteristics of the orchard and the integrated management carried out, there were no incidence of diseases in the fruits, during three harvest periods, without differences between treatments.

On the other hand it was conducted *in vitro* and *in vivo* evaluations of the effectiveness of some fungicides and *Bacillus subtilis* to control the growth of four

strains of pathogenic fungi that attack chayote during postharvest: *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani* and *Didymella bryoniae*. The results showed that *Bacillus subtilis* was an excellent antagonist agent in the control of these pathogens on the *in vitro* tests.

Key words: fungicides, postharvest quality, pathogens.

INTRODUCCION

El chayote (*Sechium edule (Jacq.) Sw.*), es una cucurbitácea originaria de México y Centroamérica, que se cultiva desde la época prehispánica. En la actualidad esta especie se encuentra diseminada en diferentes regiones de Asia, África, y Oceanía (SAGARPA, 2008).

Comercialmente el chayote se cultiva en México, Costa Rica, Brasil, Cuba, India, Taiwan y China (Cadena *et al.*, 2001). Siendo el grupo varietal *virens levis* (verde liso) el de mayor comercialización.

El uso del chayote es primordialmente para el consumo humano, en la actualidad tiene mayor demanda debido a sus amplias propiedades nutricionales siendo una de las hortalizas que se incluyen en las dietas de hospitales debido a su bajo contenido calórico y de almidón, alto contenido de agua y presencia de potasio. Su composición se basa principalmente de carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcar soluble y agua (FAO, 1994).

México ocupa el primer lugar como exportador de chayote seguido de Costa Rica. Al ser uno de los centros de origen de esta cucurbitácea, cuenta con una gran diversidad de especies silvestres, que producen frutos con y sin espinas, variando en tamaño, color y forma. Estas variaciones también se extienden a los sabores, encontrándose frutos amargos, neutros o sutilmente dulces.

Este cultivo representa una fuente de empleo e importante derrama económica principalmente en Veracruz, aunque la superficie de huertas comerciales es importante también en Nayarit, Michoacán y Jalisco, dada la demanda nacional y la creciente de exportación hacia Estados Unidos. Por ejemplo en Veracruz, el principal estado productor, cuenta con 2,147 hectáreas y una producción de 147,944 toneladas (SIAP, 2013)

Debido a que el fruto de chayote se comercializa principalmente en fresco y desde la cosecha hasta el empaque se manipula manualmente, es susceptible a contaminación cruzada. Además su epidermis es muy delgada y es común la incidencia de daños mecánicos causados por magulladuras por roce, compresión, o impacto y descomposición por microorganismos, que provocan deterioro y senescencia acelerados.

Para controlar las enfermedades, se recurre en general a cuidadosas prácticas de manejo de la fruta durante la cosecha y el almacenamiento que tratan de minimizar la incidencia de heridas en los frutos, que son la vía de entrada para la mayoría de los patógenos (González, 1998). Por lo anterior, la aplicación de fungicidas se ha hecho una práctica común en pre y postcosecha, sin embargo, numerosos informes refieren la aparición de cepas patógenas resistentes a los principios activos de los fungicidas utilizados en estas etapas, provocando el aumento de las dosis y/o alternando con otro ingrediente activo. La aplicación excesiva o fuera de tiempo de los fungicidas ha provocado el rechazo de cargamentos hortofrutícolas por exceder los límites permitidos de cierto producto en particular o por tener uno no autorizado. Según datos del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria entre los años 2008 y 2011, se presentaron 73 casos de rechazos de productos hortícolas por la presencia de residuos químicos (SENASICA, 2011).

Por lo anterior el presente trabajo tiene por objetivo evaluar la efectividad de diferentes fungicidas durante la etapa de precosecha e *in vitro* que reduzcan la incidencia de las principales enfermedades que se presentan en etapa postcosecha en frutos de chayote.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el uso de compuesto químico y fungicidas en pre y postcosecha para reducir la incidencia de enfermedades postcosecha en frutos de chayote.

OBJETIVOS PARTICULAR

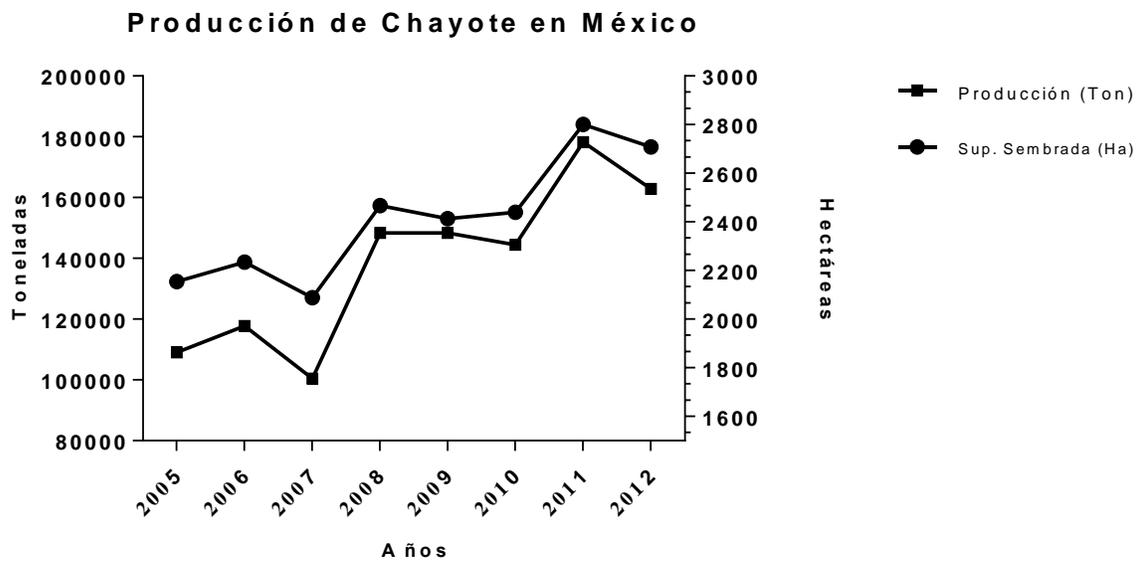
- Evaluar la efectividad de la aplicación de cinco compuestos en la etapa precosecha en la calidad e incidencia de enfermedades postcosecha de chayote
- Evaluar la efectividad *in vitro* de diferentes fungicidas en el control de las principales enfermedades postcosecha en chayote producidas por: *Didymella bryoniae*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani* y *Phytophthora capsici*.

III. REVISION DE LITERATURA

Importancia económica

México ocupa el primer lugar en producción y exportación de chayote verde liso con el 53 % del mercado mundial, seguido de Costa Rica (GISeM, 2011).

Para el año 2012, en México, se reportó una superficie sembrada de chayote de 2,707.62 ha con un incremento del 20 % desde el 2005 y del 33 % en la producción para el mismo periodo (Figura 1) (SIAP, 2013).



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2013

Figura 1. Producción de chayote en México, 2013.

Los estados de mayor producción de chayote son: Veracruz, Michoacán y Jalisco (SIAP, 2013), en orden de importancia, Veracruz representa el 80 % de la producción con 131,636.72 ton (Cuadro 1). Es un cultivo importante pues es generador de empleos fijos y temporales, ya que una hectárea representa nueve empleos fijos y 32 temporales por espacio de 12 meses.

Cuadro1. Estados productores de chayote en México.

Estado	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Veracruz	2,032.00	2,032.00	131,636.72	64.78	320,659.32
Michoacán	244.00	244.00	19,402.21	79.52	39,778.15
Jalisco	242.00	242.00	9,011.00	37.24	32,996.64
San Luis Potosí	75.00	75.00	1,125.00	15.00	3,018.76
México	50.00	50.00	925.00	18.50	3,811.00
Yucatán	24.42	22.42	578.20	25.79	2,381.95
Tabasco	6.00	6.00	56.41	9.40	97.26
Guanajuato	5.00	5.00	50.00	10.00	175.00
Puebla	23.70	23.70	20.42	0.86	77.37
Morelos	4.00	4.00	36.00	9.00	208.80
Nayarit	1.50	1.50	14.10	9.40	31.60
Total	2,707.62	2,705.62	162,855.06	60.19	403,235.85

Fuente: SIAP, 2013

Generalidades del cultivo

El chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.), es una especie domesticada en Mesoamérica cuyo uso principal es el de consumo humano. La planta puede ser aprovechada en su totalidad para consumo (raíz, hojas y puntas tiernas de las guías) sin embargo, el fruto en madurez hortícola o fisiológicamente maduro es el órgano principal de consumo (Cadena *et al.*, 2007).

Sechium edule (Jacq.) Sw. pertenece a la familia Cucurbitaceae, la cual incluye alrededor de 130 géneros y 1,200 especies distribuidas en regiones tropicales y

subtropicales del mundo (Rzadowsky, 1985), clasificándose de acuerdo con Lira (1996) como:

Reino: Plantae

Division: Anthophyta

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Metachlamideae

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceas

Género: *sechium*

El chayote, crece como una hierba perenne, ascendente, provista de zarcillos y raíces tuberosas. Presenta tallos de varios metros de longitud, ligeramente comprimidos y longitudinalmente surcados, tiene una hoja por cada nudo, una inflorescencia unisexual y un zarcillo ramificado en dos a cinco menores. Las hojas pueden ser simples, palmado lobuladas o anguladas, poseen peciolo largo: los lóbulos son agudos o acuminados y la venación ramificada. El fruto es una baya periforme, ovoide, alargada o redonda, con una hendidura en el extremo opuesto a la inserción del pedúnculo, por la cual asoma a la semilla en frutos maduros, su tamaño va de 9.3 a 18.3 cm de longitud, de 6 a 11.4 cm de ancho y de 5.4 a 9.6 cm de grosor. El color del fruto presenta varias tonalidades dentro del espectro desde el blanco amarillento al verde oscuro (Cadena, 2005; Gamboa, 2005; GISeM, 2011; Lira, 1996).

Requerimientos climáticos. El chayote es un cultivo de clima tropical que crece bien a altitudes entre los 300 y 2000 msnm, con temperaturas óptimas entre 13 a

21°C. Los suelos en que se desarrolla son preferentemente livianos, ricos en materia orgánica y con buen drenaje. La mayor limitante en la producción del cultivo, es la disponibilidad de agua, ya que la planta llega a demandar de 936 mil a tres millones 750 mil litros de agua por hectárea y ciclo. Si estos requerimientos no se cubren, la productividad disminuye (Cadena *et al.*, 2001, Dzib *et al.*, 1993).

Manejo postcosecha. El fruto de chayote alcanza su madurez comercial alrededor de 18 ± 2 días después de antesis, cuando el fruto alcanza un peso entre 250 y 400 g y un tamaño entre 10 a 12 cm. La cosecha se realiza manualmente y como la producción es continua, se realiza dos veces por semana. Los vehículos provenientes del campo son colocados en la sombra para evitar calentamiento y daño por sol en el fruto. Las cajas de chayote son descargadas manualmente para evitar áreas dañadas en frutos que generen un deterioro y pérdidas debido a cortes abrasión, frutos aplastados y/o raspados. En el proceso de selección manual se eliminan los frutos con defectos y que no reúnan las características de calidad (malformación, daños físicos, inmadurez, etc.). En el área de empaque se reciben los frutos seleccionados que cumplen con los estándares de calidad los cuales se colocan en bolsas de polietileno y se depositan en cajas de 40 libras de peso (60 frutos). Aun cuando los frutos de chayote, no precisan de un enfriamiento inmediato a su paletizado, los cambios bruscos de temperatura promueven la condensación de la humedad con el riesgo de incrementar la incidencia de enfermedades, así mismo por la alta humedad relativa acumulada al interior del empaque el proceso de germinación puede acelerarse (GISeM, 2011).

Enfermedades. Las cucurbitáceas forman un importante y un amplio grupo dentro de las hortalizas cultivadas a nivel mundial, reportándose diferentes patógenos como agentes causales de enfermedades, los cuales causan un daño incalculable a estos cultivos en términos de calidad (Blancard *et al.*, 1994).

La incidencia y severidad de estas enfermedades depende del organismo (hongo, bacteria, virus y micoplasma), el medio ambiente y la etapa fenológica del cultivo.

Entre las enfermedades causadas por hongos reportadas para las plantas de cucurbitáceas que incluyen al chayote se encuentran: mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) esta enfermedad es causada fundamentalmente por cuatro géneros y cinco especies del orden Erysiphales: *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) V.P. Gelyuta (sin. *Erysiphe cichoracearum* DC), *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht. ex Fr.) Poll. (sin. *Podosphaera fusca* (Fr.) U. Braun y Shishkoff) y *Podosphaera xanthii* (Px) (Castag.) U. Braun y N. Shish (sin. *Podosphaera fusca*). Estas especies están ampliamente distribuidas y su identificación es compleja. La incidencia de esta enfermedad es más severa en pepino y melón, sin embargo también afecta calabaza y sandía; estos cultivos son considerados como hospedantes mayores a diferencia del chayote que se considera como un hospedante menor. La presencia o ausencia de la enfermedad está determinada por el grado de resistencia de los cultivares, se favorece en períodos lluviosos y cálidos. Los síntomas aparecen en hojas, peciolo y yemas jóvenes de las cucurbitáceas, como una masa blanca con aspecto de ceniza, compuesta de micelio denso e incontables esporas. Bajo condiciones ambientales favorables, la superficie de la hoja puede ser abarcada completamente, incluso llegar a cubrir ambas superficies, y además provocar una defoliación prematura en las plantas. La infección puede alcanzar tejidos más profundos y llegar a tal grado que las hojas tomen una coloración amarilla, luego carmelita y finalmente se secan (González, 2010; Cristóbal *et al.*, 2006; González *et al.*, 2012; Leveda *et al.*, 2011).

En pepino, melón, sandía y calabaza, la cenicilla es ocasionada por *Erysiphe cichoracearum* DC y *Sphaerotheca fuliginea* Fr, Pollaci y en chayote se asocia a *Golovinomyces cichoracearum* (DC) V. P Heluta. Los síntomas se presentan sobre la superficie de las hojas más viejas, que inician con manchas amarillentas de forma circular que al madurar presentan un micelio blanquecino, al incrementar la humedad relativa y la temperatura ambiente el grado de incidencia y la severidad

aumentan drásticamente cubriendo totalmente la lámina foliar. El daño en estas condiciones provoca un envejecimiento acelerado del tejido y la caída de las partes afectadas (Olguín *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2010).

Otro patógeno que ataca hojas, tallos, flores y frutos prácticamente en la mayoría de las cucurbitáceas es *Alternaria alternata* (tizón foliar) aunque es más común en sandía. En chayote se presenta asociado a lesiones en guías, está presente en áreas con lluvias frecuentes y altas temperaturas. Las primeras lesiones aparecen en las hojas más viejas como manchas pequeñas de color amarillo marrón con bordes de un amarillo más claro. Estas manchas se expanden y forman áreas necróticas de color marrón. Los bordes de las hojas se enroscan hacia adentro y luego mueren, exponiendo el fruto a daños por escaldaduras lo que reduce la calidad y cantidad de frutos comercialmente aceptables. El hongo sobrevive de 1-2 años en los residuos de cosecha (Avinash y Ravishankar, 2001, Egel y Harmon, 2013; Ziv y Zitter, 1992).

El tizón gomoso (*Didymella bryoniae*) ataca a la calabaza, el melón, el pepino y la sandía, y se reportó en chayote en 2012 en Taiwán. Este hongo es transmitido en la semilla y permanece en bejucos infectados y residuos de cosecha afectando siembras posteriores. Infecta con mayor frecuencia en periodos lluviosos y en siembras con riego por gravedad. Los síntomas comienzan a observarse en las axilas de las hojas de los tallos. Se forman estrías de color verde a lo largo del tallo que más tarde van tornando a un color marrón oscuro. Como consecuencia, los tallos se colapsan y el flujo de agua y nutrientes se interrumpe, causando marchitez de las hojas. Algunas veces se observa un exudado gomoso color ámbar de las lesiones en los tallos. En los bordes de las hojas se perciben manchas de color ámbar a marrón oscuro que se agrandan hasta que ocurre la marchitez total del follaje. En los frutos se observan lesiones acuosas con exudado gomoso y cuerpos fructíferos (picnidios) del hongo. Las lesiones pueden ser superficiales o invadir el fruto internamente. La descomposición de los frutos se

puede acelerar por la presencia de organismos secundarios (Kienath, 2002; Kienath, 2008; Tsai y Chen, 2012).

Otro patógeno que ataca tanto el follaje como los frutos es *Colletotrichum* spp. reportado en sandía, melón, pepino, y aunque en calabaza es menos susceptible, se pueden observar lesiones en las hojas, peciolo, tallos y frutos. En el pepino y el melón las lesiones aparecen cerca de las venas y son de color marrón claro a rojizo, las hojas se distorsionan y los centros de las lesiones se caen. En los peciolo y tallos las lesiones son más alargada y de color crema oscura, mientras que en los frutos se observan lesiones circulares, hundidas y acuosas que en tiempo lluvioso se tornan negras y se cubren con masas de esporas de color rosado. En sandía las lesiones son de color marrón a negro con márgenes irregulares y se encuentran asociadas a las nervaduras (Agrios, 2005).

En los frutos jóvenes el ataque por *Colletotrichum* spp. se presenta como manchas negras, lo que puede llevar a malformación o aborto del fruto. En chayote este hongo ha sido asociado a las guías laterales (de crecimiento horizontal) productivas provocando una necrosis, presentándose cuando se tiene alta humedad relativa; el síntoma inicial es un ligero marchitamiento de una guía, la cual si no es eliminada puede ser transmitida a las guías de plantas vecinas (Olguín, 2011). Este patógeno sobrevive en residuos de plantas infectadas, en plantas voluntarias infectadas y en la semilla de frutos infectados. Los conidios son diseminados por el viento, la lluvia, los implementos agrícolas y por los trabajadores. El tiempo lluvioso y húmedo propicia el desarrollo de esta enfermedad (Wasilwa *et al.*, 1993; Agrios, 2005).

La fusariosis, producida por *Fusarium* spp. es otra enfermedad importante reportada en cucurbitáceas, que causa la pudrición en raíz, guías basales y frutos, provocando grandes pérdidas económicas principalmente en calabaza. Puesto que *Fusarium* es un hongo que se encuentra en el suelo, las raíces son

susceptibles a ser infectadas al estar en contacto con dicho hongo, provocando así un marchitamiento en la planta (Olguín, 2011; Mehl y Epstein, 2007).

Otro patógeno identificado es *Phytophthora capsici* el cual causa la marchitez, provocando daños en toda la planta incluida la raíz. Se caracteriza por provocar manchas irregulares de coloración marrón en las hojas, lesiones húmedas tanto en los tallos como en los peciolo de las hojas provocando una marchitez. En chayote ataca principalmente la unión entre el tallo y la raíz (corona). En los frutos se pueden observar pudriciones blandas de forma circular, en donde la infección puede comenzar tanto en el pedicelo como en la parte inferior del fruto presentando una cubierta de micelio en coloración blanca, una vez infectado el fruto este se vuelve muy suave lo que provoca un desprendimiento de la planta. Para el control de *P. capsici* es necesario tener un suelo bien drenado, realizar rotación de cultivos, eliminar frutos o plantas infectadas, tener constante sanitización de herramientas de labores culturales así como el uso de fungicidas específicos (Grabowski, 2013; Tian *et al.*, 2004; Ando, 2009).

Enfermedades postcosecha. Durante la cosecha y manejo postcosecha de productos hortofrutícolas, estos se hacen susceptibles a sufrir daños mecánicos lo que facilita la entrada de patógenos afectando su calidad y vida de anaquel. Las enfermedades postcosecha de frutas y hortalizas son causadas mayoritariamente por hongos (Vallejo, 2003).

Los hongos son comúnmente miembros de la clase Ascomycetos y hongos imperfectos. Los ficomycetos están representados por el género *Rhizopus* y géneros similares y por los géneros *Phytophthora* y *Phythium* (Agrios, 2008). El propágulo que sirve para dispersar a los hongos es generalmente una espora, sin embargo, la mayoría de las partes vivas de los hongos son capaces de crecer y desarrollar enfermedades bajo condiciones favorables. Dos clases de patógenos postcosecha pueden penetrar los frutos a través de la epidermis, un grupo de hongos que provocan la pudrición traspasan la epidermis a través de heridas:

magulladuras, picaduras en el pedúnculo, cortaduras, daños causados por ramas, abrasiones y piquetes de insectos. La espora germinada crece y coloniza el tejido expuesto del fruto. El otro grupo forma apresorios, estructuras especializadas que permiten al hongo penetrar la cutícula y la epidermis. Comúnmente, estas infecciones son inicialmente quiescentes; las pudriciones no se desarrollan hasta que el fruto está casi maduro (Agrios, 2005; Knooge, 1996)

Las esporas de todos los patógenos postcosecha requieren de una humedad relativa alta o agua disponible por varias horas para germinar. Frecuentemente, la superficie de los frutos están demasiado secas para promover la germinación, pero las esporas localizadas en heridas germinan por la presencia del jugo del fruto. Las pudriciones en el pedúnculo resultan de una infección causada por la separación del pedúnculo en la cosecha (Knogge, 1996).

Un hongo penetra directamente al fruto de acuerdo a la siguiente secuencia: las esporas caen sobre el fruto, y cuando la humedad y la temperatura son adecuadas germinan en pocas horas al desarrollar un tubo germinativo. Después de que el tubo germinativo está bien desarrollado, se forma un apresorio, una estructura de paredes gruesas. El apresorio y el tubo germinativo se adhieren firmemente a la superficie del fruto por medio de un material mucilaginoso producido por el tubo germinativo. El engrosamiento de las paredes del apresorio se completa excepto por una abertura o poro en la parte inferior junto a la superficie del fruto, cubierto únicamente por la pared delgada del tubo germinativo. Se considera que se excretan enzimas a través de la abertura sobre la superficie del fruto, incluyendo enzimas cutinasas, capaces de hidrolizar la cutina que cubre la epidermis. A través del poro del apresorio, una estructura fina parecida al tubo germinativo llamada hifa de infección penetra la cutícula en el punto debilitado por la acción enzimática. La penetración es asistida, por la presión considerable ejercida por el apresorio. Después de la penetración, la hifa de infección retoma el tamaño original del micelio del hongo. Esta procede a ramificarse invadiendo el fruto. El micelio que se desarrolla excreta toxinas dentro del fruto que matan a las células.

El hongo produce enzimas extracelulares que hidrolizan los constituyentes, degradando así sustancias complejas a compuestos de bajo peso molecular que pueden penetrar a las células del hongo. Estos compuestos proveen los precursores para la síntesis de sustancias requeridas para el desarrollo del hongo, además de la energía necesaria para llevar a cabo los procesos metabólicos (Suárez, 2002; Anaya, 2003; Garcés *et al.*, 2004, Zabaleta *et al.*, 2012).

En el caso de chayote, debido a las características del fruto, es susceptible al ataque de patógenos, por ejemplo Saenz y Valverde (1988), evaluaron 11 factores de rechazo de los frutos de chayote producidos en Costa Rica, además identificaron a los patógenos causantes de problemas durante el almacenamiento (*Mycovellosiella cucurbiticola* y *Ascochyta phaseolorum*), sin embargo, mencionaron que condiciones de baja temperatura (12-14 °C) y alta humedad relativa (85 - 90 %) reducen la velocidad de deterioro causado por las enfermedades, siempre y cuando se mantenga la cadena de frío.

En México, el GISEM (2011) reportó seis organismos como los agentes causales de algunas enfermedades postcosecha en chayote, por ejemplo: ampolla (*Colletotrichum gloeosporioides*); antracnosis (*C. orbiculare*), moho púrpura-rojizo (*Fusarium oxysporum*), moho blanco (*Phytophthora capsici*); pudrición ácida (*Geotrichum sp*) y gomosis (*Didymella bryoniae*).

LITERATURA CITADA

- AGRIOS, G.N. 2008. Fitopatología 2ª edición. Ed. Limusa. México D.F. 838 p.
- AVINASH, T.S., RAVISHANKAR, R.V. 2013. Identification of diverse fungi related with selected cucurbitaceae vegetables. Journal of Agricultural Technology. 9 (7): 1837- 1848.
- BLANCARD, D., H. LECOQ, M.PITRAT.1994. Enfermedades de las cucurbitáceas. Ed. Mundi-Prensa . Madrid, España. 301p
- CRISTÓBAL, A.J., CAAMAL, E.L. TUN, S.J.M, PEREZ, G.A., LATOURNERIE, M.L. GUTIÉRREZ, A.O. 2006. Epidemiología del mildiú de las cucurbitáceas (*Pseudosperonospera cubensis* berk & curt) en materials de melón (*Cucumis melo* L.). Fitosanidad 10 (3):197-201.
- CADENA, I.J., RUIZ, P. L.M., TREJO, L.C., SANCHEZ, G.P., AGRUIRRE, M.J.F. 2001. Intercambio de gases y relaciones hídricas del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Revista Chapingo Serie horticultura 7:21:35
- CADENA, I.J. 2005. Caracterización morfoestructural, fisiológica, química y genética de diferentes tipos de chayote (chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- CADENA, I.J., ARÉVALO, G.L., AVEDAÑO, A.C.H., SOTO, H.M., RUIZ, P. L.M., SANTIAGO, O.E., ACOSTA, R.M. CISNEROS, S.V.M, AGUIRRE, M.J.F., OCHOA, M.D. 2007. Production, genetics, postharvest management and harmacological characteristics of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Fresh Produce 1(1):41-53.

- DZIB, A.L.A, BERISTÁIN, B.R., ROSETE, B.X. 1993. El cultivo del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en el municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz. CRUO Universidad Autónoma Capingo. Texcoco, México.
- FAO. 1994. Chayote, Plant Production and Protection Series No. 26. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/1492/chayote.html> (Fecha de consulta: 11 de marzo de 2012)
- GAMBOA, W. 2005. Producción agroecológica, una opción para el desarrollo del cultivo del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Universidad de Costa Rica. Primera edición. San José Costa Rica. 219pp
- GISeM. 2011. Rescatando y aprovechando los recursos fitogenéticos de Mesoamérica Vol. 2. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 24 pp.
- GONZALEZ, G. A. 1998. Evaluación de diferentes técnicas para la conservación de Chayote (*Sechium edule* Sw) en dos regiones productoras del estado de Veracruz. Tesis profesional. Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- GONZÁLEZ, M.N, MARTINEZ, C.B., INFANTE, M.D. 2010. Mildiu polvoriento en las cucurbitáceas. Revista Protección Vegetal 25(1): 44-50.
- KEINATH, A. P. 2002. Survival of *Didymella bryoniae* in buried watermelon vines in South Carolina. Plant Disease. 86:32-38
- KEINATH, A. P. 2008. Survival of *Didymella bryoniae* in infested muskmelon crowns in South Carolina. Plant Disease. 92:1223-1228
- LIRA, S.R. 1996. Chayote. *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics

and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 57pp.

OLGUIN, H.G., CISNEROS, S.V.M., ACOSTA, R.M. 2011. Hongos asociados a síntomas de enfermedades en chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) y estrategias de manejo. Agroproductividad 4(3):16-32

PÉREZ, Á.R., GARCÍA, E.R.S., CARRILLO, F.J.A, ANGULO, E.M.A., VALDEZ, T. J.B., MUY, R.M.D, GARCÍA, L.A.M., VILLAREAL, R.M.. 2010. Control de Cenicilla (*Sphaerotheca fuliginea* Schlechtend:Fr, Pollaci) con Aceites Vegetales y Sales Minerales en Pepino de Invernadero en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 28:17-24.

SAGARPA, 2008. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/snics/sinarefi/chayote.html>

SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&layout=350 (Fecha de consulta 2 mayo de 2013).

TSAI. Y.C., CHEN, J.F. 2012. First report of *Didymella bryoniae* causing gummy stem blight of chayote in Taiwan. Disease Notes 96 (10):1578

VALLEJO, P. M.R. 2003. Enfermedades del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en postcosecha. Tesis profesional. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp 18.

VALVERDE, E., SÁENZ, M.V., VARGAS, E. 1988. Estudios preliminares sobre la conservación de la fruta de chayote (*Sechium edule*) después de la cosecha. Agronomía Costarricense 13 (1):25-33.

- WASILWA, L.A., CORRELL, J.C., MORELOCK, T.E., McNEW, R.E.1993.
Reexamination of races of the cucurbit anthracnose pathogen
Colletotrichum orbiculare. Phytopathology 83:1190-1198
- ZIV, O., ZITTER, T.A. 1992. Effects of bicarbonates and film-forming polymers on
cucurbit foliar diseases. Plant disease 76:513-517.

IV. REDUCCIÓN DE LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES CON APLICACIONES PRECOSECHA

ROMERO, V.S.D¹., ARÉVALO, G.M.L¹., CADENA, I.J²., NIETO, A.D^{1,3}., TLAPAL⁴, B.B.

1. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

La incidencia de enfermedades durante la etapa postcosecha es uno de los factores que afectan con mayor frecuencia a los productos hortofrutícolas, produciendo pérdidas invaluable, sin embargo la presencia de estas pueden ser controladas en la etapa precosecha con un manejo adecuado. Los frutos de chayote la vida de anaquel se ve acortada significativamente por la presencia de hongos patógenos, reportando rechazos de embarques de exportación en frontera, provocando pérdidas económicas y de confianza al importador. Por lo anterior en este trabajo se evaluó el efecto de cinco productos aplicados en precosecha sobre la presencia e incidencia de enfermedades en chayote. Los productos fueron: silicato de calcio (Barrier[®] 0.0456 mL L⁻¹); silicato de potasio (Resistant[®] 0.068 mL L⁻¹); tebuconazole-trifloxystrobin (Consist max[®] 0.0068 mL L⁻¹); fluopyram-pyrimethanil (Luna[®] 0.0159 mL L⁻¹) y (boscalid + pyraclostrobin + *B. subtilis* (Cabrio[®] 252g kg⁻¹ + 180g kg⁻¹). Los resultados obtenidos, mostraron que a pesar de dar las condiciones óptimas para el crecimiento de patógenos tanto en humedad, temperatura y tiempo de incubación (90 % HR, 25 ± 2 °C y 15 días, respectivamente) la incidencia de enfermedades fue nula, sin embargo si se encontraron diferencias en la calidad de los frutos.

Palabras clave: Silicatos, fungicidas, hongos, vida de anaquel, calidad de fruto.

REDUCITION OF DISEASES WITH PRE-HARVEST APPLICATIONS

ROMERO, V.S.D¹., ARÉVALO, G.M.L¹., CADENA, I.J²., NIETO, A.D^{1,3}. TLAPAL⁴, B.B.

1. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

The incidence of disease during the harvest is one of the factors that most often affect the horticultural products, producing invaluable losses; however the presence of pathogens can be controlled in the pre-harvest stage with an appropriate management. The shelf-life of chayote fruits often is shortened by the presence of pathogenic fungi, reporting rejections of shipments of exportation at the border, causing economic losses and confidence from the importer. Therefore in this study evaluated the effect of five products applied in preharvest stage on the presence and incidence of disease in chayote. The products were: calcium silicate (Barrier™ 0.0456 mL L⁻¹); silicate of potassium (Resistant™ 0.068 ml L⁻¹); tebuconazole-plus (Consist max™ 0.0068 mL L⁻¹); fluopyram-pyrimethanil (Luna™ 0.0159 mL L⁻¹) and (boscalid + pyraclostrobin + *B. subtilis* (Cabrio™ 252 g kg⁻¹ 180 g kg⁻¹). The results obtained showed that despite the conditions for the growth of pathogens at optimal humidity, temperature and incubation time (90 % RH, 25 ± 2 °C and 15 days, respectively) the incidence of diseases was nil, however if there were differences in the quality of the fruits.

Key words: silicates, fungicides, fungi, shelf life, fruit quality.

INTRODUCCIÓN

El fruto de chayote posee una epidermis muy delgada presenta un alto contenido de agua y características que lo hacen susceptibles a tener una vida de anaquel limitada, y sufrir daños mecánicos desde su cosecha, teniendo como consecuencia oxidación de la piel así como el fácil acceso a microorganismos como los hongos, que pueden hospedarse en el fruto, desarrollar pudriciones y provocar pérdidas de la calidad. Debido a esto, es necesario tomar medidas preventivas antes de la cosecha del fruto y así evitar las pérdidas postcosecha. El uso de agentes químicos ha sido una práctica común en el control de hongos que causan enfermedades postcosecha, sin embargo el uso de estos compuestos se ha restringido debido a algunos componentes que provocan efectos negativos en alimentos y humanos (Tripanthi y Dubey, 2004), por otro lado se tienen numerosos reportes acerca de que debido a la aplicación intensa de estos productos se va generando una resistencia en los microorganismos patógenos.

Actualmente no se tienen compuestos químicos específicos para su uso en chayote, por lo que se ha recurrido a los utilizados para las cucurbitáceas. Por lo anterior en esta investigación se probaron diversos compuestos (químicos y orgánicos) aplicados antes de la cosecha para el control de enfermedades postcosecha.

MATERIALES Y METODOS

Localización

La aplicación de los tratamientos se realizó en huertos comerciales de chayote en el municipio de Huatusco de Chicuellar, Veracruz, ubicado en el corredor del bosque de niebla o mesófilo de montaña del centro del estado de Veracruz (19° 09' N y 96° 58' W), altura de 1344 msnm y una superficie territorial de 212.21 km². El clima es semicálido-húmedo con una temperatura promedio de 18.8 °C; y precipitación media anual de 1,763 mm (Figura 2).

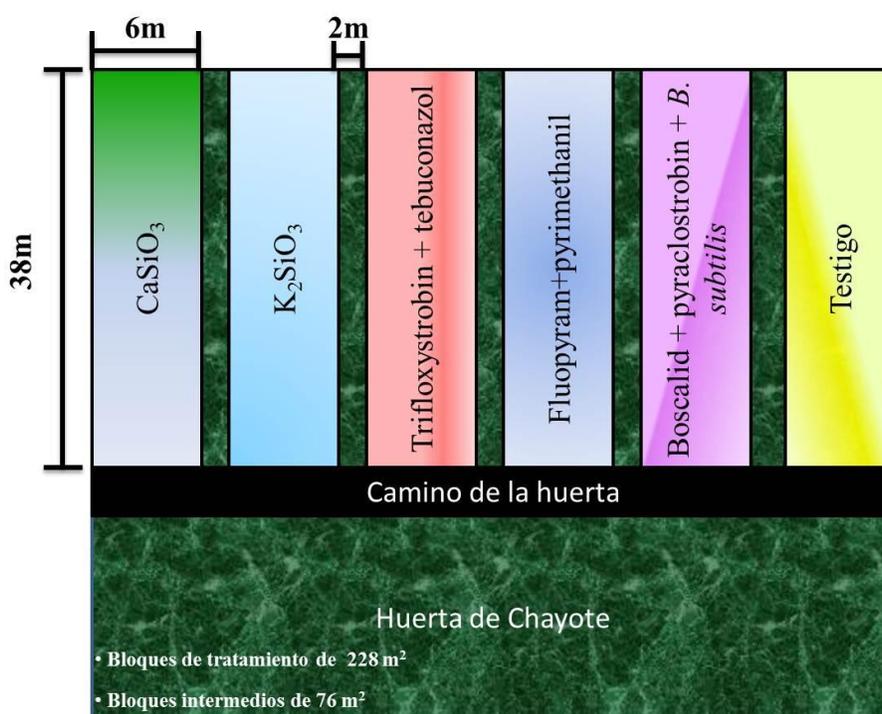


Figura 2. Distribución de tratamientos en huerta comercial de chayote.

Aplicación de tratamientos

La huerta comercial produce chayote verde liso con calidad de exportación. La densidad de plantación de 110 plantas/ha (con 10 m x 9 m de distancia entre planta y una producción de 120 ton ha⁻¹). Se seleccionaron seis bloques de 228 m² (6 m x 38 m) dejando una franja de espacio entre bloques de 76 m² (2 m x 38 m). Cada bloque se consideró un tratamiento siendo estos: T1: silicato de calcio

(Barrier® 0.0456 mL L⁻¹); T2: silicato de potasio (Resistant® 0.068 mL L⁻¹); T3: tebuconazole-trifloxystrobin (Consist max® 0.0068 mL L⁻¹); T4: fluopyram-pyrimethanil (Luna® 0.0159 mL L⁻¹) y T5: (boscalid + pyraclostrobin (Cabrio® 252g kg⁻¹+180 g kg⁻¹).

La aplicación de los tratamientos se efectuó en los meses de agosto y septiembre, periodo en donde se tiene la mayor producción de fruto. Se realizaron evaluaciones con una y dos aplicaciones en los frutos, con dos repeticiones por aplicación con intervalo de 15 días entre repetición. Los frutos que recibieron una aplicación tenían la edad de 14 días después de antesis, mientras que los que recibieron dos aplicaciones tenían 7 días después de antesis en la primera aplicación y 14 días después de antesis en la segunda (Figura 3). La aplicación de cada uno de los tratamientos se efectuó a las 10:00 am por medio de aspersión con bombas de 20 L previamente calibradas.

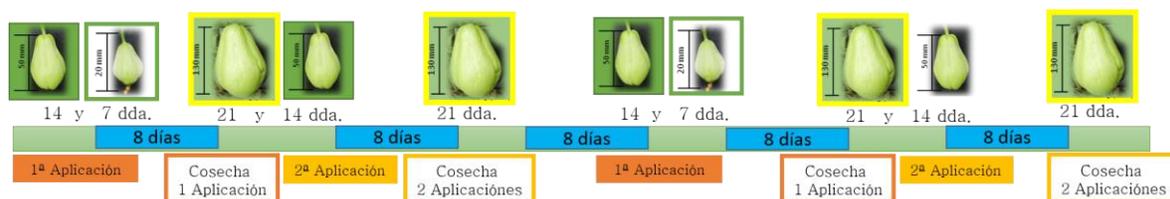


Figura 3. Periodo de aplicación de tratamientos a frutos en campo

Análisis de calidad

Los frutos se cosecharon en madurez hortícola (18 ± 2 d después de antesis) y se transportaron al laboratorio de Postcosecha del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Los frutos de chayote se encontraban sanos, libres de heridas y defectos visibles, se seleccionaron completamente al azar para cada evaluación.

En principio se elaboraron escalas de calidad para evaluar los cambios en color, viviparismo y presencia de vejiga (Figuras 4, 5 y 6) para ello se dejaron 10 frutos de chayote (en película plástica) por tratamiento en una caja de cartón a 20 ± 3 °C y 60% HR hasta que perdieran su calidad comercial.

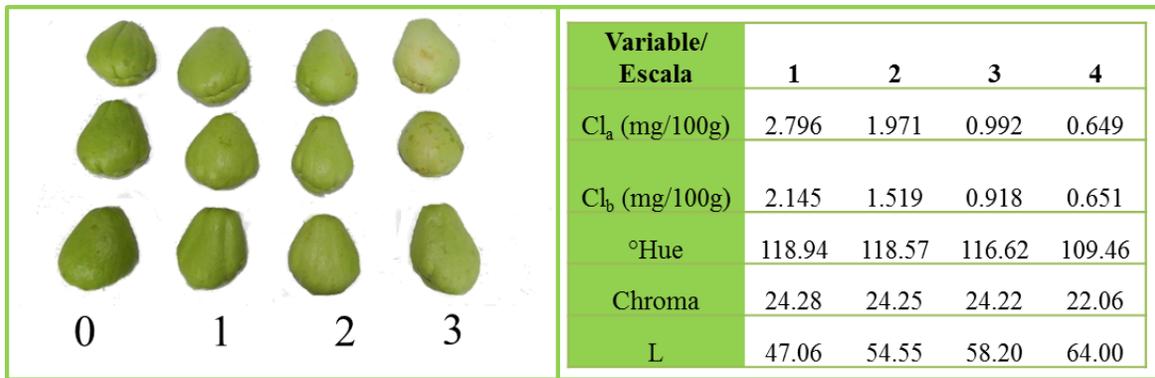


Figura 4. Clasificación de chayotes de acuerdo con el contenido de clorofilas (a y b) y color (°Hue, Chroma y Luminosidad)

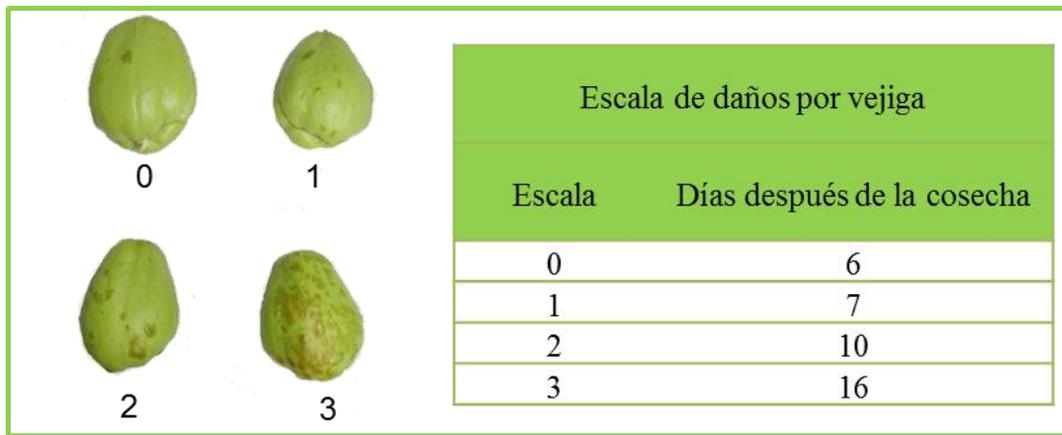


Figura 5. Clasificación de chayotes de acuerdo con la edad y presencia de vejiga

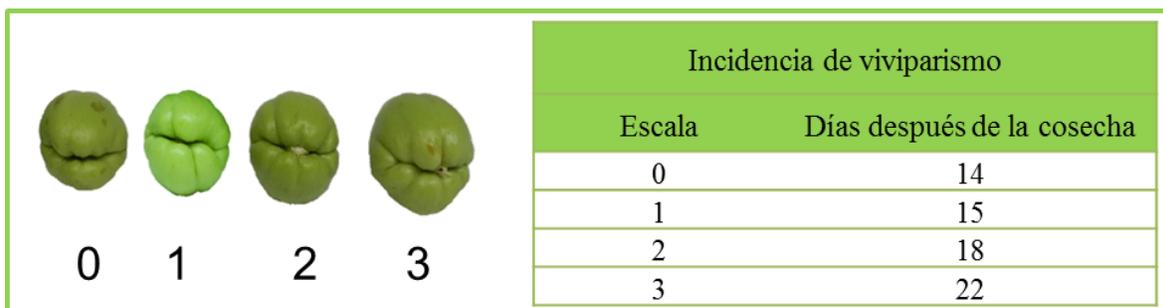


Figura 6. Clasificación de chayotes de acuerdo con la edad y presencia de viviparismo

Incidencia de Enfermedades

En los frutos cosechados, se evaluó la incidencia de enfermedades en postcosecha colocando cinco frutos por tratamiento sobre una charola que contenía papel esterilizado húmedo y se cubrió con una bolsa de plástico desinfectado, con la finalidad de simular cámaras húmedas y así dar las condiciones de humedad y temperatura óptimas (HR= 95 % y T= 20 ± 2°C) para el desarrollo y crecimiento de patógenos por un periodo de 15 días o hasta que se perdiera la calidad comercial del fruto.

Firmeza

Se realizaron dos punciones, una en cada cara de la parte ecuatorial del fruto con un texturómetro Chatillon modelo FDV-30 con puntal cónico de 0.7 cm de diámetro, obteniendo las medidas en Newtons.

Color

El color de los frutos se midió con un colorímetro Hunter Lab modelo 15062 obteniendo el ángulo de tono (°H), índice de saturación (C) y luminosidad (L), en cinco frutos por cada tratamiento.

Sólidos solubles (°Brix)

Se determinaron agregando dos gotas de jugo de chayote directamente sobre el sensor del refractómetro digital modelo PR-100, se realizaron tres repeticiones.

Pérdida de peso

La pérdida de peso se realizó durante diez días en 15 frutos por tratamiento y el porcentaje de pérdida de peso se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%PP = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Contenido de clorofila

Para cuantificar el contenido de clorofilas se utilizó la técnica descrita por Bruinsma (1961), que consiste en macerar 200 mg de tejido fresco procedente de la epidermis del fruto, con 5 mL de acetona al 80% en agua (v/v), y se dejó reposar durante por cinco días en oscuridad. Transcurrido este tiempo se procedió a contabilizar el contenido de clorofilas en un espectrofotómetro cuantificando la absorbancia a 663 y 645 nm.

La concentración (mg g^{-1}) de las clorofilas a y b se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = (12.7 \times A_{663}) - (2.7 \times A_{645})$$

$$\text{Clorofila b} = (22.9 \times A_{645}) - (4.7 \times A_{663})$$

Donde A es la absorbancia a la longitud de onda indicada.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizaron comparaciones múltiples por un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey. Se consideraron diferencias significativas a una $P \leq 0.05$, mediante el paquete estadístico SAS[®]

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de enfermedades

Durante el periodo de los 15 días que se mantuvieron los frutos en cámara húmeda no se presentó la incidencia de enfermedad que afectara al fruto sólo a partir del día 21 se presentaron síntomas de senescencia sin diferencia entre tratamientos (Figura 7).



Figura 7. Cámaras húmedas con frutos de chayote y chayote después de 15 días de almacenamiento.

Viviparismo

La germinación de la semilla es una característica de los frutos de chayote, debido a que la semilla es suave, sin periodo de dormancia y con el alto contenido de agua del fruto, la germinación se presenta tras una semana de almacenamiento, mientras que a temperatura de refrigeración puede retrasarse a tres semanas (Orea y Engleman, 1983; Valverde *et al.*, 1986). Algunos tratamientos retrasan la viviparidad, como los inhibidores de giberelinas, o de etileno (Aung *et al.*, 2004; Cadena *et al.*, 2006).

Los resultados de la aplicación de compuestos muestra que una o dos aplicaciones de CaSiO_3 así como la combinación Boscalid + pyraclostrobin + *B. subtilis* redujeron de forma consistente el porcentaje de viviparidad a los 21 días de almacenamiento (figura 8 y 9)

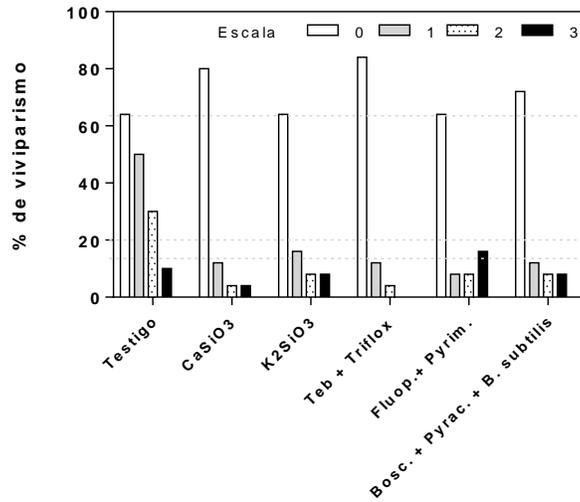


Figura 8. Porcentaje de frutos con viviparismo, en tratamientos con una aplicación precosecha, después de 21 días de almacenamiento a temperatura de 20 ± 3 °C. Los tratamientos son: Testigo (agua), Silicato de calcio (CaSiO_3 a 10.944 g i.a./L); silicato de potasio (KSiO_3 a 27.36 g i.a./L); Tebuconazole-trifloxystrobin (1.781g i.a./L); Fluopyram-pyrimethanil (5.39 g i.a./L); Boscalid + pyraclostrobin + *Bacillus subtilis* (20.49 g i.a./kg). (n= 20)

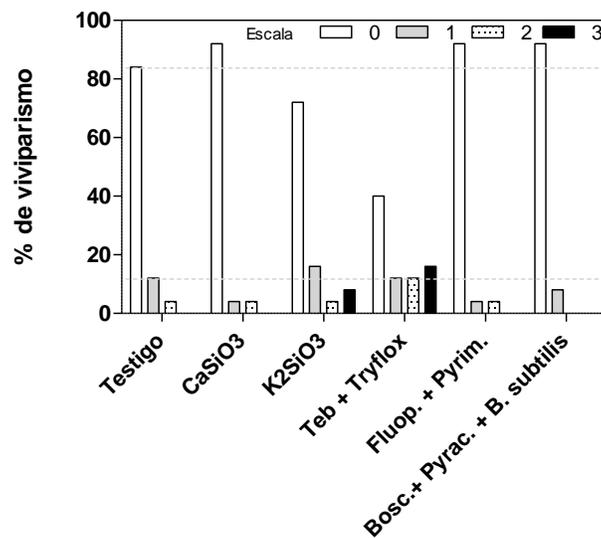


Figura 9. Porcentaje de frutos con viviparismo, en tratamientos con dos aplicaciones precosecha, después de 21 días de almacenamiento a temperatura de 20 ± 3 °C. Los tratamientos son: Testigo (agua), Silicato de calcio (CaSiO_3 a 10.944 g i.a./L); silicato de

potasio (KSiO_3 a 27.36 g i.a./L); Tebuconazole-trifloxystrobin (1.781g i.a./L); Fluopyram-pyrimethanil (5.39 g i.a./L); Boscalid + pyraclostrobin + *Bacillus subtilis* (20.49 g i.a./kg). (n= 20)

Vejiga

Durante la aplicación de los tratamientos se presentaron factores climáticos que afectaron la calidad postcosecha de los frutos induciendo la aceleración de la senescencia y reduciendo la vida de anaquel. El síntoma identificado fue la “vejiga” que son pequeñas protuberancias de aspecto acuoso, formadas sobre la superficie de la epidermis del fruto (Figura 10). En Costa Rica estos síntomas se asocian a una enfermedad conocida como “salpullido” asociada al hongo *Mycovellosiela* del orden Moniliales (Vargas, 1987), sin embargo a los frutos que presentaron estos síntomas se les realizaron cortes a dichas protuberancias y no se encontró ningún microorganismo. Más bien, dicho síntoma puede presentarse con mayor frecuencia cuando los frutos son cosechados después de presentarse lluvias frecuentes y los frutos se cosecharon muy turgentes. En este trabajo, durante la cosecha de septiembre se observó que los frutos, después de una semana de almacenamiento, presentaron ampollas y tuvieron viviparismo anticipados, en el 70 % de los frutos.

La vejiga o ampolla es un desorden que se ha atribuido al ataque de ciertos patógenos, sin embargo, es importante considerar que generalmente se presenta en frutos, que han sido cosechados poco después de que ha habido intensas lluvias. Esto hace suponer que la presión de las células de los frutos es alta, y bajo condiciones de baja humedad relativa (condiciones de comercialización), se presenta una diferencia de presión de vapor de agua (DPVA) suficiente para romper la estructura celular y generar la ampolla, posteriormente es posible que algún patógeno circundante genere daños más severos por lo cual se ha confundido este desorden fisiológico a una enfermedad.



Figura 10. Fruto con vejigas, síntoma de senescencia acelerada después de siete días de ser cosechado, presente en frutos con dos aplicaciones de productos en la segunda repetición.

Firmeza

No se presentaron en general diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con una aplicación, sin embargo como se muestra en la figura 11B, el tratamiento de silicato de calcio (2 aplicaciones) presenta mayor firmeza. Reportes anteriores muestran el efecto de la aplicación de calcio durante la precosecha, ya que actúa preservando la estructura de la pared celular ayudando así a mantener la firmeza. El calcio juega un papel fundamental que contribuye a determinar la capacidad de almacenamiento en frutas. El ion calcio contenido en la pared celular está involucrado en mantener la integridad de la pared, al asociarse con los grupos carboxilo de las cadenas de poligalacturonato, de la lámina media y en la pared celular primaria. Ahora bien la aplicación de calcio y silicio fortifica los tejidos y aumenta su vida de anaquel dando resistencia a daños

físicos ocasionados por rozamiento, manipulación, etc., por lo que esta aplicación se debe realizar desde las etapas iniciales del cultivo (De Liñan, 2013). Saborio *et al.*, (2000) realizaron aplicaciones de calcio en pre y postcosecha en papaya, concluyendo que las aplicaciones durante precosecha, contribuyeron positivamente en la firmeza del fruto.

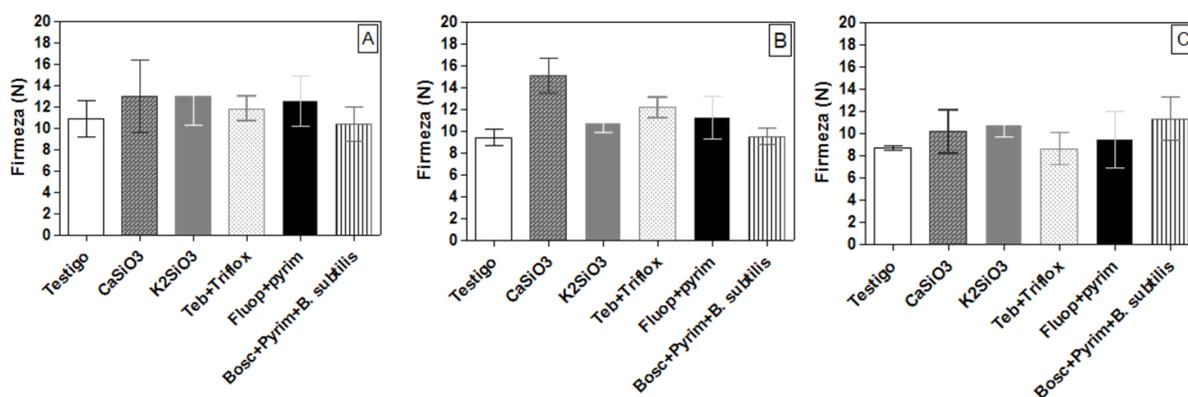


Figura 11. Firmeza inicial de frutos de chayote con A) una aplicación de productos (2 repeticiones); B) dos aplicaciones primera repetición y C) dos aplicaciones (segunda repetición) $n=6 \pm DE$.

Pérdida de peso

Las pérdidas de peso en los frutos no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con una aplicación de compuestos. Con relación al peso de los frutos, que tuvieron dos aplicaciones mostraron diferencia entre los tratamientos de silicato de potasio y el testigo con una diferencia de 47 gramos, mientras que con los frutos de los otros tratamientos, la diferencia del peso medio se ubicaba entre 13 a 20 g (Cuadro 2). En frutos arándano la aplicación de calcio en dosis de 0.06 kg m^{-2} redujeron las pérdidas de peso en un 2 % por un periodo de 21 días (Angeletti *et al.*, 2010). En el caso de una y dos aplicaciones de la cosecha tardía no existieron diferencias significativas, probablemente a que una aplicación no fue suficiente para que los frutos asimilaran los compuestos y en el caso de dos

aplicaciones de la cosecha tardía, debido a las intensas lluvias, tampoco fue posible que los tratamientos tuvieran efecto significativo.

Cuadro 2. Peso inicial y final (g) de frutos de chayote cosechados después de la aplicación de tratamientos

		P E S O (g)		
TRATAMIENTO		1 aplicacion	2 aplicaciones	2 aplicaciones'
Peso Inicial	Testigo	288.39 a ^z	247.46 b	303.56 a
	CaSiO ₃	307.77 a	281.33 ab	289.54 a
	K ₂ SiO ₃	289.33 a	297.56 a	321.8 a
	Teb+Triflox	274.2 a	283.18 ab	312.22 a
	Fluop+pyrim	299.77 a	284.50 ab	284.16 a
	Bosc+Pyrim+B. subtilis	305.77 a	251.46 b	294.02 a
Peso Final	Testigo	270.38 a	225.88 b	286.92 a
	CaSiO ₃	292.40 a	252.57 ab	275.04 a
	K ₂ SiO ₃	270.98 a	272.91 a	303.94 a
	Teb+Triflox	257.19 a	261.64 ab	293.94 a
	Fluop+pyrim	281.85 a	261.74 ab	267.94 a
	Bosc+Pyrim+B. subtilis	285.54 a	225.88 b	274.62 a

^zLetras iguales dentro de la columna indican que no hay diferencias significativas (p<0.05)

Con relación a las pérdidas de peso se puede notar en la figura 12 que los frutos con una aplicación tuvieron menores pérdidas de peso, que aquellos con dos aplicaciones en la primera y segunda repetición, siendo los tratamientos con Boscalid, los que presentaron mayores pérdidas.

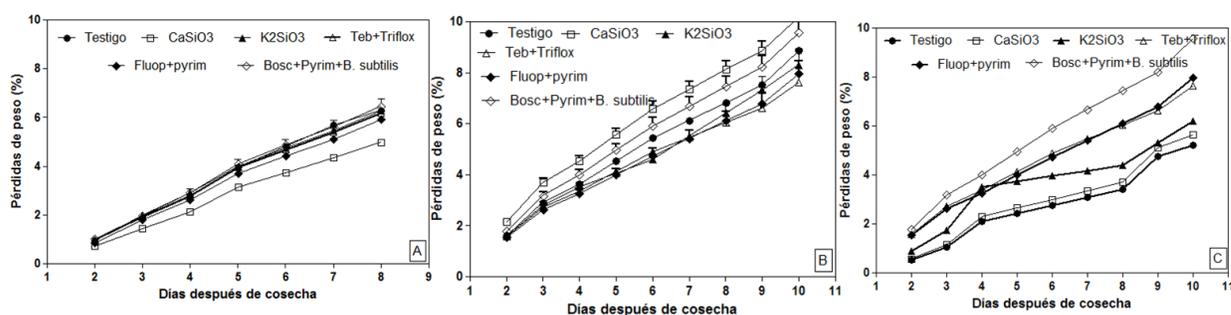


Figura 12. Pérdidas de peso de los frutos de chayote con A) una aplicación de productos (2 repeticiones); B) dos aplicaciones primera repetición y C) dos aplicaciones (segunda repetición) $n=6 \pm DE$

Sólidos solubles

Los sólidos solubles ($^{\circ}Bx$), no se vieron afectados por la aplicación de los tratamientos, tanto con una aplicación como con dos no se presentaron diferencias significativas cuyos valores fueron entre 4.37 y 4.88.

Color

El color de los frutos no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, presentando un todo verde claro brillante, con un ángulo Hue de $120^{\circ}H$ a la cosecha y $119^{\circ}H$ a los 10 días después de la cosecha, una luminosidad de $L= 50$ a la cosecha y $L=58$ a los 10 días después de la cosecha y Chorma =24 y 26 a la cosecha y 10 días después de cosecha respectivamente

CONCLUSIONES

Debido a que no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos para la incidencia de enfermedades, podemos decir que se realizan las labores culturales adecuadas para prevenir enfermedades como son las podas y limpieza de material que se encuentra en el suelo evitando así una contaminación cruzada. Por otra parte la calidad postcosecha del fruto se puede aumentar con productos como el calcio y potasio al ser estos los que presentaron un aumento en el peso del fruto. Asimismo se observó que la presencia de lluvias intensas impidió un análisis más profundo del efecto de dos aplicaciones de compuestos, sin embargo nos permitió observar que la incidencia de vejiga es prematura bajo estas

condiciones, lo que nos muestra que los productores deben ser cuidadosos en evitar cosechar los frutos poco después de presentarse lluvias pues se corre el riesgo de pudriciones y corta vida de anaquel.

LITERATURA CITADA

- ANGELETTI, P., CASTAGNASSO, H., MICELI, E., TERMINIELO, L., CONCELLÓN, A., CHAVES, A., VICENTE, R.A. 2010. Effect of preharvest calcium application on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology* 58:98-103.
- BRUINSMA, I. 1961. Acomment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. *Biochim. Biophys. Acta* 52:576-578
- CADENA-IÑIGUEZ J., ARÉVALO-GALARZA L., RUIZ-POSADAS L., AGUIRRE-MEDINA J., SOTO-HERNÁNDEZ, M., LUNA-CAVAZOS, M., ZAVALETA-MANCERA H. 2006. Quality evaluation and influence of 1-MCP on *Sechium edule* (Jacq.) Sw fruit during -postharvest. *Postharvest Biology and Technology* 40 (2) : 170-176.
- DE LIÑAN, C. 2013. *Vademécum de Agroquímicos de México 2013*. Productos fitosanitarios, nutricionales, orgánicos y otros insumos. Ed. Tecnoagrícola de México, S.A. de C.V. 5ª edición. 816 pp.
- OREA, C.D., ENGLEMAN, E.M., 1983. Anatomía de la testa de *Sechium edule*. *Revista Chapingo* 7 (3):27-30.
- SABORIO, D., SAENZ, V., ARAUZ, L.F., BERTSH, F. 2000. Efecto del calcio en aplicaciones precosecha y postcosecha sobre la severidad de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y la calidad de frutos de papaya (*Carica papaya*). *Agronomía Costarricense* 24:77-88.
- TRIPANTHI, P., DUBEY, N. 2004. Exploitation of natural products as alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 32 (3):235-245.

VALVERDE, E., SÁENZ, M.V., VARGAS, E. 1986. Estudios preliminares sobre la conservación de la fruta del chayote (*Sechium edule*) después de la cosecha. *Agronomía Costarricense* 13 (1):25-33.

VARGAS, E. 1987. La vejiga del fruto, una nueva enfermedad del chayote (*Sechium edule* L.). *Agronomía Costarricense* 12 (1):123-126.

V. CONTROL *IN VITRO* E *IN VIVO* DE HONGOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES POSTCOSECHA EN CHAYOTE (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.)

ROMERO, V.S.D¹., ARÉVALO, G.M.L¹., CADENA, I.J²., NIETO, A.D^{1,3}., TLAPAL⁴, B.B.

1. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

RESUMEN

El fruto de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) es una hortaliza de exportación de gran importancia para México y Costa Rica. El éxito comercial exige cumplir con estándares de calidad que implica frutos sanos y libres de defectos; sin embargo, debido a las condiciones de alta humedad que se desarrolla en los frutos empacados en películas plásticas, se han presentado rechazos en el mercado de exportación debido a la presencia de enfermedades fungosas. Por lo anterior el objetivo de este trabajo es probar la efectividad *in vitro* de diversos productos comerciales en inhibir el crecimiento de los hongos causantes de enfermedades. Los resultados mostraron que *Bacillus subtilis*, presentó una inhibición efectiva (0.01 mg i.a. L⁻¹) contra *Dydimella bryoniae*, *Fusarium oxysporum* y *F. solani*. Tebuconazole-trifloxystrobin fue el fungicida más efectivo contra *Dydimella bryoniae* y *Fusarium oxysporum* con una CL50 de 0.0116 y 0.0106 mg L⁻¹ respectivamente, no así contra *F. solani*, en donde Procloraz fue el fungicida más efectivo con una CL50 de 0.0042 mg L⁻¹. Asimismo se realizaron las pruebas *in vitro* e *in vivo* para *Phytophthora capsici*, que mostraron la ubiquidad de este patógeno y los riesgos que corre el cultivo de chayote si no se da un control adecuado. Estos resultados contribuyen significativamente al reconocimiento de las enfermedades fungosas más importantes en chayote y sus perspectivas de control durante el manejo postcosecha de los frutos.

IN VITRO AND IN VIVO CONTROL OF POSTHARVEST DISEASES CAUSED BY FUNGI IN CHAYOTE (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.)

1. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Calle Iturbide No. 73. C.P. 78600 Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. 3. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230. México. 4. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. México.

ABSTRACT

The fruit chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) it is a vegetable of export of great importance to Mexico and Costa Rica. The commercial success required to accomplish high quality standards that involves safe fruit and free from defects, however, due to the high humidity conditions that develops inside the plastic in which is packed, there have been several rejections from brokers due to the presence of fungal diseases. The aim of this work is to identify *in vitro* tests that show the effectiveness of various commercial products to inhibit the growth of these fungi. The results showed that *Bacillus subtilis*, had an effective inhibition (0.01 mg a.i. L⁻¹) *in vitro* tests against *Dydimella bryoniae* and *Fusarium oxysporum* and *F. solani*. Tebuconazole-trifloxystrobin was the most effective fungicide against *Dydimella bryoniae* and *Fusarium oxysporum* with an LD50 value of 0.0116 and 0.0106 mg L⁻¹ respectively, not as well against *F. solani*, where prochloraz was more effective with a LD50 value of 0.0042 mg L⁻¹. Also the tests were conducted *in vitro* and *in vivo* for *Phytophthora capsici*, which showed the role of this pathogen and high risks for the plant of chayote, if proper control in the production system fails. These results contribute significantly to the recognition of the most important fungal diseases in chayote and their prospects for control during the postharvest handling of the fruit.

Key words: *Fusarium* sp., cucurbita, fungicides, *Bacillus subtilis*, prochloraz,

INTRODUCCIÓN

La especie *Sechium edule* (Jacq.) Swartz) (Cucurbitaceae) es originaria de México y Centroamérica y su domesticación data de la época precolombina fue distribuida por los conquistadores a Europa, Asia, África, Oceanía, Antillas y América del sur. Actualmente su explotación comercial se ubica principalmente en México, y Costa Rica, sin embargo, se produce también en Brasil, Cuba, India, Taiwan y China. Dentro de la variación infraespecífica que presenta *S. edule*, el grupo varietal *virens levis* (verde liso) es el de mayor demanda, del cual México es el primer productor-exportador mundial seguido de Costa Rica (Cadena *et al.*, 2013), y representa una importante fuente de empleo local rural y generador de divisas (SIAP 2013). El fruto de chayote es una baya turgente con epidermis delgada que la hace susceptible a daños causados por roce, compresión e impacto que facilita el ataque de hongos durante la postcosecha y transporte, que ocasiona rechazo en los mercados. Una característica importante del fruto es la presencia de estomas funcionales (Cadena *et al.*, 2007) que al realizar intercambio de gases, crean un ambiente de alta humedad en la envoltura individual, facilitando la germinación de esporas e ingreso de los haustorios de los hongos durante el tránsito. Aun cuando el transporte se realiza entre 45-50 °F (7-10 °C) con 85 % de humedad relativa, existen rechazos mayores al 20 %, ya que la infección ocurre tanto por daños mecánicos como por daños por frío durante el transporte (Cadena *et al.*, 2006). Con el fin de identificar un producto que inhiba o bien reduzca la incidencia de los hongos causantes de pudriciones en frutos de chayote de exportación, se realizaron pruebas *in vitro* que muestran la efectividad de diversos fungicidas y *Bacillus subtilis* en presentación comercial en el control del crecimiento de éstos patógenos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas. Las cepas evaluadas fueron colectadas de cultivos comerciales de chayote y previamente purificadas e identificadas de acuerdo a las claves de Barnnet (1969) y molecularmente, se encontraban preservadas en aceite mineral estéril (Olguin, 2010; Romero, 2011). Previo a su utilización, fueron reactivadas e incrementadas en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) los siguientes patógenos: *Didymella bryoniae*, *Fusarium oxysporum* y *F. solani*. *Phytophthora capsici* se reactivó en medio de cultivo con jugo de tomate (V8) como medio selectivo para este patógeno.

Efectividad in vitro de fungicidas: Se probó la efectividad de tres fungicidas Tebuconazole-trifloxystrobin (Consist max[®]); Procloraz (Sportak[®]) y Difenconazol (Score[®]) así como *Bacillus subtilis* (Serenade[®]) en el crecimiento micelial de *Didymella bryoniae*, *Fusarium oxysporum* y *F. solani*. También y se probaron para el caso de *Phytophthora capsici*: Fosetil aluminio (Aliette[®]), Propamocarb (Previcure[®]) y *Bacillus subtilis* (Serenade[®]). La solución de cada fungicida se preparó en agua destilada previamente esterilizada, a partir de una solución madre (Stock) de 5000 mg L⁻¹ de ingrediente activo (i.a.) de cada producto, de la cual derivaron las diluciones de menor concentración. El medio de cultivo se esterilizó en una autoclave por 15 min a 121 °C, transcurrido el tiempo se dejó enfriar hasta los 40 °C y se añadieron las cantidades correspondientes de cada solución de los fungicidas, para obtener las concentraciones evaluadas que fueron: 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 500 y 1000 mg L⁻¹. El fungicida ya mezclado uniformemente en el medio de cultivo estéril se colocó en cajas Petri de 9 cm de diámetro, sobre las cuales ya solidificadas se colocaron discos con crecimiento micelial de 5 mm de diámetro. Se incluyó una variante con medio de cultivo sin fungicida como testigo, y cada variante se replicó 10 veces. Las cajas inoculadas se incubaron a 25 ± 2°C. El efecto inhibitorio de los fungicidas se determinó como porcentaje de inhibición del crecimiento radial del micelio (mm) en cada hongo con relación al testigo. Para el cálculo del porcentaje de inhibición de crecimiento se utilizó la fórmula de Abbot (Ciba Geygi 1981):

$$\% \text{ de Inhibición} = \frac{\text{Crecimiento colonia testigo} - \text{Crecimiento colonia concentración}}{\text{Crecimiento colonia testigo}} \times 100$$

Se determinaron los valores CL-50 y CL-95, según el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial del hongo a los 8 ± 2 días de inoculación. Las CL-50 y CL-95 se calcularon mediante el análisis Probit en el paquete estadístico SAS 9.0 System for Windows. Se utilizó la prueba de comparación múltiple entre medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$).

Pruebas de efectividad biológica in vivo sobre frutos de chayote. Para la evaluación in vivo se seleccionaron las concentraciones obtenidas como CL50 en las pruebas de efectividad *in vitro*.

Material vegetal. Los frutos de chayote se cosecharon de huertas comerciales en el municipio de Huatusco, Veracruz. Los frutos evaluados se colectaron en madurez hortícola, sin daños mecánicos o por algún microorganismo. Previo a la evaluación fueron lavados y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio al 2 %.

Inoculación y tratamientos. Los frutos de chayote desinfectados fueron inoculados por aspersión con una concentración de 1×10^{-6} UFC por cada cepa. Posteriormente se sumergieron en los tratamientos por tres minutos y fueron colocados al azar en cajas plásticas previamente desinfectadas y tapadas para mantener alta humedad y dar las condiciones óptimas para el desarrollo del patógeno. Los frutos testigo se inocularon y se sumergieron en agua destilada estéril. El crecimiento del hongo se midió hasta que en el testigo invadiera la cara frontal. La unidad experimental se representó por cada fruto, realizando 10 repeticiones por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectividad *in vitro* de *B. subtilis* y tres fungicidas

La mayor efectividad *in vitro* en todos los patógenos evaluados se presentó con *B. subtilis* con valores superiores al 50 % (Figura 13). *B. subtilis* es un agente de control biológico ampliamente utilizado y con gran efectividad sobre un gran número de patógenos postcosecha, como *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp, *Alternaria alternata*, *Botrytis* spp, *Colletotrichum* sp. *Monilinia fructicola*, *Penicillium expansum*, entre otros, dichos estudios muestran la inhibición de crecimiento micelial lo cual indica la capacidad de *Bacillus* como antagonista (Zabaleta, 2000; Cazorla et al, 2007; Villa et al, 2007; Korsten et al, 1997, Kloepper et al, 2004; Sarti y Miyazaki, 2013).

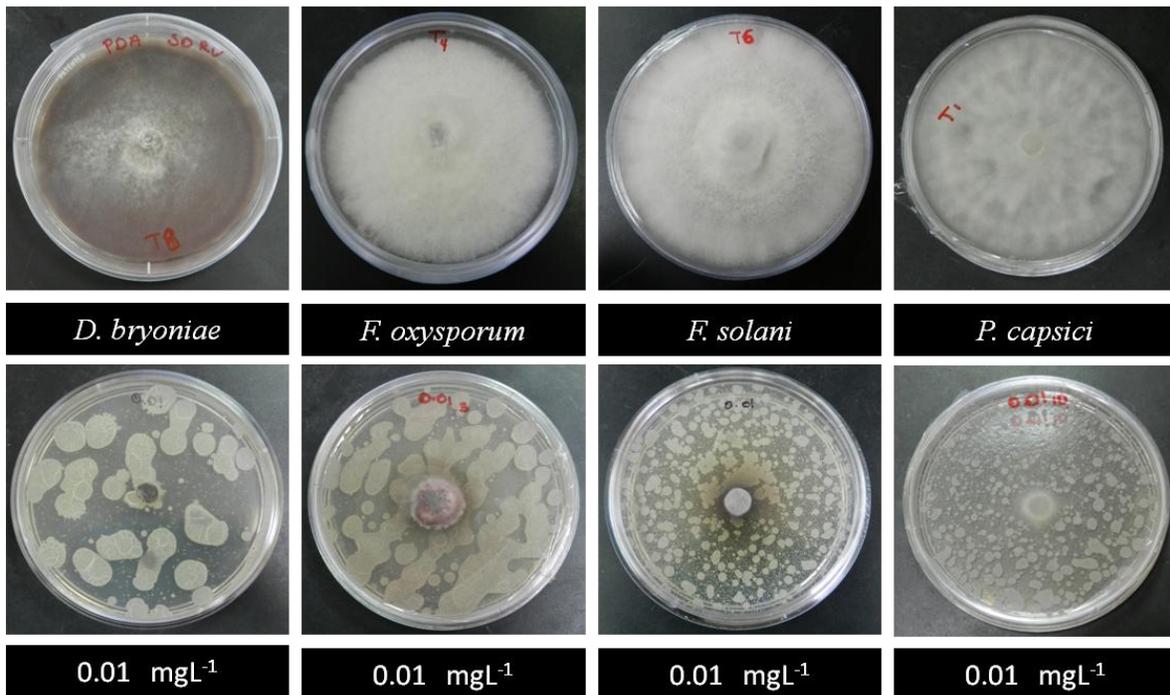


Figura 13. Efectividad de *B. subtilis* con concentración de 0.01 mg L⁻¹, comparada con el testigo de cada patógeno evaluado.

Swain *et al.* (2008) probaron la efectividad de *B. subtilis* contra *Fusarium oxysporum* un hongo patógeno postcosecha de ñame (*Dioscorea rotundata* L) y encontraron que la cepa de *B. subtilis* inhibió el crecimiento del hongo *in vitro* en medio líquido en un 49.3-56.6 % y en medio sólido al quinto día de incubación en un 31.0 %. El efecto inhibitorio de *B. subtilis* se basa en dos aspectos; por un lado, la producción de enzimas hidrolíticas como la β -glucanasa y proteasas que afectan la pared celular de los hongos fitopatógenos, y por otro la de producir diferentes polipéptidos de actividad antibiótica y antifúngica, tales como bacilomicina, iturina, bacidisina, fengimicina y micobacilina (Soda 2000, Utkhede y Sholberg 1986).

El fungicida que tuvo mejor control sobre el crecimiento de *D. bryoniae* y *Fusarium oxysporum in vitro* con una CL_{50} se logró con el tebuconazole-trifloxystrobin con 0.0116 y 0.0106 mg L⁻¹ respectivamente (Cuadro 3). Éste fungicida sistémico pertenece al grupo de los triazoles que afectan la biosíntesis del ergosterol, actuando sobre la membrana celular, afectando el crecimiento del tubo germinativo, haustorios y otros órganos de fijación de los hongos. Este fungicida sintético se ha utilizado con gran éxito en el control de *Rhizopus stolonifer* en frutos de hueso (Fôster *et al.*, 2007) (Figuras 14, 15 y 16). Estudios que se han realizado en sandía para *D. bryoniae* demuestran que tebuconazol a una concentración de 0.1 g L⁻¹ es un fungicida que inhibe el crecimiento micelial en un 100 %, lo que demuestra una alta sensibilidad del patógeno a este ingrediente activo (Santos *et al.*, 2006).

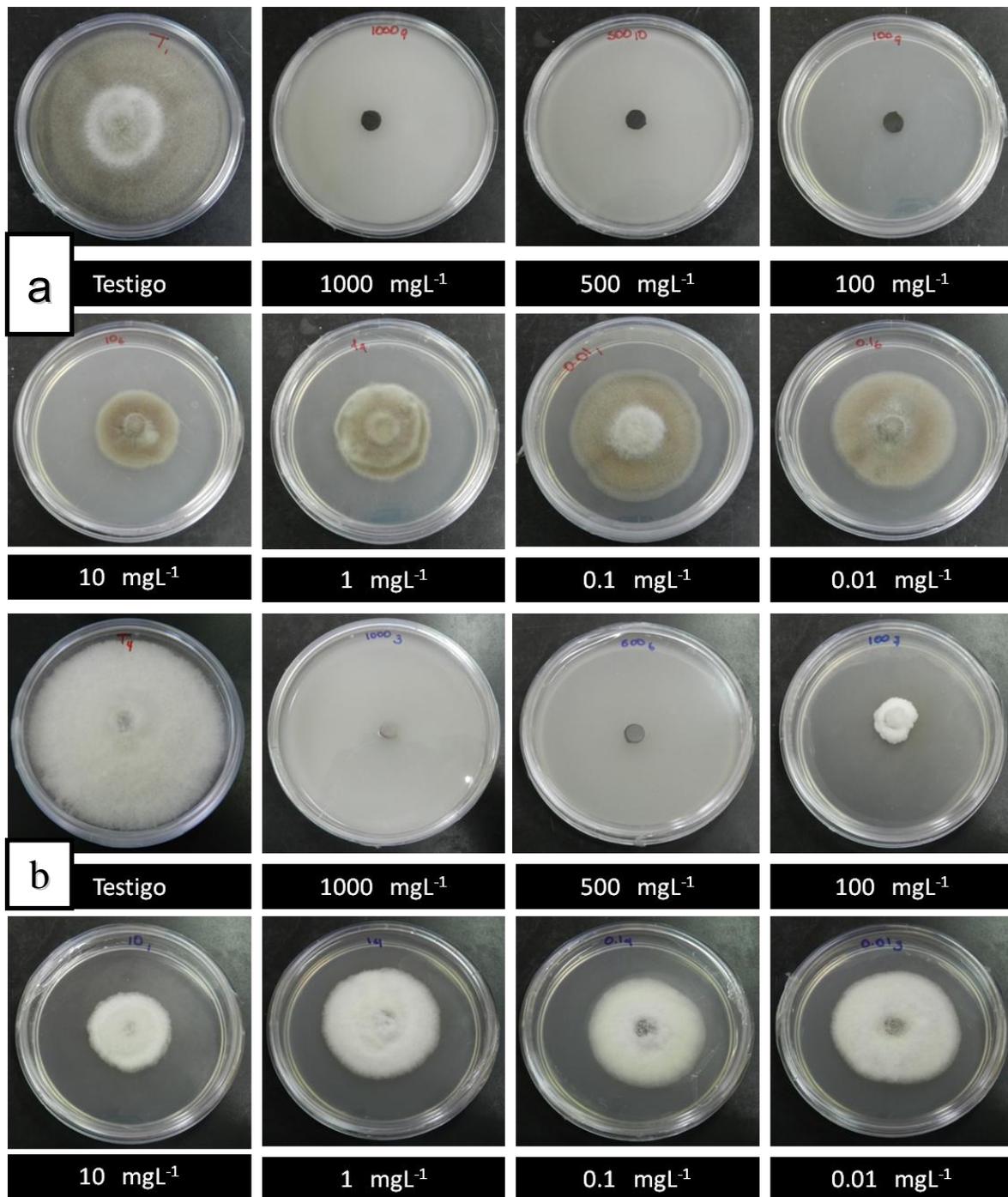


Figura 14. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de tebuconazol-trifloxystrobin en **a)** *D. bryoniae* y **b)** *F. oxysporum* a ocho días de incubación a una temperatura de 25 ± 2 °C

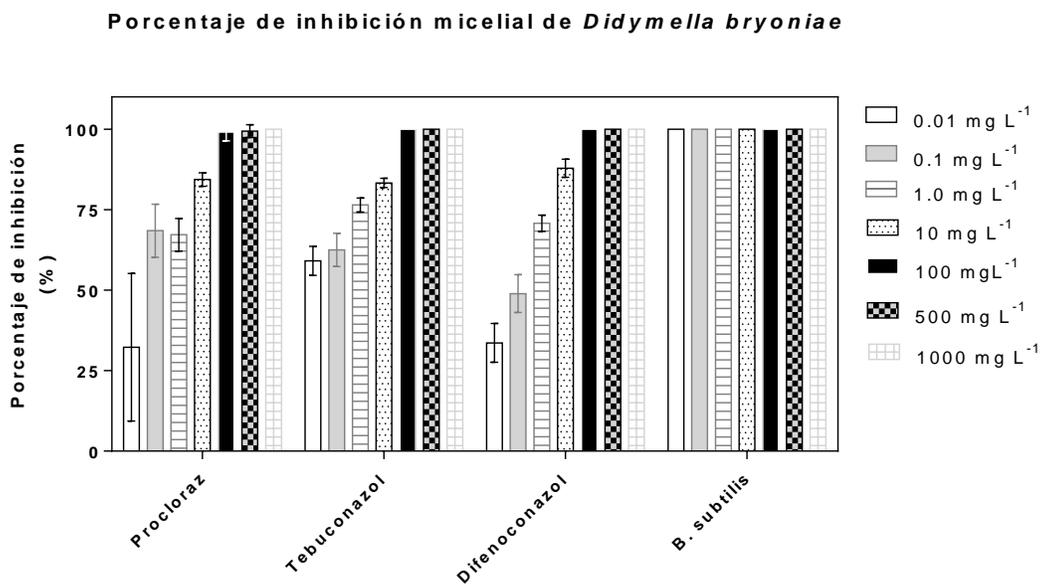


Figura 15. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de *Didymella bryoniae* con diferentes concentraciones de fungicidas y *B. subtilis*. (n=10 ± DE)

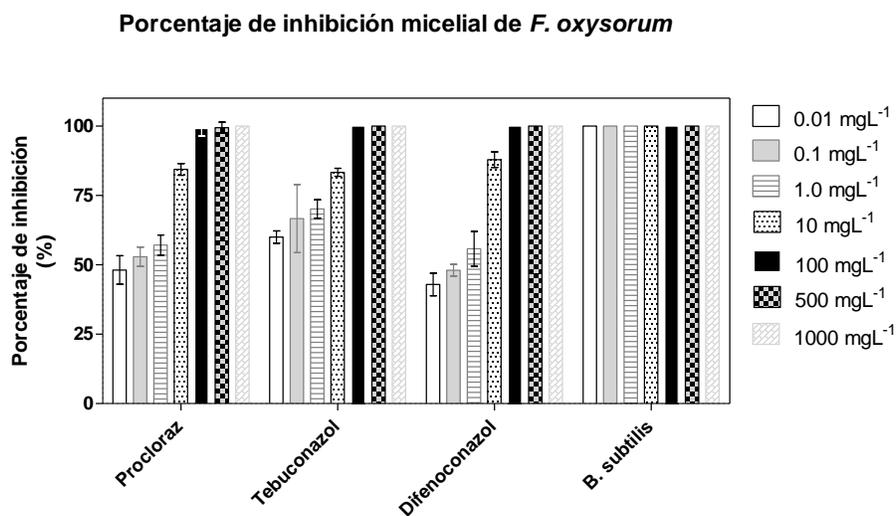


Figura 16. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de *Fusarium oxysorum* con diferentes concentraciones de fungicidas y *B. subtilis* (n=10 ± DE)

F. solani tuvo una respuesta diferente a *F. oxysporum* ya que el fungicida que resultó más efectivo en inhibir el crecimiento micelial fue procloraz (Figura 17 y 18) con una CL50 de 0.0042 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Al evaluar el control *in vitro* de *F. solani* en la campanilla (*Thevetia peruviana*) se observó que concentraciones de 450 mg L⁻¹ de procloraz resultaron en un 100 % de inhibición micelial (Herrera, et al, 2011). Este fungicida al igual que el tebuconazol y el difenoconazol, es un inhibidor de la biosíntesis de ergosterol, pero se ha utilizado en el manejo postcosecha de frutos con gran éxito pues resulta efectivo contra ciertos hongos que han desarrollado resistencia a los benzimidazoles (Johanson y Blazquez 1992).

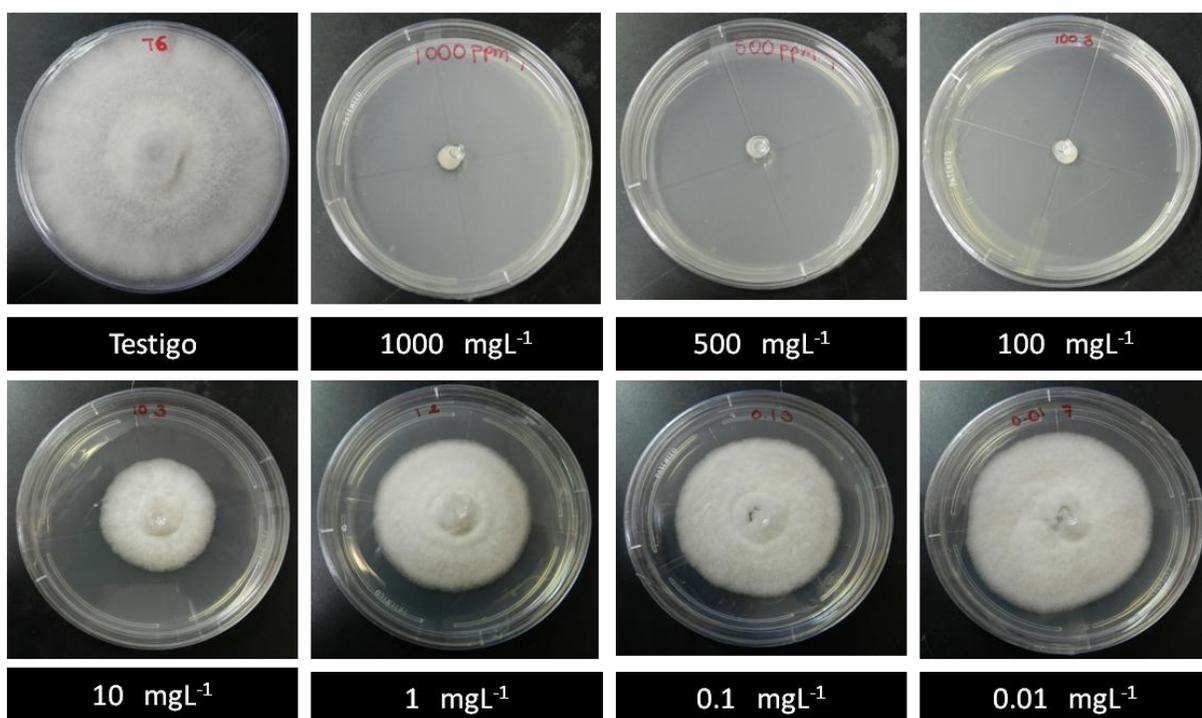


Figura 17. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de procloraz en *F. solani* a ocho días incubación a una temperatura de 25±2 °C

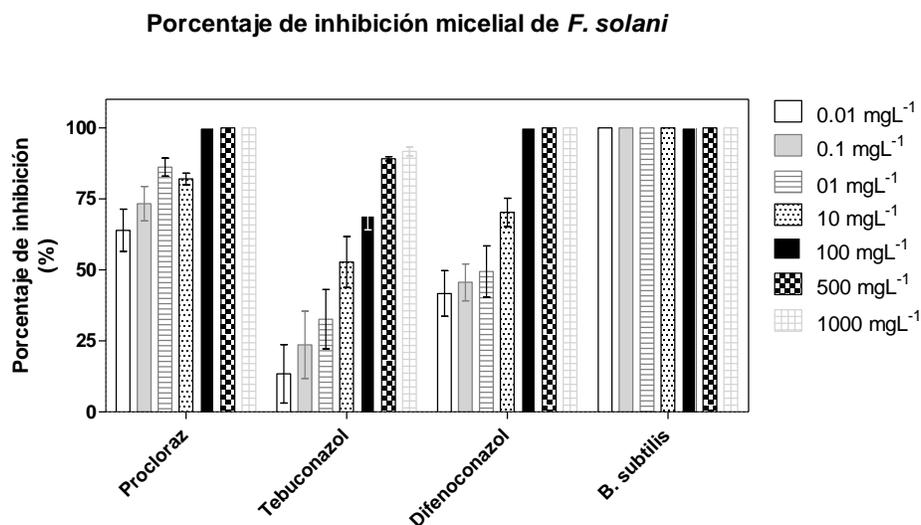


Figura 18. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de *Fusarium solani* con diferentes concentraciones de fungicidas y *B. subtilis* (n=10 ± DE)

Cuadro 3. Valores de la CL₅₀ y CL₉₅ (mg L⁻¹) de los fungicidas y *B. subtilis* para el control del crecimiento micelial de *D. bryoniae*, *Fusarium oxysporum* y *F. solani* aislados de frutos de chayote.

Patógeno	Fungicida	CL50 (mg L ⁻¹)	CL95 (mg L ⁻¹)
<i>Didymella bryoniae</i>	Procloraz	0.0688 a ^z	92.53 a
	Tebuconazole-trifloxystrobin	0.0116 b	67.07 b
	Difenoconazol	0.0848 a	38.83 c
	<i>B. subtilis</i>	0.01 c	0.01 d
<i>Fusarium oxysporum</i>	Procloraz	0.06087 b	481.2 b
	Tebuconazole-trifloxystrobin	0.0106 c	170.8 b
	Difenoconazol	0.1209 a	1445.3 a
	<i>B. subtilis</i>	0.01 c	0.01 b

<i>Fusarium solani</i>	Procloraz	0.0042 b	35.0 b
	Tebuconazole-trifloxystrobin	4.74 a	18591.0 a
	Difenoconazol	0.15 b	497.0 b
	<i>B. subtilis</i>	0.01 b	0.01 c

Valores con la misma letra en la misma columna dentro de cada patógeno son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$)

²Los valores de las CL50 y CL95 se calcularon a partir de los porcentajes de inhibición de la germinación conidial y del crecimiento micelial de los medios con fungicida comparado con la ausencia de fungicida, para ello, los porcentajes se transformaron a unidades probit, y las concentraciones, a logaritmos.

En la evaluación *in vitro* de *P. capsici*, se encontró que el mejor tratamiento fue *B. subtilis*, teniendo una efectividad del 100 % en la inhibición del crecimiento micelial (Figura 19). Zongzheng *et al.*, (2009) evaluaron la actividad antifúngica de *B. subtilis* en diversos patógenos en los cuales se incluyó a *P. parasítica*, en donde se observó un crecimiento micelial nulo posterior a la inoculación en el medio de cultivo con 2 μ L de suspensión de aproximadamente 3×10^8 UFC ml^{-1} . El segundo mejor tratamiento fue el de propamocarb al tener una efectividad del 52.03 % (Figura 20) y una CL50 de 596.8 mg L^{-1} (Cuadro 4). Hu y Hong (2007) evaluaron los efectos del propamocarb en el crecimiento micelial, la esporulación y la infección de *P. nicotianae* y encontraron valores de CL50 2,200 a 90,100 $\mu\text{g/ml}$ dosis muy superiores a las encontradas en este estudio. En este sentido propamocarb es una opción efectiva para prevenir infecciones por *P. capsici*, aunque es sistémico y se aplica en campo como preventivo. Este compuesto es absorbido por las raíces y traslocado en sentido acropétalo rápidamente. Cuando se aplica al suelo se requiere grandes cantidades de agua para que el ingrediente activo llegue a las raíces. Actúa sobre la permeabilidad de la membrana celular de los oomicetos, inhibiendo la formación de oosporas (De Liñan, 2013; Hu y Hong, 2007).

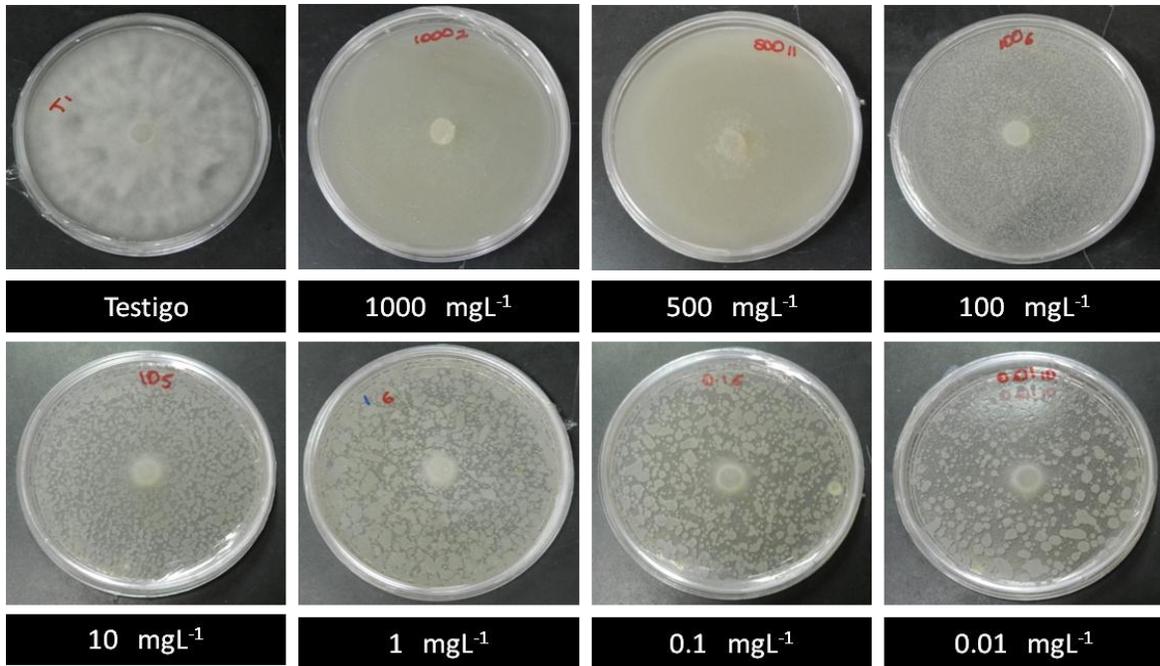


Figura 19. Inhibición de crecimiento micelial (efectividad) de *B. subtilis* en *P. capsici* a ocho días incubación a una temperatura de 25 ± 2 °C.

Porcentaje de inhibición micelial de *P. capsici*

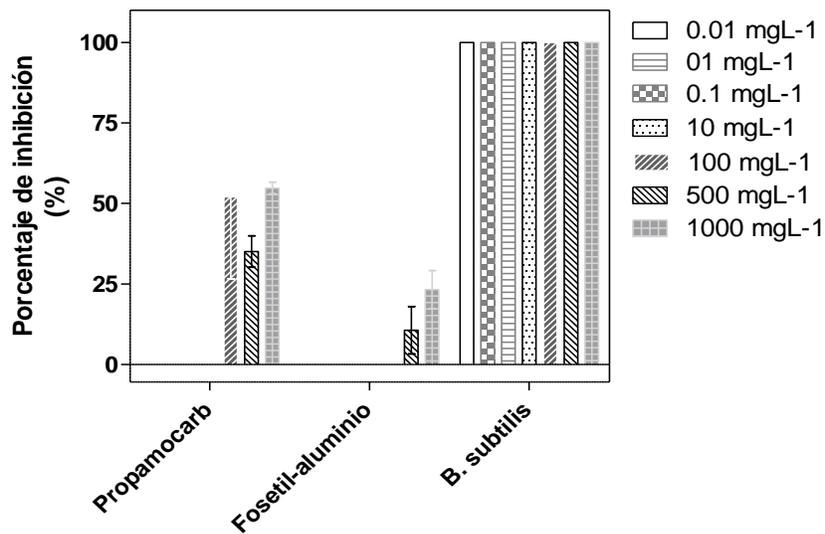


Figura 20. Porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de *Fusarium solani* *in vitro* con diferentes concentraciones de fungicidas y *B. subtilis* ($n=10 \pm DE$)

Cuadro 4. Valores de la CL₅₀ y CL₉₅ (mg L⁻¹) de los fungicidas y *B. subtilis* para el control del crecimiento micelial de *P. capsici* aislados de frutos de chayote.

Fungicidas	DL-50 (mg·L ⁻¹)	DL-95 (mg·L ⁻¹)
Propamocarb	596.8b	53943a
Fosetil- aluminio	1819.3a	1204919a
<i>B. subtilis</i>	0.01c	0.01b

De acuerdo con estos resultados, es importante destacar que los rechazos de fruto se presentan en frontera por la presencia de hongos, pues estos requieren de por lo menos seis días para desarrollarse, Dussel (2008) menciona que generalmente el tiempo que transcurre desde el embarque hasta los puntos de distribución de los productos mexicanos a Estados Unidos puede tomar más de dos semanas, a pesar de la cercanía, tiempo suficiente para la esporulación y diseminación de las esporas de los hongos en los frutos.

Pruebas de efectividad biológica *in vivo* sobre frutos de chayote.

Para *D. bryoniae*, *F. oysporum* y *F. solani*, no se obtuvieron resultados en las pruebas *in vivo*, debido probablemente a la pérdida de virulencia de las cepas.

Con relación a *P. capsici*, se observó que los tratamientos de propamocarb y fosetil- aluminio tuvieron una efectividad del 100 %, mientras que con *B. subtilis* fue del 90 % al presentarse síntomas en el uno de los frutos evaluados en comparación con el testigo (Figura 21 y 22).

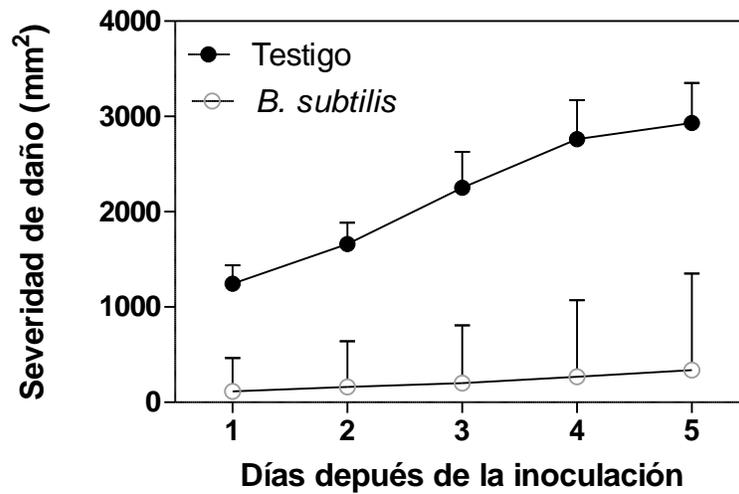


Figura 21. Severidad de daño de *P. capsici* en frutos de chayote, después de cinco días de la inoculación



Figura 22. Severidad de daño de *P. capsici* en frutos de chayote, después de cinco días de la inoculación con tratamientos a) Propamocarb; b) Fosetil-aluminio y c) *B. subtilis*.

El fosetil-aluminio contiene ácido fosforoso, que en concentraciones suficientes para inhibir el crecimiento micelial de *Phytophthora* sp., en los tejidos vegetales, tiene actividad fungicida y capacidad de traslocación ascendente por el xilema y descendente en el floema, ejerciendo su acción por dos vías, la vía directa, impidiendo la esporulación del hongo, y la indirecta que se realiza por estimulación

de las defensas naturales de la planta, sintetizando sustancias de naturaleza fenólica (fitoalexinas), las cuales se aglomeran formando una cubierta protectora contra el hongo (De Liñan, 2013). Tuset, (2011) comprobó que la aplicación preventiva de fosetil-aluminio en cítricos inhibe el crecimiento de *P. citrophthora* mientras que la aplicación después de la inoculación tuvo una efectividad del 89 %, por lo que recomienda el uso del Fosetil-Al, como un tratamiento preventivo para oomicetos.

CONCLUSIONES

La inoculación con *Bacillus subtilis* al medio de crecimiento de los hongos mostró la efectividad de este organismo de control biológico contra los *Dydimella bryoniae* y *Fusarium oxysporum*, mientras que el fungicida tebuconazole-trifloxystrobin presentó una CL50 de 0.0116 y 0.0106 mg L⁻¹ respectivamente, para el control de *F. solani*, el fungicida procloraz fue el más efectivo. Estos resultados contribuyen significativamente al reconocimiento de las enfermedades fungosas más importantes en chayote y perspectivas de control.

En el caso de Phytophthora, se puede concluir que el uso de los tratamientos empleados en este estudio debe ser de una manera preventiva, y así disminuir o inhibir el crecimiento del patógeno.

CONCLUSIONES GENERALES

En el cultivo de chayote los tratamientos precosecha son una práctica efectiva para el control de enfermedades postcosecha además de practicar labores culturales como son las podas y una frecuente y adecuada limpieza de los suelos, así evitando tener una contaminación cruzada.

Por otra parte la aplicación de productos como el calcio y el potasio en precosecha, aumentan la calidad en el fruto en cuanto a tamaño y disminuye el porcentaje de pérdida de peso además de retardar la senescencia en los frutos y como consecuencia a una vida de anaquel prolongada sin afectar sus cualidades organolépticas.

Debido a que no se tienen productos químicos específicos para el cultivo de chayote, se pueden utilizar organismos antagónicos como *B. subtilis* que en las pruebas de efectividad in vitro resultó ser el mejor tratamiento, además en las evaluaciones in vivo tuvo efectividad de más del 50% contra *P. capsici*, siendo este microorganismo un patógeno muy agresivo para el cultivo. Sin embargo se recomienda nuevamente aislar los patógenos que perdieron virulencia y determinar la efectividad del producto contra estos y comprobar que puede ser *B. subtilis* un producto para disminuir o en su caso inhibir el crecimiento de dichos microorganismos.

LITERATURA CITADA

- BARNETT H. I., B B, HUNTER. 1986. Illustrated genera of imperfect fungi. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. 218 p.
- CADENA-IÑIGUEZ J.; ARÉVALO-GALARZA L.; AVENDAÑO-ARRAZATE C.H.; SOTO-HERNÁNDEZ M.; RUIZ-POSADAS L.M.; SANTIAGO-OSORIO E.; ACOSTA-RAMOS M.; CISNEROS-SOLANO V.M.; AGUIRRE-MEDINA J.F. AND OCHOA-MARTÍNEZ D. 2007. Production, Genetics, Postharvest Management and Pharmacological Characteristics of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Fresh Produce, Global Science Books 1:41-52.
- CADENA-IÑIGUEZ J., ARÉVALO-GALARZA L., RUIZ-POSADAS L., AGUIRRE-MEDINA J., SOTO-HERNÁNDEZ, M., LUNA-CAVAZOS, M., ZAVALETA-MANCERA H. 2006. Quality evaluation and influence of 1-MCP on *Sechium edule* (Jacq.) Sw fruit during -postharvest. *Postharvest Biology and Technology* 40(2): 170-176.
- CADENA-IÑIGUEZ J., AVENDAÑO-ARRAZATE C.H., CISNEROS-SOLANO V.M., ARÉVALO-GALARZA M.L., AGUIRRE-MEDINA J.F. 2013. Modelo de Mejoramiento genético participativo en chayote (*Sechium* sp). Biblioteca del Colegio de Postgraduados. ISBN:978-607-715-182-1
- CIBA G. Manual de ensayos de campo en producción vegetal, 2a ed., Basilea, Suiza, 1981.
- CAZORLA, F.M., ROMERO, D. PÉREZ, G.A., LUGTENBERG, B.J.J., DE VICENTE, A. BLOEMBERG, G. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from the avocado rhizoplane displaying biocontrol activity. *J. Applied Microbiology* 103:1950-1959.

- DE LIÑAN, C. 2013. Vademécum de Agroquímicos de México 2013. Productos fitosanitarios, nutricionales, orgánicos y otros insumos. Ed. Tecnoagícola de México, S.A. de C.V. 5ª edición. 816 pp.
- DUSSEL E.P. 2008. Los costos de transporte en las exportaciones mexicanas. Vicepresidencia de Sectores y Conocimiento Sector de Integración y Comercio.49p
(<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1802667>).
- FÖRSTER H., DRIEVER G.F., THOMPSON D.C., ADASKAVEG, J.E. 2007. Postharvest decay management for stone fruit crops in California using the "reduced-risk" fungicides fludioxonil and fenhexamid. *Plant Disease* 91:209–215.
- HERRERA-PARRA E., BACAB-PEREZ I.M., ALEJO J.C., TUN-SUAREZ J.M., RUIZ-SANCHEZ, E. 2011. Patogenicidad de *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. y *Alternaria alternata* (Fries) Keissler en *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. y su control *in vitro*. *Fitosanidad* 15 (4): 231-236.
- HU, J., HONG, C. 2006. Effects of propamocarp hydrochloride on micelial growth, sporulation, and infection by *Phytophthora nicotianae* isolates from Virginia nurseries. *Plant Dis.* 91:414-420.
- JOHANSON A., BLAZQUEZ B. 1992. Fungi associated with banana crown rot on fieldpacked fruit from the Windward Islands and assessment of their sensitivity to the fungicides thiabendazole, prochloraz and imazalil. *Crop Protection* 11:79-83.
- KLOEPPER, J.W., RYU, C.M., ZHANG, S..2004 Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus spp.* *Phytopathology* 94:1259-1266.

- KORSTEN, L., DE VILLIERS, E.E., WEHNER, F.C., KOTZÉ, J.M. 1997. Field sprays of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of preharvest fruit diseases of avocado in South Africa. *Plant Dis.* 81:455-459.
- OLGUÍN, H. G, VALDOVINOS, P. G, CADENA I.J, ARÉVALO G.M.L. 2013. Etiología de la Marchitez de Plantas de Chayote (*Sechium edule*) en el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31 (2): 161-169
- SARTI, G.C., MIYASAKI, S.S.. 2013. Actividad antifúngica de extractos crudos de *Bacillus subtilis* contra fitopatógenos de soja (*Glycine max*) y su efecto de coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum*. *Agrociencia* 47:373-383
- SANTOS, G.R.. CAFÉ-FILHO, A.. REIS, A. 2006. Resistencia de *Dydimella bryoniae* a fungicidas no Brasil. *Fitopatología Brasileira* 31:467-482.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&layout=350 (Fecha de consulta 2 mayo de 2013).
- SODA M. 2000. Bacterial control of plant diseases. *J. Biosci. Bioeng.* 89:515–521
- SWAIN M.R., RAY R.C., NAUTIYAL C.S. 2008. Biocontrol efficacy of *Bacillus subtilis* strains isolated from cow dung against postharvest yam (*Dioscorea rotundata* L.) pathogens. *Curr. Microbiol* 57 (5): 407-411.
- TUSET, J.I., LAPEÑA, I., GARCÍA, M.J.M.. 2003. Efecto fungitóxico del ácido fosforoso en naranjo dulce a la infección con zoosporas de *Phytophthora citrophthora*. *Bol. San. Veg. Plagas* 29:413-420
- UTKHEDE R. S., SHOLBERG, P. L. 1986. *In vitro* inhibition of plant pathogens by *Bacillus subtilis* and *Enterobacter aerogenes* and in vivo control of two

postharvest cherry diseases. Canadian Journal of Microbiology, 32(12): 963-967.

VILLA, P., ALFONSO, I. RIVERO, M.J., GONZÁLEZ, G.. 2007. Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* bioantagonistas de hongos fitopatógenos del género *Fusarium* ICDCA. Sobre los derivados de caña de azúcar 1(50):52-56.

ZONGZHENG, Y., XIN, L., ZHONG, L., JINZHAO, P., JIN, Q., WENYAN, Y. 2009. Effect of *Bacillus subtilis* SY1 on antifungal activity and plant growth. Int. J. Agric & Biol. Eng. 2 (4): 55-61.

ZABALETA, M.E. 2000. Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas. Terra 17 (3): 201-207