

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIOFUMIGANTE DE ISOTIOCIANATOS
DE *Brassicaceae* EN PLANTAS DE TOMATE INFECTADAS CON *Fusarium* spp.

Tesis

Que presenta BERTA FELISA CIVIETA BERMEJO
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA


Saltillo, Coahuila

Septiembre 2021

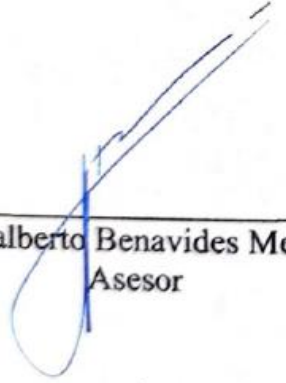
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIOFUMIGANTE DE ISOTIOCIANATOS
DE *Brassicaceae* EN PLANTAS DE TOMATE INFECTADAS CON *Fusarium* spp.

Tesis


Elaborada por BERTA FELISA CIVIETA BERMEJO como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría




Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal



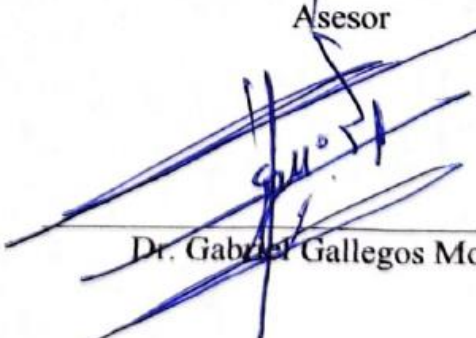
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor



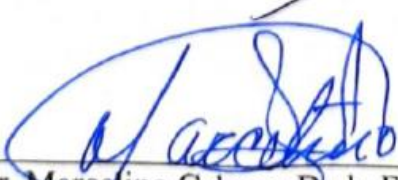
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor



Dra. Susana González Morales
Asesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas para lograr una formación profesional sólida.

Además, quiero agradecer a mis tutores, por enseñarme y darme puntos diferentes de vista, ayudándome a crecer personal y académicamente.

Y por último a las trabajadoras de postgrado, especialmente a la Dra. Rosa María y a Lupita porque sin ellas no habría podido ingresar al doctorado en un inicio. Y por supuesto a Cony por acompañarme durante el proceso.

Dedicatoria

Primero de todo quiero dedicarle esta tesis y todo mi doctorado a mi familia, por ser siempre mi ancla, y el pilar que me mantiene incluso con la distancia. Es un orgullo formar parte de vosotros, os quiero mucho.

A mis hermanas y prima por darme tiempo, comprensión, y su apoyo incondicional siempre que lo he necesitado.

A Gema, mi compañera de viaje desde que el doctorado comenzó, hasta el fin de este. Gracias por creer en mí y tenerme la paciencia que ni yo me tenía.

También me gustaría dedicar este logro a los amigos que me han acompañado en este viaje: a Blanca y Alejandro por no dejarme caer cuando más vulnerable estaba. A Martha, Kelvin, Toño y Raquel por apoyarnos y hacernos compañía durante los 6 semestres.

Y a toda esa gente que no me puedo poner a escribir, pero que están en mi mente y en mi corazón.

Índice

Carta de aceptación artículo 1	vi
Carta de aceptación artículo 2	vii
Introducción	p. 1
Revisión de literatura	p. 3
Primer artículo	p. 7
Segundo artículo	p. 22
Conclusión general	p. 41
Referencias	p. 42

Cartas de Aceptación de los Artículos



Chapingo, Estado de México, 06 de mayo de 2021
Referencia: 2229-21

Dr. Alberto Sandoval-Rangel
Profesor-investigador
Universidad Autónoma
Agraria Antonio Narro
Presente

Por medio de la presente se hace constar que el artículo titulado: '**Residuos de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) para control de *Fusarium* spp. en el cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicon* Mill) de los autores(as): Berta F. Civieta-Bermejo, Marcelino Cabrera-De la Fuente, Susana González-Morales, Adalberto-Benavides Mendoza y Alberto Sandoval-Rangel, fue aceptado para ser publicado en el Vol. Esp. (27) 2021 de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.**

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

JSAPHPWpRZ6Xw+VhUygg==EN0Xly6BuNKYvviTqOM3FD5IFPo=

Dra. Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Editora en Jefa de la Revista
Mexicana de Ciencias Agrícolas


VoBo
Dr. Armando Robledo

ccp. *archivo
DMSJ/dmsj

Carta de recepción segundo artículo

[agrociencia] Acuse de recibo del envío



Said Infante Gil <said@colpos.mx>
22:58



Para: Berta Felisa Civieta Bermejo

Berta Felisa Civieta Bermejo:

Gracias por enviar el manuscrito "PRUEBAS DE EFECTIVIDAD DE SUBPRODUCTOS DE BRÓCOLI PARA CONTROL DE Fusarium EN TOMATE" a Agrociencia. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/authorDashboard/submission/2475>
Nombre de usuario/a: 19berta90

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su investigación.

Said Infante Gil

{JournalName}

<http://localhost/ojsagro/index.php/agrociencia>



INTRODUCCIÓN

El cultivo de hortalizas en suelo conlleva dificultades, que pueden terminar en problemas graves tanto en el ámbito económico como en el ambiental. El cultivo en suelo es susceptible a los problemas abióticos comunes, y a los problemas bióticos derivados de la presencia de todos los parásitos, enfermedades y plagas que puedan habitar en él.

En el caso del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), que se cultiva en su mayoría en suelo, los patógenos pueden afectar considerablemente la producción. Uno de los principales patógenos que afectan a este cultivo, y que supone grandes pérdidas, es *Fusarium* spp. Este hongo filamentoso, se caracteriza por producir la enfermedad denominada fusariosis en las plantas a las que infecta. Esta consiste en una marchitez vascular, que se extiende desde las raíces, lugar por el que el hongo penetra en la planta, subiendo por los haces vasculares. Los síntomas de las plantas que lo sufren son similares para todas las variantes de *Fusarium*, dependiendo de la severidad de la infestación es el grado de los síntomas que se muestran. Los primeros síntomas que se pueden observar son el amarillamiento de las hojas basales, estas empiezan a mostrar falta de turgencia y a marchitarse. Cuando esto ocurre previo a la madurez, el amarillamiento de las hojas se traduce en un menor desarrollo de los frutos y el crecimiento de la planta en general.

Tradicionalmente se hace frente a estos problemas de patógenos utilizando productos químicos que con el paso del tiempo van creando resistencia, además de que hay que aumentar la dosis de aplicación, incrementando el coste económico y aumentando las implicaciones ambientales, ya que a la larga el resultado de estas aplicaciones es un suelo estéril y degradado, en el que ya no se puede cultivar. Por eso, es necesario buscar alternativas viables para hacer frente a estos patógenos de suelo, de una manera amigable con el medio ambiente, y con costes asequibles y asumibles por los productores.

Este trabajo pretende demostrar que una posible alternativa para enfrentar el problema causado por los patógenos, enfermedades y plagas en los cultivos en suelo, puede ser el biocontrol, el cual consiste en aplicar diferentes técnicas que involucran la rotación de cultivos, aplicación de productos ecológicos para la reducción de poblaciones de patógenos, la aplicación de microorganismos beneficiosos, la utilización de variedades con resistencia o tolerancia, mejora de la nutrición y por tanto la salud de la planta. En

este trabajo se explica detalladamente en que consiste el biocontrol, además de mostrar el funcionamiento de dos subproductos realizados a partir de *Brassica oleracea* var. *capitata* L. para demostrar efectividad para el biocontrol de *Fusarium*.

Aunque con la aplicación del biocontrol, debería ser suficiente, hay que pensar que no todos los agricultores tienen la capacidad de realizar rotaciones de cultivo, es por ello que se idearon esos 2 subproductos, de manera que se pudieran obtener gran parte de los resultados de la rotación, pero sin necesidad de llevarla a cabo, es decir, evitando los costes de la producción, cosecha etc.

Entre los beneficios que se obtienen al utilizar estos subproductos, podemos encontrar:

- *Mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo.* Esto ocurre gracias a que estos subproductos son en base a materia orgánica, no se aplica en cantidades como un abonado, pero de igual manera va a mejorar la estructura del suelo, con ello evitando apelmazamiento, mejorando aireación y lixiviación, ayudando a que se desarrolle mejor la vida meso y microbiana. Y además ayudará con la nutrición vegetal, gracias a su alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- *Biofumigación.* Estos subproductos contienen compuestos con capacidad biofumigante llamados isotiocianatos, estos se encuentran mayoritariamente en especies de la familia de las *Brassicaceae*. Estos son liberados conforme la microbiota va degradando los subproductos, y de esta manera pueden cumplir con su función biocida.

Por todo lo anterior, se plantea este trabajo como una búsqueda de una alternativa factible para los productores y sin los inconvenientes que causan a la larga los fungicidas químicos.

Los objetivos que se plantean son: Optimizar el uso de isotiocianatos para manejar eficientemente los patógenos de suelo y evaluar la capacidad biofumigante de los subproductos de la col en el control de *Fusarium* spp. A través de estos se pretende encontrar solución a la hipótesis de este trabajo, que es, que la utilización de los subproductos tiene un efecto sobre la infestación de plantas de tomate con *Fusarium* spp., y que dependiendo del subproducto que se utilice, este efecto será diferente.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las plantas son la principal fuente de alimentos en el mundo, y gracias a su diversidad, son objetivo de bacterias, hongos, parásitos y virus, que pueden afectar a los niveles de nutrientes, al reciclaje de estos y por tanto a la calidad de nuestra comida (Wall *et al.*, 2010; Wall *et al.*, 2015).

El ataque de hongos patógenos es uno de los factores más importantes que causan pérdidas para la industria mundial de productos hortícolas.

Después de la papa, el tomate es el segundo cultivo más importante a nivel mundial. Actualmente, las pérdidas causadas por *Fusarium* spp. se producen tanto en campo abierto como bajo invernadero, y son el principal factor limitante en la producción de tomate (McGovern, 2015).

Entre los hongos más relevantes podemos encontrar al complejo de especies *Fusarium oxysporum*, también conocido como FOOSC (por sus siglas en inglés), que consiste en una multitud de cepas que atacan a cultivos de importancia económica a lo largo del mundo entero, provocándoles la marchitez vascular (Gordon, 2017; Eder-Hermann & Lecomte, 2019). Su alcance es tan diverso que podemos encontrarlos en cultivos de campo (algodón, soja), cultivos de mercado (cebolla, tomate), en algunos cultivos ornamentales (Gerbera, orquídeas), entre otros (Eder-Hermann & Lecomte, 2019).

Este género está compuesto por un grupo de hongos filamentosos que se encuentran presentes tanto en suelos como en plantas (Tapia & Amaro, 2014). Las cepas patógenas de *F. oxysporum* pueden provocar 2 tipos de síntomas, uno es el más común, llamado marchitamiento vascular, y el otro es la pudrición, dándose este con menor frecuencia. Cuando *Fusarium* causa el marchitamiento vascular, lo hace al penetrar por las raíces, y llegar a los vasos xilemáticos, colonizando hacia arriba, causando amarillamiento e incluso marchitamiento de una parte de la planta o incluso de la planta completa (Gordon, 2017).

Existe una gran presión sobre la agricultura para la producción de alimentos suficientes para abastecer a la humanidad, y es por eso que durante décadas ha habido un exceso de utilización de los productos agroquímicos y sus respectivos residuos. A causa de que los métodos de acción no son especie-específico, se han generado una serie de inconvenientes, que no solo dañan al medio ambiente, sino también a la salud humana (Aktar *et al.*, 2009; Gilden *et al.*, 2010; Nicolopoulou-Stamati *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017).

Como contraparte a estos excesos de agroquímicos, surge una técnica que consiste en la aplicación de materia orgánica (incluyendo productos en descomposición y residuos agrarios) al suelo o sustrato para el control de patógenos de origen edáfico. Existe una amplia diversidad de productos orgánicos que se han probado para el control de patógenos de suelo, con diferentes mecanismos de control. Las diversas modalidades que aplican este principio han sido englobadas bajo la denominación de "biofumigación" (Kirkegaard *et al.*, 1993).

La rotación tiene varios beneficios, como son: romper la dominancia de las malas hierbas, y los ciclos de vida de patógenos y herbívoros hospederos específicos; mejorar la estructura del suelo por el desarrollo de un sistema radicular diferente, reduciendo la compactación; mejorar la calidad del suelo gracias a los residuos, aumentando la materia orgánica; reducir erosión del suelo; evitar contaminación de agua del subsuelo; promover la biodiversidad (Dias *et al.*, 2015; Venter *et al.*, 2016). Pero también tiene ciertas desventajas o inconvenientes que en ocasiones es lo que mueve al agricultor a no utilizar este sistema, como es: dejar de producir el cultivo al que están acostumbrados y tener que aprender a manejar otro.

La biofumigación es la práctica de usar químicos volátiles liberados del material vegetal en descomposición para suprimir los patógenos del suelo, los insectos y las semillas de malezas en germinación (Karavina & Mandumbu, 2012). La incorporación de estos restos orgánicos se puede complementar con el sellado del suelo o sustrato mediante una película plástica, para provocar la concentración de los gases desprendidos durante la descomposición de estos. Esta técnica es de bajo coste, y de fácil aplicación, lo que permite que sea de gran interés tanto para países desarrollados como para países en vías de desarrollo, además de presentar una acción selectiva, favoreciendo a los antagonistas y disminuyendo los niveles de las poblaciones de patógenos (Bagwan, 2011).

Cualquier familia podría ser utilizada para este fin, el único requisito que debe cumplir es contener al menos una molécula o compuesto que actúe como fumigante. Una de estas moléculas puede ser los isotiocianatos (ITCs). Estos metabolitos no se encuentran en las plantas, sino que lo que se encuentra son sus predecesores, los glucosinolatos (GS). Los GS son inertes, hablando biológicamente, y por el contrario son los ITC son los que tienen importantes efectos ecológicos, principalmente como antimicóticos, aunque también tienen propiedades antimicrobianas, aleloquímicas e insecticidas, que

pueden contribuir y contribuyen a los mecanismos de defensa de las plantas (Pongrac *et al.*, 2013).

Los glucosinolatos se localizan en la vacuola de las células, y al producirse un daño tisular se encuentran con una enzima llamada mirosinasa, que en condiciones normales va a estar en la pared celular y en el citoplasma. Este encuentro produce la rotura del glucosinolato, perdiendo su parte glucídica, convirtiéndose en un compuesto inestable, que se conoce por su nombre genérico de aglicona. Esta aglicona, debido a su inestabilidad, en un periodo breve de tiempo pasará a tiocianatos, isotiocianatos, nitrilos y epinitrilos (Fahey *et al.*, 2001; Andréasson & Jørgensen, 2003).

Los ITCs disminuyen la cantidad de patógeno, como vieron en un experimento en 2013, donde midieron la cantidad de patógeno como densidad de inóculo, y vieron que esta se mantuvo en los mismos niveles o incluso inferior al utilizar los ITCs con respecto a los tratamientos testigo. Es más, pasados 2 años, se observó que las densidades del inóculo disminuyeron a un 58% respecto a los valores iniciales (Jurado Bello *et al.*, 2013).

De hecho, hay estudios que demuestran su capacidad inhibidora de bacterias, levaduras, hongos, insectos y nematodos (Hashem & Wahba, 2000; Troncoso-Rojas *et al.*, 2005; Tiznado-Hernández & Troncoso-Rojas, 2006; García *et al.*, 2012; Bautista-Baños *et al.*, 2013; Palou *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2018).

Gracias a la materia orgánica que se adiciona al biofumigar (por ser restos vegetales), se suministran nutrientes para que los microorganismos y demás biota que resulta neutra o incluso beneficiosa para nuestro cultivo pueda crecer y aumentar su biomasa, incluso su riqueza, manteniendo la productividad del cultivo (Tsiadouli *et al.*, 2015; Wall *et al.*, 2015), además de actuar como atrayentes para especialistas adaptados a los GS (Pongrac *et al.*, 2013).

Los principales compuestos utilizados como biofumigantes son los isotiocianatos. Principalmente se utilizan especies del género Brassica, pero estos pueden encontrarse en 16 familias diferentes: *Bataceae*, *Brassicaceae*, *Bretschneideraceae*, *Capparaceae*, *Caricaceae*, *Euphorbiaceae*, *Gyrostemonaceae*, *Limnanthaceae*, *Moringaceae*, *Pentadiplandraceae*, *Phytolaccaceae*, *Pittosporaceae*, *Resedaceae*, *Salvadoraceae*, *Tovariaceae*, *Tropaeolaceae* (Bautista-Baños *et al.*, 2013; Fahey *et al.*, 2001).

Smith *et al.*, en 2004, vieron como que al utilizar restos de Brassica se producía una disminución de poblaciones de patógenos. Mientras que Hansen & Keinath en 2013, encontraron un aumento significativo en la producción de pimientos.

En lo que se refiere a producción de cultivo, a lo largo de los años, se observa mayor producción en cultivos con fertilización inorgánica que con la orgánica, pero sin ser esta diferencia significativa (Boček *et al.*, 2008; Murmu *et al.*, 2013; Bilalis *et al.*, 2018).

Una bioeconomía eficiente busca principalmente el uso de los recursos biológicos, aumentando el valor agregado de estos y minimizando el consumo del origen, no solo fabricar productos a partir de estos recursos biológicos (Klitzkou *et al.*, 2019), es decir, promueve una bioeconomía circular (CBE). Esta genera beneficios ambientales y económicos (Chiranjeevi *et al.*, 2018), ya que la recuperación de desechos de origen biológico previene la contaminación y puede llegar a promover la valorización potencial (Salvador *et al.*, 2020).

Con todo lo anterior queda justificado el uso de métodos alternativos, como puede ser el biocontrol en el control de patógenos de suelo, como lo es *F. oxysporum*. Además, como también se vio, esa búsqueda puede estar centrada en el uso de biofumigantes, para así facilitar y propiciar su uso por parte de productores a lo largo del mundo entero.

PRIMER ARTÍCULO

**Residuos de repollo (*Brassica oleracea* L. var Capitata) para biocontrol
de *Fusarium* en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.)**

Residuos de repollo (*Brassica oleracea* var *capitata* L.) para biocontrol de *Fusarium* spp. en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.)

Resumen

Uno de los principales problemas fitosanitarios en la producción de tomate o jitomate (*Solanum lycopersicon* Mill.) donde se utiliza el suelo como medio de cultivo es *Fusarium* spp., el control químico es el método frecuentemente utilizado para su manejo; con impactos económicos y ambientales importantes. Los objetivos del presente estudio fueron: Evaluar el repollo como cultivo de rotación y la incorporación de los residuos al suelo sobre la incidencia de la marchitez permanente en plantas de tomate e incidencia de *Fusarium* spp. en el suelo, y evaluar la supresión de *Fusarium* spp. en el suelo mediante la aplicación de subproductos de hojas y tallos de repollo.

El trabajo se realizó en dos etapas: en la primera se documentó la evolución de *Fusarium* spp. un cultivo comercial de tomate, establecido bajo condiciones de malla antiáfidos y repollo como cultivo de rotación, durante el periodo del 2012 al 2019. En la segunda etapa, se evaluó un extracto acuoso y un polvo deshidratado, obtenidos de hojas y tallos residuales de repollo. Los resultados muestran que el repollo utilizado como cultivo de rotación y la incorporación al suelo de las hojas y tallos residuales, redujeron la incidencia de marchitez permanente en el cultivo de tomate y suprimieron eficazmente *Fusarium* spp. Así mismo, el polvo deshidratado obtenido de estos residuos, mostró un efecto similar sobre el control de *Fusarium* spp., al obtenido en los tratamientos con metilditiocarbamato de sodio.

Palabras clave: Biofumigación, Fusariosis, Incidencia.

Introducción

En la producción de tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.), utilizando suelo como medio de cultivo, uno de los principales problemas fitosanitarios es la marchitez vascular o fusariosis causada por hongos del género *Fusarium* spp. (Ma *et al.*, 2013). La incidencia y severidad de la enfermedad se incrementa cuando el cultivo se desarrolla en invernadero o mallas, debido al monocultivo y la intensidad de la explotación. Para el control de esta enfermedad, lo más común es la aplicación al suelo de fumigantes y fungicidas químicos, como es el metil ditiocarbamato de sodio, comercialmente llamado: Metam, Busan, Fumisol, Nemasol, Raisan.

Estos productos han permitido mantener la producción de este cultivo, sin embargo, provocan un importante impacto tanto económico como ambiental. El impacto económico oscila entre los 7,000 a 40,000 pesos por hectárea, dependiendo de la cantidad aplicada, normalmente las recomendaciones inician con 125 L ha⁻¹ y van aumentando hasta llegar a los 800 L ha⁻¹, además del incremento de fungicidas y acciones adicionales, como tapetes sanitarios y eliminación de plantas enfermas para reducir la diseminación del patógeno, una vez que está establecido el cultivo (Carmona y Sautua, 2017). El impacto ambiental se debe a una disminución importante de la microbiota nativa del suelo, y el posterior incremento de las poblaciones de patógenos, que comienzan con daños a algunas plantas y posteriormente se expanden, hasta cubrir regiones completas (Abdel-Monaim *et al.*, 2011).

Por otro lado, cada vez es mayor la demanda de alimentos inocuos producidos sin el uso de agroquímicos o con el menor uso de ellos (Bryła, 2016; Gottschalk y Leistner, 2012). Todo esto ha llevado a buscar alternativas para el manejo de enfermedades mediante un control más compatible con el medio ambiente, más inocuos y viables (Ram *et al.*, 2018; Zavaleta-Mejía, 1998).

Una alternativa al control químico de esta enfermedad, podría ser el uso de sustancias naturales con propiedades antagonistas a patógenos especialmente del suelo. Las crucíferas son un claro ejemplo de esto, debido a que poseen propiedades antimicrobianas, relacionada con el alto contenido de compuestos azufrados en sus tejidos denominados glucosinolatos (Brown y Morra, 2005; Rodríguez *et al.*, 2013), además de la enzima glucohidrolasa tioglucosido, llamada mirosinasa (Morra y Kirkegaard, 2002), esta enzima hidroliza a los glucosinolatos transformándolos en una aglicona inestable, que posteriormente sufre modificaciones para dar lugar a compuestos volátiles tóxicos como sulfidrilos, nitrilos, tiocianatos, isotiocianatos, entre otros. Cada especie de crucífera tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Brown y Morra, 2005; Campas-Baypoli *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2013; Rosa, 1997), los cuales se mantienen inclusive en residuos deshidratados (Lazzeri y Dallavalle, 2004) .

La eficacia de los residuos de diferentes plantas del género *Brassica* incorporados al suelo para la supresión de *Fusarium* spp., ha sido documentada en campo (Campanella *et al.*, 2020; Gilardi *et al.*, 2016; Prasad y Kumar, 2017). El uso de esta alternativa implica usar las plantas de crucíferas, como cultivo de rotación, lo cual se dificulta en el sistema de agricultura protegida, por la poca disponibilidad de tiempo, por ello, se

propone evaluar otras opciones, especialmente extractos líquidos y deshidratados obtenidos de hojas y tallos residuales de repollo, como alternativa al control químico y a quienes no puedan o no deseen utilizar cultivos de rotación para el manejo de *Fusarium* spp. Basado en lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: Evaluar el efecto del uso de repollo como cultivo de rotación y la incorporación de los residuos al suelo, en la incidencia de la marchitez permanente en plantas de tomate y en las poblaciones de *Fusarium* spp, en el suelo y evaluar la supresión de la marchitez permanente en plantas de tomate e incidencia de *Fusarium* spp. en el suelo mediante la aplicación de subproductos de hojas y tallos de repollo.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos etapas;

Primera Etapa: Evaluación del repollo como cultivo de rotación y la incorporación de los residuos al suelo sobre la incidencia de la marchitez permanente en plantas de tomate e incidencia de *Fusarium* spp. en el suelo, El experimento se condujo por siete años (2012-2019), en una plantación de tomate tipo saladette F1 (de crecimiento indeterminado), plantado en suelo desnudo, en una superficie de 6.0 ha., cubierta con malla antiáfidos, ubicada en el Rancho Poca Luz 1, en San Cristóbal, municipio de Catorce, San Luis Potosí, México. Los ciclos de producción de tomate fueron de abril a septiembre y el repollo (cultivo de rotación) de octubre a febrero. En el mes de febrero de cosecho el repollo, las hojas extendidas y tallos se incorporaron al suelo como residuos de cosecha.

A las plantas con marchitez permanente, se les aplicaron fungicidas (tiabendazol, carbendazim, tiofanato metílico) directamente al cuello de la planta, solo para contener la diseminación del patógeno. Previo al inicio de cada ciclo de producción de tomate, se estimó la población de *Fusarium* en suelo, en un laboratorio certificado (CIFEF, 2018), del 2011 al 2016, se realizó una muestra para toda la superficie y del 2017 al 2019 se realizaron cuatro muestreos. Se evaluó la incidencia de fusariosis en plantas y se verificó por el CIFEF. De 2012 al 2016 solo se realizó un registro de plantas con marchitez y/o muertas en toda la superficie al final del ciclo de producción, mientras que del 2017 al 2019, se muestrearon plantas con marchitez en la misma superficie, pero dividida en cuatro secciones. Los datos de estos muestreos, se usaron para el análisis de incidencia de *Fusarium* spp.

Segunda etapa: Consistió en evaluar la supresión de *Fusarium* spp. en el suelo mediante la aplicación de subproductos de hojas y tallos de repollo. Se realizó en

las instalaciones del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Para la obtención de *polvo deshidratado*, se colectaron hojas y tallos del cultivo de repollo (70-30 p/p), al terminar la cosecha de repollo, la planta se cortó de la base del tallo, y ambos tejidos se expusieron directamente al sol hasta registrar un peso constante (aproximadamente 8 días), luego se molieron en un molino manual y se cribaron usando una malla de 3 mm. El *Extracto acuoso*: Se obtuvo de hojas y tallos frescos, los tejidos se licuaron en una licuadora doméstica, por tres min a 23 °C, a razón de 200 g de hojas y tallos frescos por 100 ml de agua destilada, después se filtró usando papel filtro estándar, con un tamaño de poro de 10µm, el filtrado se conservó en un matraz en refrigeración a 4° C hasta su uso. Adicionalmente, en esta prueba se agregó un tratamiento con hojas y tallos segmentados, similar a la obtenida en la plantación comercial. Para lo cual se utilizaron hojas y tallos frescos que fueron troceados aun tamaño de 10 cm, con un cuchillo de acero inoxidable.

Los tratamientos evaluados en esta etapa se describen en el cuadro 1. Cada tratamiento consistió de 24 macetas de polietileno de 10 L (repeticiones) con suelo infestado y cada maceta contenía una planta.

Cuadro 1. Tratamientos a base del extracto acuoso y el polvo deshidratado de hojas y tallos residuales de repollo, evaluados en la supresión de *Fusarium* spp. Plantas de tomate.

Número	Descripción del tratamiento
T1	Suelo esterilizado (testigo absoluto)
T2	Suelo infestado con <i>Fusarium</i> spp.
T3	Suelo infestado + Metil ditiocarbamato de sodio * (1cm ³ L ⁻¹ de agua)
T4	Suelo infestado + Segmentos de repollo fresco (150 g maceta ⁻¹)
T5	Suelo infestado + Extracto acuoso de repollo (210 cm ³ maceta ⁻¹)
T6	Suelo infestado + Polvo deshidratado de repollo (15 g maceta ⁻¹)

* Producto comercial Busan 1020. (Metam sodio al 33%). Summit Agro, México

Para la aplicación de los tratamientos con polvo deshidratado y segmentos (trozos) de repollo, previamente se llenaron las macetas con suelo infestado hasta la mitad, luego se adicionaron los tratamientos y se cubrieron con suelo hasta llenarse: Para los

tratamientos del extracto acuoso y el metil ditiocarbamato de sodio (MDTCNa) se aplicaron en el agua de riego. El MDTCNa, se aplicó 21 días antes del trasplante, para el resto de los tratamientos el trasplante se realizó inmediatamente después de su aplicación. Para la esterilización del suelo se utilizó una autoclave Yamato SQ810C. En esta etapa se evaluó: **incidencia**, medida como plantas con síntomas de fusariosis (marchitez permanente y/o plantas muertas), adicionalmente al final del cultivo se tomó un disco de la base del tallo, este disco se desinfectó en la parte exterior para evitar contaminación con otros microorganismos, posteriormente se seccionaron en cuatro partes, para exponer la parte interior del tallo, y se puso en un medio de cultivo PDA, a las 72 h se revisaron los crecimientos, para verificar la presencia de *Fusarium* spp. Para estimar **productividad y calidad del tomate**, se contó número y peso de frutos en cada corte y para calidad se determinó el peso promedio de los frutos. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) ($p \geq 0.05$ y 0.01) bajo un diseño de bloques al azar y una prueba de separación de medias Tukey ($p \geq 0.05$), (Zar, 2010), utilizando el software Statistica versión 7.0.

Resultados y Discusión

Primera etapa experimental: evaluación del repollo como cultivo de rotación y la incorporación de los residuos al suelo sobre la incidencia de la marchitez permanente en plantas de tomate e incidencia de *Fusarium* spp. en el suelo.

Población de *Fusarium* en el suelo

Con base en los análisis de suelo al inicio de cada ciclo de tomate, se identificaron las especies de *F. oxysporum* y *F. solani* (CIFEF, 2018), y de manera general se observó una tendencia a la baja de ambas poblaciones de *Fusarium* en el suelo, al usar repollo como cultivo de rotación y la incorporación de los tallos y hojas residuales al suelo. Así mismo, de manera general, la mayor reducción se observó en los primeros dos ciclos de producción, y a partir del tercer ciclo la población se mantuvo en valores medios de 1000 ufc kg^{-1} (Figura 1).

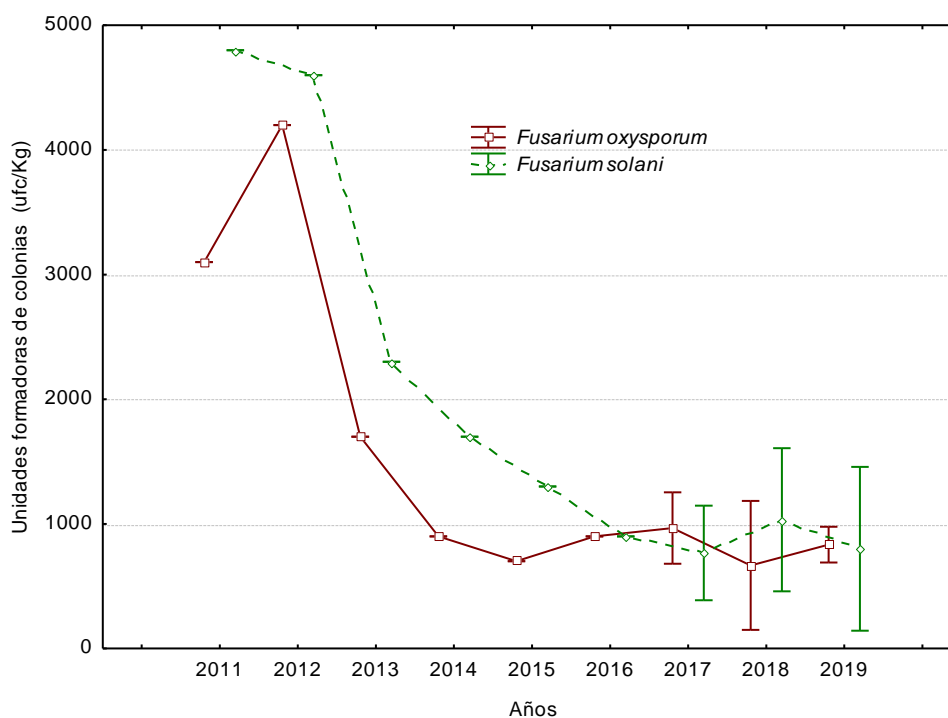


Figura 1. Dinámica poblacional de *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani* en el suelo, utilizado para el cultivo de tomate y repollo como cultivo de rotación.

La disminución de las poblaciones de *F. oxysporum* y *F. solani* parece estar relacionada, por un lado, al uso del repollo como cultivo de rotación, lo cual limita la disponibilidad de alimento, aprovechando la especificidad documentada de estas especies de *Fusarium* hacia las solanáceas y no así para crucíferas (Fahey, 2001; Gil, 1972), siendo la disponibilidad de alimento la principal condición para el crecimiento de las poblaciones de cualquier organismo (Bell *et al.*, 1991). Por otra parte, las poblaciones de *Fusarium* pudieron verse afectadas por los productos derivados de la descomposición de las hojas y los tallos de repollo incorporados al suelo como residuos o esquilmos, debido a que los glucosinolatos y la mirosinasa al entrar en contacto derivan en una serie de compuestos como; sulfhidrilos, nitrilos, tiocianatos e isotiocianatos, estos últimos con capacidad biofumigante o biocida contra hongos del suelo incluido *Fusarium* spp. (Fahey *et al.*, 2001; Lazzeri *et al.*, 2004; Morra y Kirkegaard, 2002; Pérez, 2014).

Incidencia de *Fusarium* spp.

La incidencia inicial de plantas con marchitez permanente o muertas fue de 11.3%. Después de la primera rotación con repollo y la incorporación de los residuos, este

valor disminuyó significativamente hasta un 6.8 %. En los ciclos subsecuentes esta incidencia fue variable, pero con una tendencia a la baja. Durante los ciclos de 2017 a 2019, la incidencia se mantuvo más estable y por debajo cercana al 4% (Figura 2).

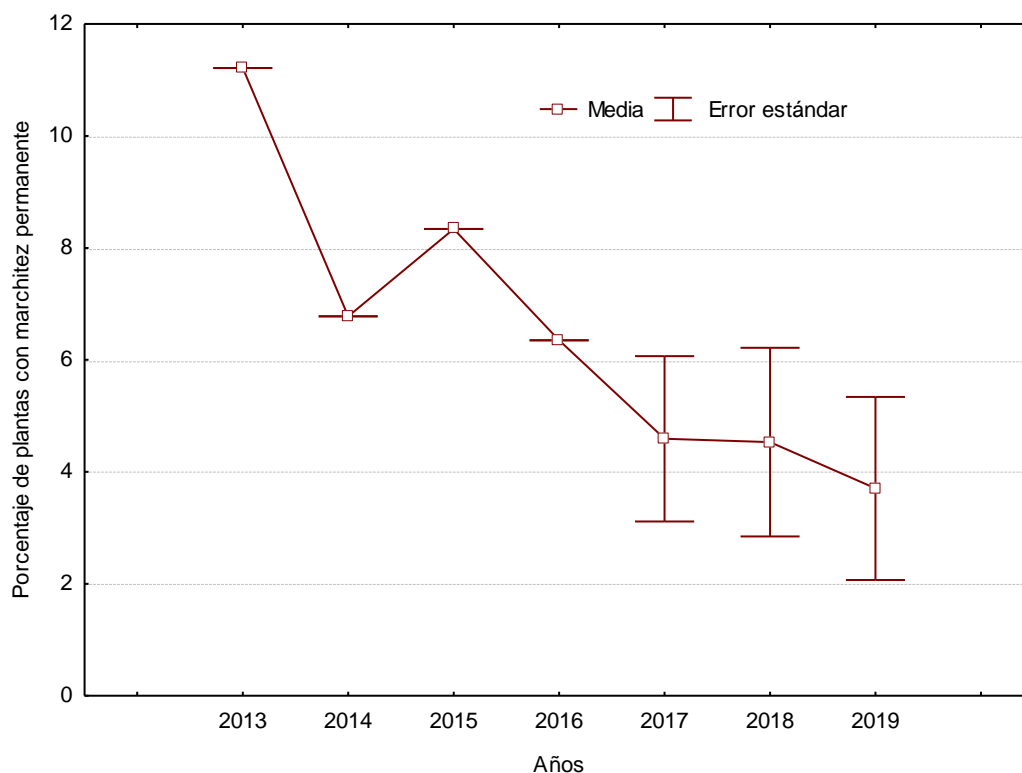


Figura 2. Incidencia de marchitez permanente causada por *Fusarium* spp. en el cultivo de tomate, utilizando repollo como cultivo de rotación y la incorporación de sus residuos al suelo. Durante un periodo de siete años de muestreo.

La incidencia de marchitez permanente a través de los ciclos del cultivo de tomate 2017- 2019 (Figura 3), evidenció porcentajes bajos (<0.3) en los primeros meses después de haberse establecido el cultivo de tomate y se incrementó rápidamente en el mes de junio, y se mantuvo hasta el mes de agosto: Lo anterior pudo deberse a las lluvias registradas habitualmente en junio, aunado a que los meses de junio a agosto son los más calurosos del año, en la región donde se desarrolló el experimento, lo cual favorece el desarrollo de *Fusarium* spp, ya que se ha documentado que este patógeno crece óptimamente en climas cálidos y suelos húmedos (Agrios, 1985). Mientras que la incidencia tiende a bajar en septiembre y octubre, posiblemente al decremento de la temperatura.

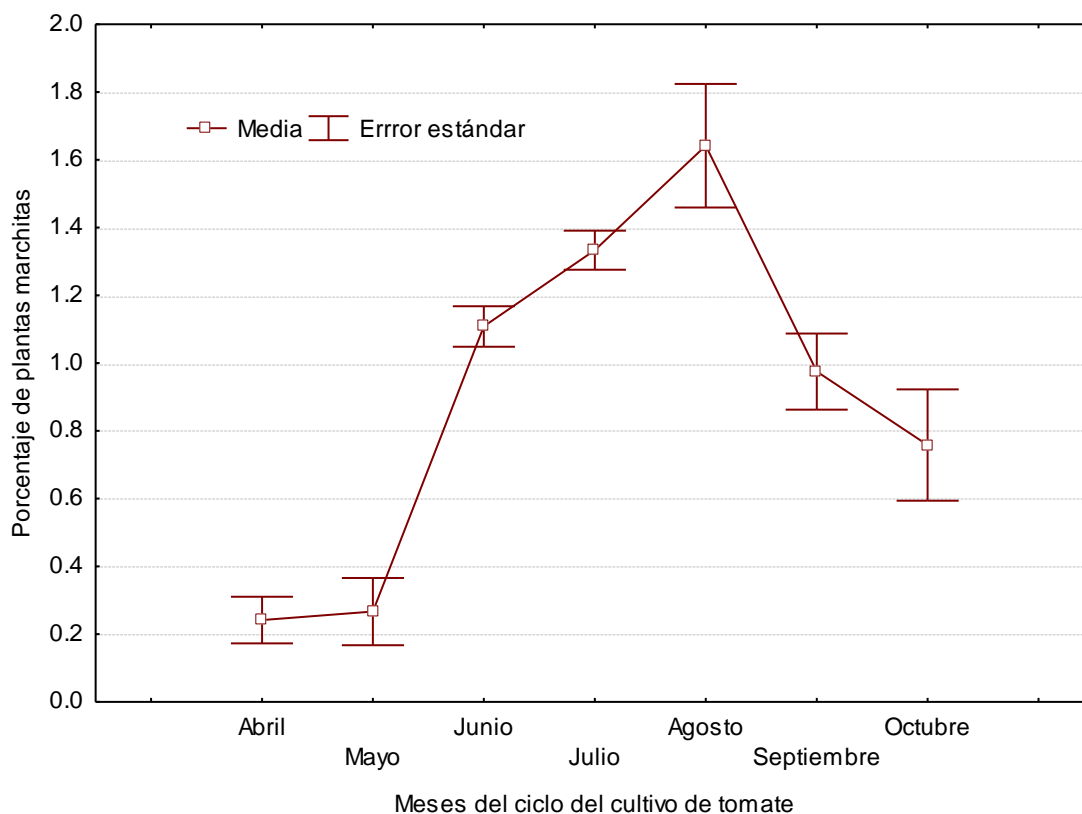


Figura 3. Dinámica de la incidencia de marchitez permanente, en plantas de tomate durante el ciclo del cultivo. Se muestra la media de tres ciclos (2017-2019).

Por otra parte, el tomate cultivado en las condiciones anteriormente descritas, empieza a producir a los 65 días después del trasplante, en esta etapa la planta incrementa la acumulación de carbohidratos y como consecuencia la susceptibilidad de la planta al ataque de hongos fitopatógenos, lo cual pudo verse reflejado en el incremento en la incidencia de marchitez permanente por *Fusarium* a partir de junio, con una tendencia a la alta hasta agosto, en cada ciclo del cultivo.

Segunda Parte: Evaluación de un extracto acuoso y un polvo deshidratado, obtenidos de hojas y tallos residuales de repollo.

Las hojas y tallos deshidratados de repollo, redujeron significativamente la incidencia de la enfermedad y la población de *Fusarium* spp. en el suelo (cuadro 2), atribuido a que tanto los glucosinolatos como la mirosinasa permanecieron en los tejidos deshidratados y que la síntesis de tiocianatos e isotiocianatos inicio al hidratarse con la humedad del suelo (Caballero, 2017; Sarwar *et al.*, 1998). Los valores de incidencia obtenidos con este tratamiento fueron similares a los obtenidos con el fumigante convencional MDTCNa (Cuadro 2). El extracto acuoso, tuvo un efecto limitado

respecto al suelo sin tratamiento (T2), posiblemente debido al proceso de licuado, que pudo acelerar el proceso de síntesis de tiocianatos e isotiocianatos, al permitir el contacto rápido de los glucosinolatos con la mirosinasa, además, al tratarse de compuestos volátiles pudo haber disminuido drásticamente su concentración (Wu *et al.*, 2015).

La baja presencia de plantas con marchitez esta respuesta posiblemente esté relacionada a la sincronía de la síntesis tiocianatos e isotiocianatos y el aumento en la población *Fusarium* spp., porque la infección no es inmediata, así mismo, para que ocurra la síntesis de isotiocianatos debe darse el proceso de hidratación del polvo del repollo, ya que debe haber un medio acuoso para que la enzima se encuentre con los glucosinolatos.

Cuadro 2. Incidencia de marchitez permanente por *Fusarium* spp., en plantas de tomate, y colonización de *Fusarium* en suelo tratado con subproductos de hojas y tallos de repollo.

Tratamientos	% Marchitas	Plantas% muertas	Plantas Colonización Suelo ufc/kg
T1	4.0 d	0.0 d	33.00 c
T2	40.0 a	40.0 a	2400.00 a
T3	4.0 d	4.0 c	300.00 ab
T4	12.0 c	8.0 c	566.66 ab
T5	28.0 b	20.0 b	1833.00 a
T6	8.8 cd	4.0 c	500.00 ab

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística en las medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). ufc = Unidades formadoras de colonias.

Efecto sobre el rendimiento y calidad

El rendimiento y calidad de las plantas de tomate tratadas se muestran en el Cuadro 3., el rendimiento fue diferente, por la eliminación de plantas muertas o bien por la reducción de productividad de las plantas con marchitez. El tratamiento con extracto acuoso de repollo fue el menos eficiente, atribuido posiblemente a la volatilización de los tiocianatos e isotiocianatos (Hashimoto *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2015), por lo que la planta se vio afectada mas severamente por la enfermedad y consecuentemente se

redujo su productividad (Rodríguez Araujo *et al.*, 2010). El tratamiento a base de repollo deshidratado en polvo (T6), mostró el mayor rendimiento, inclusive mayor al obtenido en las plantas tratadas con MDTCNa (cuadro 3). Esta respuesta puede estar relacionada, además de la reducción de plantas con marchitez, a la adición de materia orgánica, que ocurre al incorporar el polvo deshidratado de las hojas y tallos de repollo. Al adicionar 15 g por maceta de 10 L de suelo, equivale a suministrar 4,500 kg/ha, de materia orgánica seca, lo cual es similar a la cantidad de residuos de cosecha que se incorporan al suelo cuando se utiliza repollo como cultivo de rotación. El repollo produce de 80 a 100 toneladas de materia verde, de las cuales aproximadamente la mitad son residuos que quedan en el campo, esta cantidad de materia orgánica es suficiente para inducir cambios significativos en las propiedades físico químicas y en la fertilidad de los suelos y por lo tanto en la mejora de los cultivos (Oldfield *et al.*, 2017; Pinedo *et al.*, 2018; Salas-Pérez *et al.*, 2016).

Cuadro 3. Efecto de los subproductos de hojas y tallos de repollo aplicados para la supresión de *Fusarium* spp. y su impacto en el rendimiento y calidad de tomate

Tratamientos	Numero de Frutos	Peso Promedio del Fruto (g)	Rendimiento (kg)	% Reducción del Rendimiento
T1	202.34 a	114.16 ab	23.09 a	+ 5.19 a
T2	103.50 b	101.87 b	10.54 a	- 51.85 a
T3	195.54 ab	111.95 ab	21.89 a	0.00 a
T4	175.13 ab	109.54 b	19.18 a	- 12.38 a
T5	145.79 ab	108.70 b	15.84 a	- 27.63 a
T6	175.42 ab	127.54 a	22.37 a	+ 2.19 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística en las medias de acuerdo con la prueba Tukey ($p \geq 0.05$). ufc = Unidades formadoras de colonias.

Conclusiones

El repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.), utilizado como cultivo de rotación y la incorporación de sus hojas y tallos residuales al suelo, disminuyó la población de

Fusarium oxysporum y *Fusarium solani* en el suelo y redujo la incidencia de plantas con marchitez permanente causada por *Fusarium* spp., en tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.) cultivado en suelo y malla antiáfidos. Así mismo, el polvo deshidratado obtenido de las hojas y tallos residuales de repollo, disminuyó la incidencia de fusariosis en plantas de tomate y suprimió la población de *Fusarium* spp en el suelo, de forma similar al metilditiocarbamato de sodio.

Literatura citada

- Abdel-Monaim, M. F.; Abo-Elyousr, K. A. M., y Morsy, K. M. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). *Crop Protection*. 30(2): 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.09.016>
- Agrios N. G. 1985. Fitopatología. Marchitamientos por *Fusarium*. Editorial Limusa. México. pp.371-375.
- Bell, G., y Koufopanou, V. 1991. The architecture of the life cycle in small organisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 332(1262): 81-89.
- Brown, J., y Morra, M. J. 2005. Glucosinolate-Containing Seed Meal as a Soil Amendment to Control Plant Pests: 2000-2002. (No. NREL/SR-510-35254). *National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US)*.
- Bryła, P. 2016. Organic food consumption in Poland: Motives and barriers. *Appetite*. (105): 737-746 <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.012>
- Caballero, B. L.; Márquez C.J. y Betancur M.I. 2017. Efecto de la liofilización sobre las características físico-químicas del ají rocoto (*Capsicum pubescens* R & P) con o sin semilla. *Bioagro*. 29(3): 225–234.
- Campanella, V.; Mandal, C.; Angileri, V. y Miceli, C. 2020. Management of common root rot and *Fusarium* foot rot of wheat using *Brassica carinata* break crop green manure. *Crop protection* 130: 105073. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105073>
- Campas-Baypoli, O. N.; Bueno-solano, C.; Martínez-ibarra, D. M.; Camacho-gil, F.; Villa-lerma, A. G.; Rodríguez-Núñez, J. R.; Sánchez-machado, D. I. 2009. En Vegetales Crucíferos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 59(1): 95–100.
- Carmona, M. y Sautua, F. 2017. La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. causas y efectos en cultivos extensivos. *Revista de La Facultad de*

- Agronomía UBA*. 37(1): 1–19.
- CIFE (Centro Internacional de Servicios Fitosanitarios SA de CV). 2018. Laboratorio integral de diagnóstico fitosanitario. Cedula de aprobación de SAGARPA: 97-705-002 DFG. Saltillo, Coahuila, México.
- Gilardi, G.; Pugliese, M.; Gullino, M. L. y Garibaldi, A. .2016. Effect of different organic amendments on lettuce fusarium wilt and on selected soilborne microorganisms. *Plant Pathology*. 65(5): 704-712.
- Gottschalk, I. y Leistner, T. 2012. Consumer reactions to the availability of organic food. *Internationa Journal of Consumer Studies*. 37 (2): 136-14. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2012.01101.x>
- Hashimoto, Y.; Sakamoto, H.; Asai, H.; Yasoshima, M.; Min, H. y Koichi, L. 2020. The effect of fumigation with microencapsulated allyl isothiocyanate in a gas barrier bag against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera : Formicidae). *Applied Entomology and Zoology*. 55: 345 – 350. <https://doi.org/10.1007/s13355-020-00684-9>
- Lazzeri, L.; Curto, G.; Leoni, O.; y Dallavalle, E. 2004. Effects of glucosinolates and their enzymatic hydrolysis products via myrosinase on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(22): 6703–6707. <https://doi.org/10.1021/jf030776u>
- Ma, L.-J.; Geiser, D. M.; Proctor, R. H.; Rooney, A. P.; O'Donnell, K.; Trail, F.; Kazan, K. 2013. Fusarium Pathogenomics . *Annual Review of Microbiology*. 67(1): 399–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
- Morra, M. J. y Kirkegaard, J. A. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated Brassica tissues. *Soil Biology and Biochemistry*. 34(11), 1683–1690. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00153-0)
- Oldfield, E. E.; Wood, S. A. y Bradford, M. A. 2017. Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. *Plant and soil*. 423 (1): 363-373.
- Pinedo , M.; Abanto-Rodríguez, C.; Oroche , D.; Paredes , E.; Bardales-Lozano, R. M.; Alves, E.; Vargas, J. 2018. Mejoramiento de las características agronómicas y rendimiento de fruto de camu-camu con el uso de biofertilizantes en Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(4): 527-533.
- Prasad, P. y Kumar, J. 2017. Management of fusarium wilt of chickpea using brassicas as biofumigants. *Legume Research* 40 (1): 178-182.

<https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.7022>

- Ram, R. M., Keswani, C., Bisen, K., Tripathi, R., Surya, P., & Singh, H. B. (2018). Biocontrol technology: eco-friendly approaches for Sustainable Agriculture. *Omics Technologies and Bio-engineering*. Academic Press. pp-177-190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815870-8.00010-3>
- Rodríguez Araujo, E. A.; Bolaños Benavides, M. M. y Menjivar Flores, J. C. 2010. Effect of the fertilization on the nutrition and yield of the red pepper (*Capsicum* spp.) in the Valley of the Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 59(1): 55–64. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/1699/169916223005.pdf>
- Rodríguez Millán, K. A., Monreal Vargas, C. T., Huerta Díaz, J., Soria Colunga, J. C., y Jarquín Gálvez, R. 2013. Aporte de Microorganismos Benéficos por la Incorporación al Suelo de Residuos Deshidratados de Col (*Brassica oleracea* var *capitata*) y su Efecto en el pH. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 31(1): 29–44.
- Rosa, E. A. S. 1997. Daily variation in glucosinolate concentrations in the leaves and roots of cabbage seedlings in two constant temperature regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 73(3): 364–368. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199703\)73:3<364::AID-JSFA742>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199703)73:3<364::AID-JSFA742>3.0.CO;2-O)
- Salas-Pérez, L.; González, J. A.; Garcia, M.; Sifuentes-Ibarra, E.; Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*. 8(17): 310-325.
- Sarwar, M.; Kirkegaard, J. A.; Wong, P. T. W., y Desmarchelier, J. M. 1998. Biofumigation potential of brassicas III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil*. 201(1): 103–112. <https://doi.org/10.1023/A:1004381129991>
- Wu, H.; Xue, N.; Hou, C.; Feng, J. y Zhang, X. 2015. Microcapsule preparation of allyl isothiocyanate and its application on mature green tomato preservation. *Food Chemistry*, 175 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.149>
- Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis* (5th Edition). Prentice Hall, New Jersey pp. 472-478.
- Zavaleta-Mejía, E. 1999) Management Alternatives for Plant Diseases. *Terra Latinoamericana*. 17(3): 201–207.

SEGUNDO ARTÍCULO

**PRUEBAS DE EFECTIVIDAD DE SUBPRODUCTOS DE BRÓCOLI PARA
CONTROL DE Fusarium EN TOMATE**

PRUEBAS DE EFECTIVIDAD DE SUBPRODUCTOS DE BRÓCOLI PARA CONTROL
DE *Fusarium* EN TOMATE

Berta **Civieta**¹, Susana **González**¹, Adalberto **Benavides**¹, Gabriel **Gallegos**¹, Marcelino
Cabrera¹, Alberto **Sandoval**^{1*}

RESUMEN

En la producción del cultivo de tomate, donde se utiliza como medio de cultivo el suelo, una de los problemas fitosanitarios importantes es *Fusarium sp.*, conocida como marchitez vascular. El presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar la capacidad biofumigante de subproductos a base de esquilmos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *itálica*) sobre *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. Se evaluaron dos subproductos: Polvo deshidratado y Extracto líquido, cada uno en tres dosis y se compararon con un testigo absoluto (Suelo esterilizado), un testigo convencional (Suelo fumigado con metam sodio) y un testigo inoculado (suelo sin tratar más inoculo). Se evaluó; incidencia y severidad de *Fusarium*, y el efecto en el crecimiento y productividad del cultivo. Los resultados obtenidos muestran que el mejor tratamiento para reducir la incidencia y severidad de *Fusarium*, fue el polvo deshidratado a dosis de 0.3 g.L⁻¹ de suelo, donde además se observó un mejor desarrollo medido como; peso fresco, número y peso promedio de los frutos y rendimiento por planta.

Palabras clave: biofumigación, manejo sustentable, patógenos del suelo

INTRODUCCIÓN

El tomate, como todos los cultivos, se ve afectado por diferentes factores que limitan su producción y el rendimiento, uno de estos factores son las plagas y enfermedades. Cuando se usa como medio de cultivo el suelo, uno de los problemas fitosanitarios más frecuentes es la marchitez o fusariosis causada por *Fusarium sp* (Ma *et al.*, 2013). El marchitamiento vascular del tomate fue descubierto por primera vez en 1885 por Masse (Smith, 1899). En 1940 la enfermedad ya se encontraba propagada por todo el mundo y aún no se tenía conocimiento de la variabilidad patogénica en este hongo. (Bohn y Tucker, 1940). Este problema se agudiza en los sistemas de producción bajo cubierta; por el monocultivo y la intensidad de la explotación. Para el control de esta enfermedad, lo más común es la fumigación química con productos de como: metam sodio o metam potasio FAO (2016).

El género *Fusarium* es un hongo ascomiceto filamentoso y cosmopolita, poseen un micelio bien desarrollado, septado, con conidióforos y un talo unicelular (Sumalan *et al.*, 2013). Los daños que provoca en el hospedante en su mayoría son irreversibles, lo cual ocasiona grandes pérdidas económicas (García *et al.*, 2017). El hongo primero ingresa por la raíz sin presentar síntomas, después coloniza tejido vascular y provoca un marchitamiento masivo, clorosis y necrosis de las partes aéreas de la planta (Ma *et al.*, 2013).

Para controlar este hongo, tradicionalmente se han utilizado pesticidas, que, aunque necesaria, resulta ser una de las actividades más riesgosas he inadecuadas para el ser humano debido a las propiedades toxicas que estos poseen. Además, representa un importante costo económico y ambiental; el costo económico oscila entre los \$7000 a \$25,000 por ha, dado que las recomendaciones inician con 125 Lha⁻¹ y van aumentando hasta llegar a los 500 Lha⁻¹, además del incremento de fungicidas para contener las reinfestaciones una vez establecido el cultivo. Este aumento progresivo se debe a la bioacumulación, que es una ventaja para las enfermedades al hacerlas resistentes a estos productos, y hace necesaria cada vez una dosis mayor de producto para mismo el control (Medina, 2014; Carmona & Sautua, 2017). El costo ecológico está relacionado a la disminución drástica de la microflora nativa del suelo y una

posterior infestación masiva de patógenos, que ocurre al disminuir o eliminar la competencia espacial que representa la microflora nativa al desarrollo de las poblaciones de patógenos. Lo cual se observa inicialmente en daños locales a las plantas, que posteriormente se diseminan, hasta cubrir lotes y regiones completas.

Por otro lado, los consumidores exigen, alimentos más sanos o inocuos, es decir libres de pesticidas, según la organización mundial de la salud (OMS), la inocuidad de los alimentos es una cuestión fundamental de salud pública para todos los países, y uno de los asuntos de mayor prioridad para los consumidores, productores y gobierno (Arispe *et al.*, 2007)

Estas situaciones han llevado a la búsqueda de alternativas de manejo de enfermedades mediante un control más amigable con el medio ambiente (Ram *et al.*, 2018).

Una alternativa puede ser el uso de plantas con propiedades antagonistas a los patógenos y las crucíferas son un claro ejemplo de esta práctica ya que poseen propiedades biodesinfectantes, relacionadas al contenido en sus tejidos de una elevada cantidad de compuestos azufrados denominados glucosinolatos (Rodríguez *et al.*, 2013; Brown & Morra, 2005) y una enzima glucohidrolasa tioglucosido, también conocida como mirosinasa, que hidroliza a estos compuestos y los transforma en aglicona inestable, que posteriormente sufren modificaciones y darán lugar a compuestos volátiles tóxicos como isotiociyanatos, nitrilos, tiociyanatos y epinitrilos (Rosa *et al.*, 1997). Los glucosinolatos se encuentran en las vacuolas y la enzima mirosinasa en la membrana de la célula y entran en contacto cuando los tejidos sufren una lisis o ruptura. Adicionalmente la mirosinasa al estar en la pared celular actúa como barrera química para disuadir a una gran cantidad de patógenos (Koroleva *et al.*, 2000; Lazarovits *et al.*, 2005).

Cada especie de crucífera tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Brown & Morra, 2005; Rosa *et al.*, 1997, Campas-Baypoli *et al.*, 2009, Rodríguez *et al.*, 2013) y estos compuestos se mantienen aún en residuos deshidratados (Lazzeri *et al.*, 2004). Por esta razón para este estudio se eligió los esquilmos o residuos de brócoli (*Brassica*

oleracea var *itálica*) que es la crucífera más producida en México con una superficie de 31,900 hectáreas, lo cual posibilita la obtención de materia prima, para su posible escala comercial.

En pruebas de campo se ha comprobado la eficacia de los residuos o esquilmos de Crucíferas o Brassicáceas, incorporados al suelo, sobre el control de *Fusarium* spp. (Prasad & Kumar, 2017; Angileri *et al.*, 2020), pero implica establecer estas especies como cultivos de rotación, lo cual limita su uso, sobre todo en sistemas protegidos como son las casas sombra o mallas. Por ello es necesario buscar opciones, que permitan aprovechar las propiedades de estas plantas y una opción pueden ser; los deshidratados y los extractos líquidos, los cuales deberán ser sometidos previamente a evaluación de su efectividad antes de ser recomendados para su inclusión en un paquete tecnológico.

La incorporación de residuos orgánicos es importante debido a que genera y/o mejora la estructura del suelo, mediante la unión con partículas de arcilla del suelo y a su vez, activa a los microorganismos antagonistas de los patógenos, favoreciendo así su control. El aumento de aplicación de materia orgánica, en cualquiera de sus diversas formas (fresca, deshidratada, humus, etc.) tiene efecto positivo al aumentar su fertilidad general (física, química y biológica) y debido a esto le permite al suelo la recuperación de sanidad y equilibrio (Bello *et al.*, 2010). La materia orgánica es suficiente para inducir cambios significativos en las propiedades físico químicas y en la fertilidad de los suelos y por lo tanto en la mejora de los cultivos (Oldfield *et al.*, 2017; Pinedo Panduro *et al.*, 2018).

La hipótesis que se plantea es que la aplicación de polvo y extracto líquido de esquilmos de brócoli, reducirá la incidencia y severidad de *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. Y para ellos se plantea el objetivo siguiente, evaluar la capacidad biofumigante de subproductos a base de esquilmos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *itálica*) sobre *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio experimental

El presente trabajo se realizó en un invernadero del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista Saltillo, Coahuila, México., con una latitud 25° 21' 20.68" N longitud 101° 2' 7.01" O (Google earth, 2018) y a una altitud de 1581 metros sobre el nivel del mar. Durante el periodo de agosto 2018 a febrero 2019.

Material vegetal

Para este trabajo se utilizaron plantas de tomate tipo saladette (*Solanum Lycopersicon* L.). De ámbito determinado, y la planta se produjo en charolas de poliestireno de 200 cavidades y como sustrato peat moss.

Descripción de los tratamientos

Se evaluaron dos subproductos de esquilmos (hojas y tallos) de Brocólí (*Brassica oleracea* var. *itálica*). Los subproductos fueron; Polvo deshidratado y Extracto líquido, cada subproducto a tres dosis diferentes los cuales se compararon con un testigo absoluto (Suelo esterilizado), un testigo convencional (Suelo fumigado con metam sodio) y un testigo inoculado (suelo sin tratar más inoculo) Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO
1.- Testigo absoluto	Suelo esterilizado
2.- Testigo convencional	Suelo fumigado con metam sodio
3.- Testigo inoculado	Suelo normal + Inoculo
4.- Polvo, dosis 1	Suelo normal + Inoculo + Polvo 0.75 g.L ⁻¹
5.- Polvo, dosis 2	Suelo normal + Inoculo + Polvo 1.5 g.L ⁻¹
6.- Polvo, dosis 3	Suelo normal + Inoculo + Polvo 3.0 g.L ⁻¹
7.- Extracto líquido, dosis 1	Suelo normal + Inoculo + Ext Líq 7.5 cc.L ⁻¹

8.- Extracto líquido, dosis 2	Suelo normal + Inoculo + Ext Líq 15.0 cc.L ⁻¹
9.- Extracto líquido, dosis 3	Suelo normal + Inoculo + Ext Líq 30.0 cc.L ⁻¹

Cada tratamiento se evaluó en 24 repeticiones y cada repetición fue una maceta de polietileno de 10 L de capacidad y en cada maceta una plántula.

Obtención del Inóculo

El inóculo se obtuvo del suelo de una parcela comercial en el rancho Poca Luz 1, en el municipio de Catorce, San Luis Potosí. El suelo se analizó e identificó previamente la cepa de *Fusarium oxysporum* raza 1. (CISEF, 2016). De la muestra, se aplicaron 50 g, de suelo con inóculo por maceta.

Obtención de Subproductos

Polvo deshidratado. - Para la obtención de este subproducto se trocearon las hojas y tallos del brocoli, hasta obtener trozos de no más de 25 cm². Estos se colocaron sobre una malla a 50 cm de altura, donde fueron dejados 2 semanas completas para su total deshidratación. La malla se encontraba protegida de la lluvia y a temperatura ambiente, para conseguir un secado sin altas temperaturas. Una vez que estuvo completamente deshidratado, se molió en un molino una licuadora industrial, marca Torrey.

Extracto. - Este se obtuvo licuando 4800 g de repollo en fresco, para esto se utilizó una licuadora en la que se introducía 200 g de col y 100ml de agua destilada. Después se filtraba por gravedad con un filtro de gasa doble, obteniendo como resultado el subproducto extracto de col (Imagen 4).

Aplicación de los Subproductos

El polvo se aplicó una la semana antes del trasplante, a una profundidad de 3 cm, considerando que quedará depositado debajo del cepellón. En el caso de los extractos líquidos, se aplicaron las dosis una semana después del trasplante, a una distancia de 4 cm del tallo, para

su aplicación se retiró una capa de 2 cm de suelo, se aplicó el extracto y después se cubrió con el suelo que se había retirado previamente

Variables evaluadas

Porcentaje de incidencia. -Fue determinado como porcentaje de plantas con síntomas en el cuello, al finalizar el cultivo.

Porcentaje de severidad. -La severidad fue identificada de acuerdo a la siguiente escala 1. Amarilla miento de hojas, 2: - Plantas con marchitez parcial y 3.- Plantas muertas. Los datos se presentan en porcentaje.

Además se evaluó: diámetro del tallo, número de frutos, peso de frutos, rendimiento por planta, peso fresco de la planta

Los datos obtenidos se analizaron en un modelo estadístico de bloques al azar (Zar, 2010), con repeticiones de acuerdo a la variable de estudio. Con el software Statistica versión 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de Fusarium spp.

La incidencia de *Fusarium*, medida como porcentaje de plantas con síntomas en el cuello, al finalizar el cultivo. En general todos los tratamientos tuvieron plantas con síntomas, pero fue mayor en los testigos, aun en el testigo absoluto, en el cual el suelo fue esterilizado previamente, mientras que el convencional fue desinfectado con metil tiocianato conocido como metam sodio, que es la practica más usada comercialmente (Nalimova, 2007).

Esto pudo ser debido a que el suelo utilizado contenía inóculos de *Fusarium*, y en el caso del testigo absoluto la esterilización no fue suficiente para eliminar la presencia del patógeno o se tuvo re infestación durante el cultivo, dado que los movimientos de suelo infectado, son sus principales mecanismos de dispersión, además que cuenta con la capacidad de sobrevivir por largos periodos en el suelo, debido a sus estructuras de resistencia denominadas

clamidiosporas, lo que vuelve inefectiva la rotación de cultivos a corto plazo (Daugovish, 2008).

También se esperaba que hubiera un mayor porcentaje en el testigo inoculado al agregarse más inóculo, sin embargo, no se observó tal efecto. Figura 1.

Para el caso del subproducto deshidratado (Fig.1) se observa una disminución en la incidencia lo cual podría indicar que aun con el tejido deshidratado, sigue estando presente la enzima mirosinasa y los glucosinolatos, y es cuando se rehidrata el producto tiene lugar la síntesis de los isotiocianatos (Caballero, 2017).

En el caso de los tratamientos con subproducto líquido, puede observarse una eficiencia menor, esto probablemente se deba a la volatilización de los tiocianatos e isotiocianatos (Hashimoto et al., 2020).

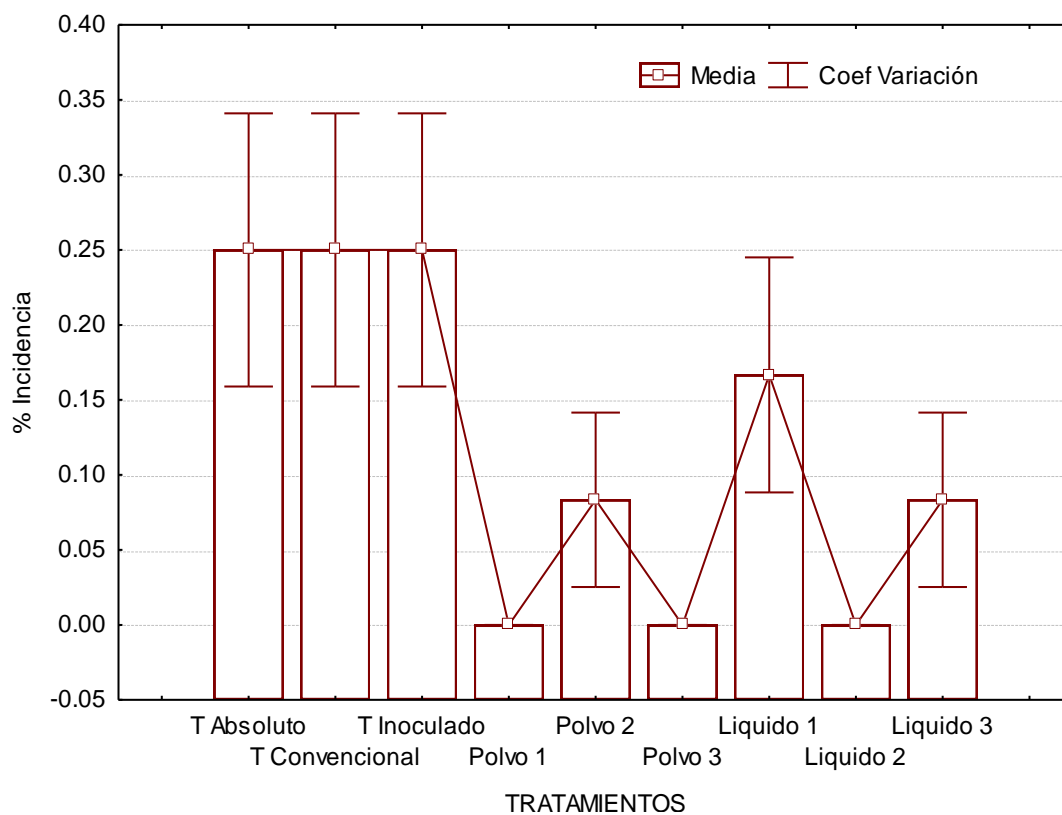


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre la incidencia de *Fusarium* spp. en plantas de tomate.

Severidad

La severidad fue evaluada solo como plantas muertas, debido a que no se presentaron síntomas de amarillamiento ni marchitez parcial. La mayor cantidad de plantas muertas se tuvieron en el testigo inoculado. La alta mortandad en el testigo inoculado, pudo estar relacionada al incremento exógeno de la población de *Fusarium* sp, en la cual no se implementó ninguna acción que limitara el desarrollo del patógeno.

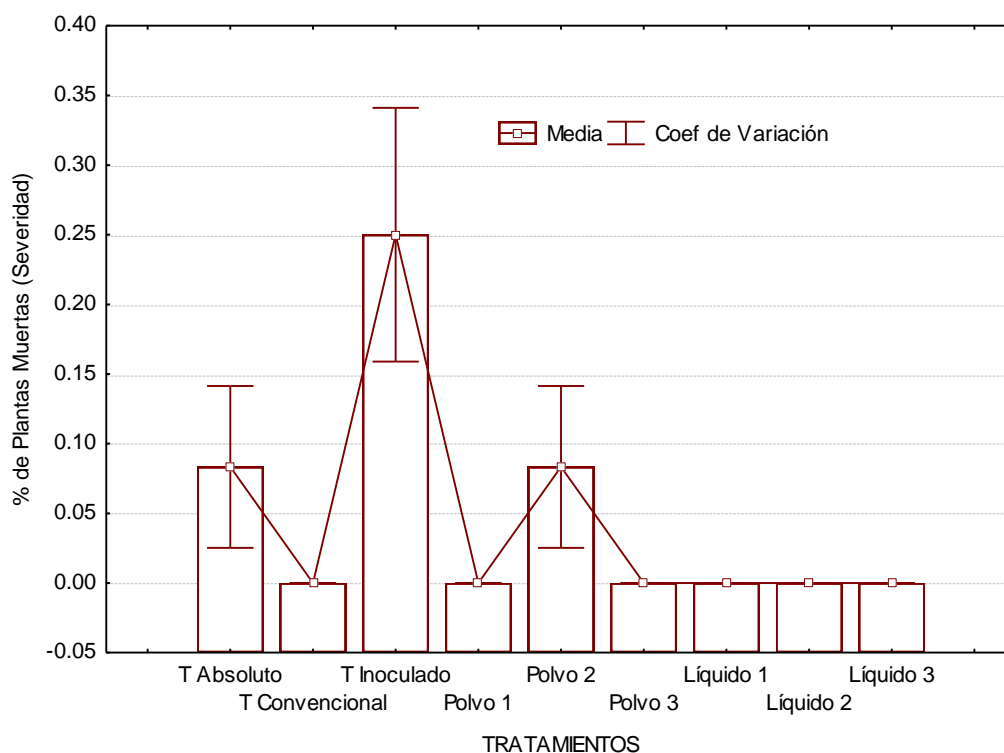


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la severidad de *Fusarium* spp. en plantas de tomate.

Peso Fresco

Las plantas de tomate mostraron un mayor desarrollo en los tratamientos donde el suelo fue esterilizado y al que se agregó polvo en dosis de 0.3 gr.L.

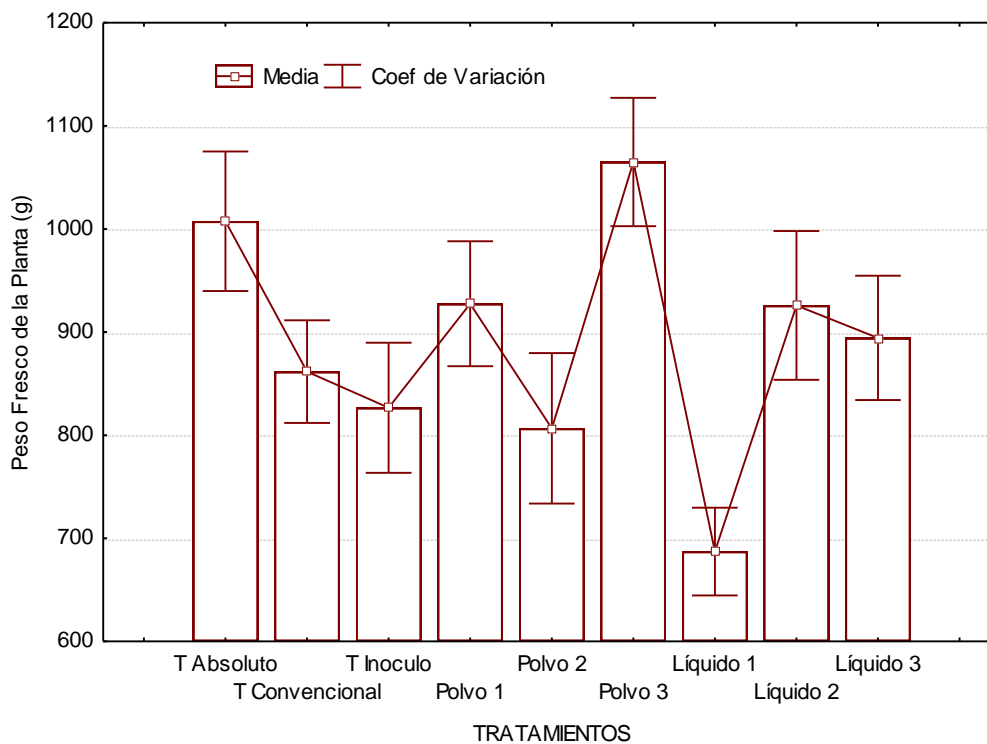


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el peso fresco de las plantas de tomate.

Diámetro de Tallo

Las plantas con tallos más desarrollados, se obtuvieron en los tratamientos donde se desinfectó el suelo y el polvo a baja dosis. (Figura 4). El diámetro de los tallos, es un indicador del crecimiento y vigor de las plantas, generalmente existe una relación directa entre el diámetro de tallo, la altura y el peso de la planta.

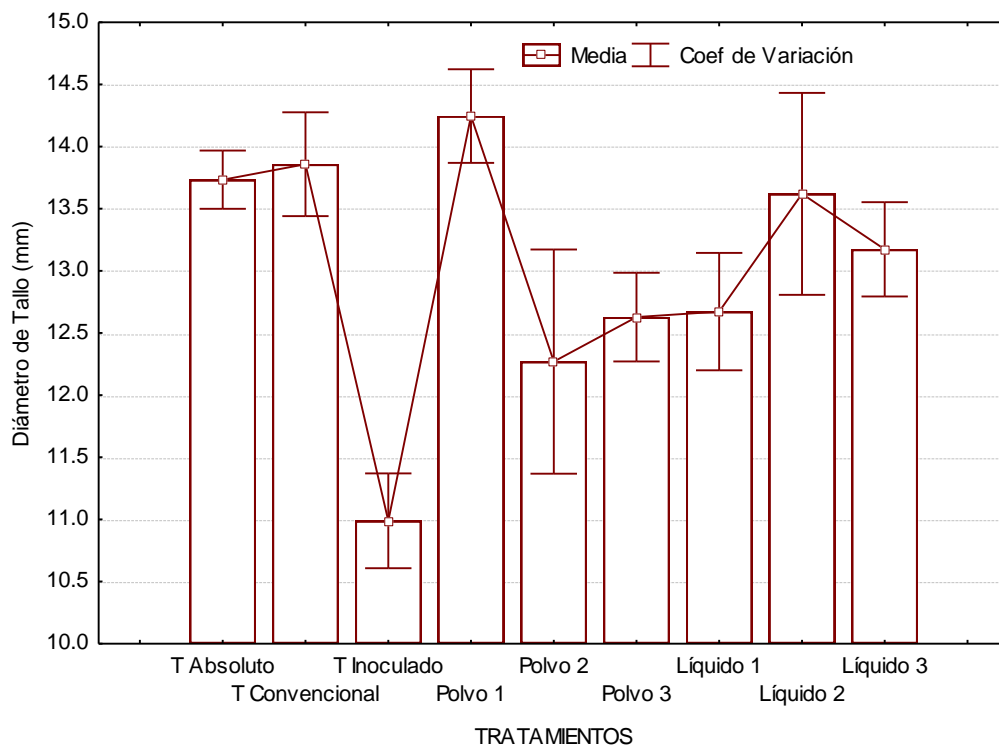


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro del tallo en plantas de tomate.

Número de Frutos por Planta

Para esta evaluación, solo fueron considerados los frutos con un desarrollo completo y fueron desechados los frutos deformes. Las plantas que produjeron mayor cantidad de frutos fueron aquellas a las que se les agregó polvo en dosis media y alta.

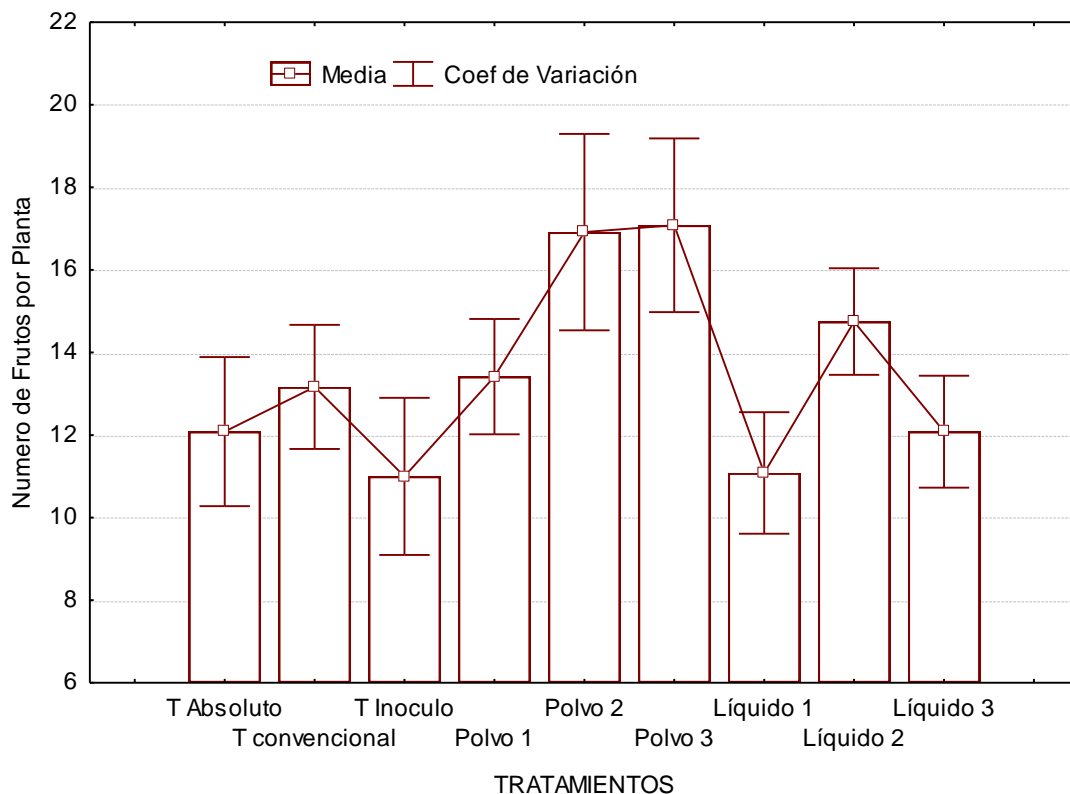


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el número de frutos por planta de tomate.

Peso Promedio de Frutos

Los frutos con mayor desarrollo, medido como peso promedio e fruto, fueron obtenidos en los tratamientos de polvo a dosis alta. Este tratamiento también fue el que registro mayor peso de la planta, es decir plantas con un mayor desarrollo. El crecimiento de los frutos, está relacionado al crecimiento y sanidad de las plantas, en el cultivo de tomate, plantas con hojas grandes y sanas, producen frutos grandes. Por qué el crecimiento del fruto depende de la acumulación de agua, fotoasimilados y minerales que son afectados en su transportación por la insuficiencia que tienen los haces vasculares a causa del daño que sufren (Agüero, 2003).

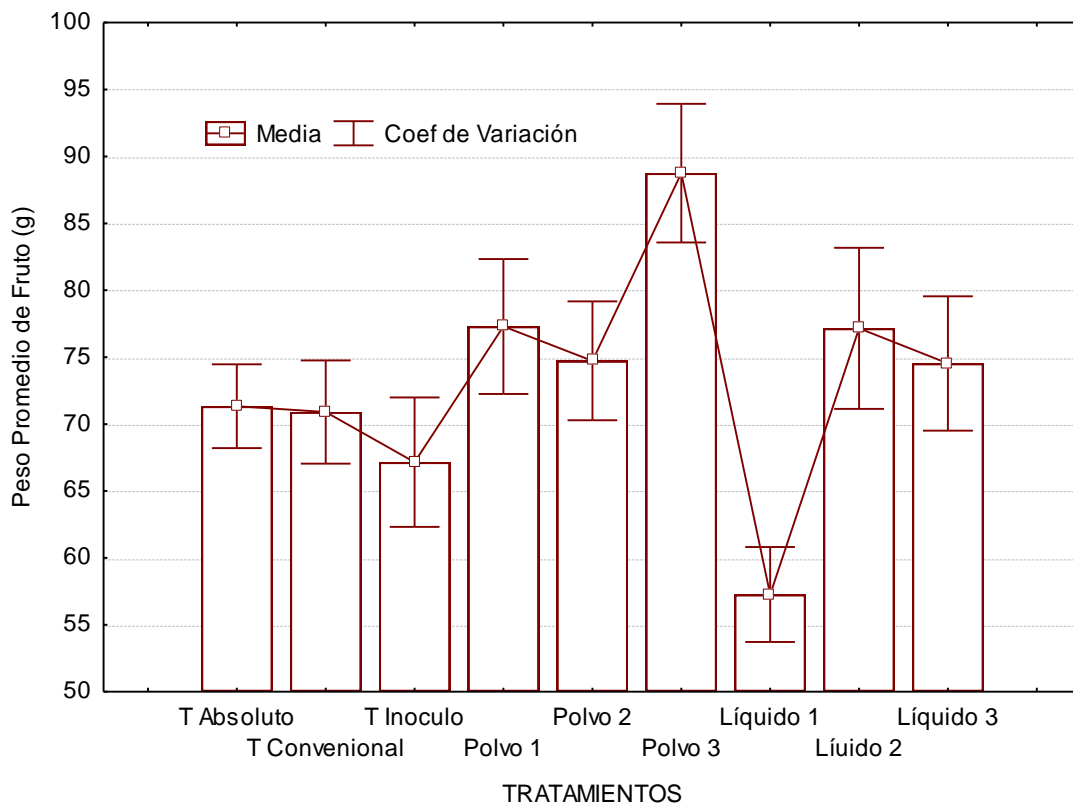


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el peso promedio de los frutos en plantas de tomate.

Rendimiento por Planta

El mayor rendimiento se obtuvo, en el tratamiento de polvo a dosis de 0.3 g.L, Los principales componentes del rendimiento en tomate, son el número y peso promedio de los frutos, en ambos casos el tratamiento polvo a dosis de 0.3 g.L obtuvo mejor respuesta.

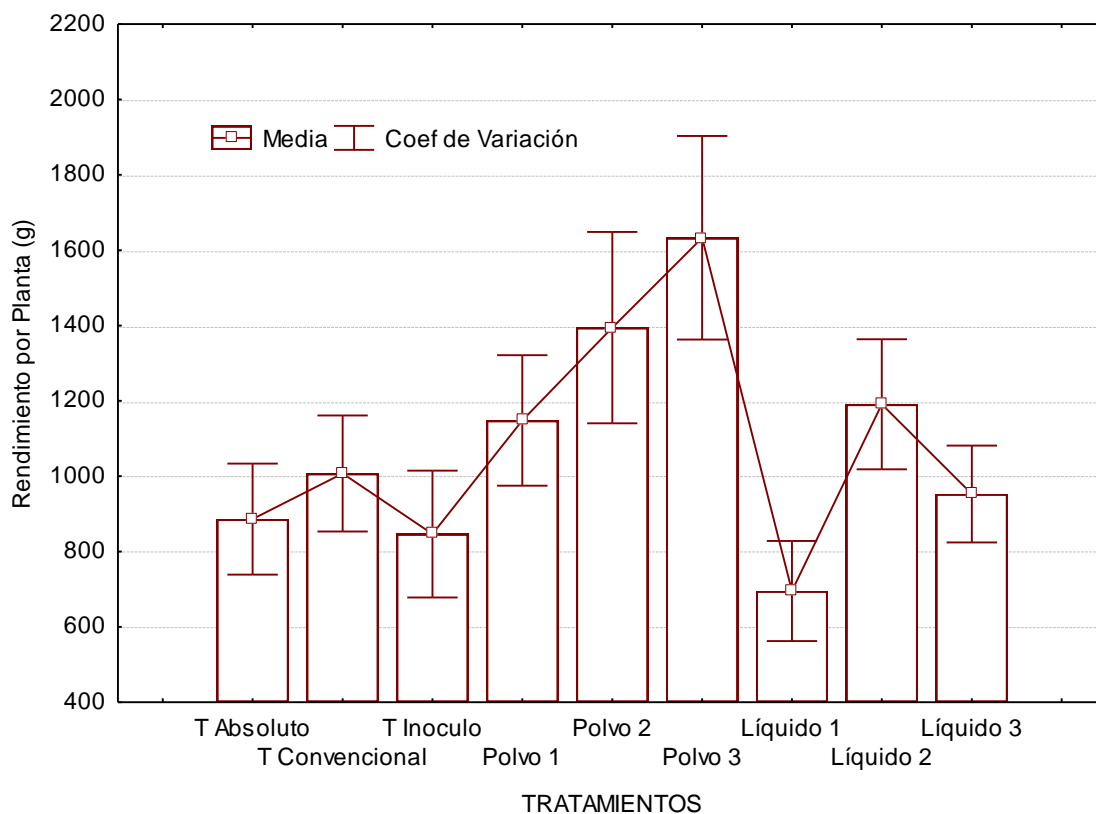


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento por planta de tomate en gramos.

Aun y cuando no fueron datos muy consistentes, en general se observó que el tratamiento de polvo deshidratado del brócoli aplicado a dosis de 0.3 g.L, fue el mejor tratamiento en muchos casos, superando al testigo de suelo esterilizado y al suelo fumigado con metam-sodio. Lo cual hace suponer que las propiedades fumigantes del producto se mantienen. Adicionalmente se tienen los beneficios de la materia orgánica residual.

También se esperaba que hubiera un mayor porcentaje de severidad en el testigo inoculado al agregarse más inculo, sin embargo, no se observó tal efecto. Mientras que los tratamientos con extracto líquido, los resultados también fueron muy variables, pero en general se mostraron similares al testigo. Probablemente relacionado a la pérdida de su capacidad fumigante, dado que los tiocianatos e isotiocinatos son compuestos volátiles que se pierden durante su almacenamiento.

CONCLUSIONES

El subproducto de polvo deshidratado a partir de restos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), fue el que mayor efectividad mostró para el control de *Fusarium* spp., más concretamente la mejor dosis fue la de 0.3 g L⁻¹.

Por otro lado, en el caso del extracto líquido, no se observó efecto sobre el control de *Fusarium* spp.

BIBLIOGRAFÍA

Arispe Ivelio & Tapia María Soledad, (2007) Inocuidad y Calidad: Requisitos Indispensables para la protección de la salud de los consumidores, 20(3).

Agüero, Martha Susana (2003). Fructificación partenocarpica en tomate: Efecto Del Ácido Giberélico 177 (24,27).

Angileri, V., Miceli, C., Campanella, V., & Mandal, C. (2020). Management of common root rot and Fusarium foot rot of wheat using Brassica carinata break crop green manure. 130 (September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105073>

Bello, J.A., Díez Rojo, M.A., López-Pérez, J.A., Castro, I., Gallego, A. (2010). Biorremediación de Suelos. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.

Bohn, G. W., & Tucker, C. M. (1940). Studies on Fusarium wilt of the tomato. I. Immunity in *Lycopersicon pimpinellifolium* Mill, and its inheritance in hybrids. Research Bulletin. Missouri Agricultural Experiment Station, (311).

Brown, J., & Morra, M. J. (2005). Glucosinolate-Containing Seed Meal as a Soil Amendment to Control Plant Pests: 2000-2002. (No. NREL/SR-510-35254). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).

Caballero, B. L. (2017). Características físico-químicas del ají rocoto (*Capsicum pubescens* R

& P) con o sin semilla. 29(3), 225–234.

Campas-Baypoli, O. N., Bueno-solano, C., Martínez-ibarra, D. M., Camacho-gil, F., Villalerna, A. G., Rodríguez-núñez, J. R., ... Sánchez-machado, D. I. (2009). En Vegetales Crucíferos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 95–100.

Carmona, M., & Sautua, F. (2017). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. causas y efectos en cultivos extensivos. *Revista de La Facultad de Agronomía UBA*, 37(1), 1–19.

CIFEF (Centro Internacional de Servicios Fitosanitarios SA de CV), 2018. Laboratorio integral de diagnóstico fitosanitario. Cedula de aprobación de SAGARPA: 97-705-002 DFG. Saltillo, Coahuila, México.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). FAOSTAT, Listado de plaguicidas usados para el control de enfermedades en tomate Use. [En línea] FAOSTAT, Use. [Consultado 15/08/2019] Disponible en URL: <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s06.pdf>

García González, B.I., Cervantes Hernández, P., (2017). Tendencia Histórica del Uso de Plaguicidas en la Producción Agrícola de México. Universidad del Mar.

Hashimoto, Y., Sakamoto, H., Asai, H., Yasoshima, M., Min, H., & Koichi, L. (2020). The effect of fumigation with microencapsulated allyl isothiocyanate in a gas barrier bag against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera : Formicidae). *Applied Entomology and Zoology*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s13355-020-00684-9>

Hill, J., & Lazarovits, G. (2005). A mail survey of growers to estimate potato common scab prevalence and economic loss in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27(1), 46-52.

Koroleva, O. A., Davies, A., Deeken, R., Thorpe, M. R., Tomos, A. D., & Hedrich, R. (2000). Identification of a new glucosinolate-rich cell type in *Arabidopsis* flower stalk. *Plant physiology*, 124(2), 599-608.

- Lazzeri, L., Curto, G., Leoni, O., & Dallavalle, E. (2004). Effects of glucosinolates and their enzymatic hydrolysis products via myrosinase on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(22), 6703–6707. <https://doi.org/10.1021/jf030776u>
- Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., ... Kazan, K. (2013). Fusarium Pathogenomics . *Annual Review of Microbiology*, 67(1), 399–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
- Medina L, (2014) Plaguicidas, Medio Ambiente y Economía. [En línea]. Luis Carlos Medina. Educación Ambiental, Software, Computadores, Electricidad, Electrónica, Automatización. Con Mucha Seriedad [Consultada 28/11/2018]. Disponible en URL: <https://luiscmedina.blogspot.com/2014/09/plaguicidas-medio-ambiente-y-economia.html>
- Muramoto, J., Shennan, C., Fitzgerald, A., Koike, S., Bolda, M., Daugovish, O., ... & Butler, D. (2008, November). Effect of anaerobic soil disinfestation on weed seed germination. In Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions (pp. 109-1).
- Nalimova, M. S. (2007). Introducción y eficacia técnica del biocontrol de fitopatógenos con *Trichoderma* spp. en Cuba. *Fitosanidad*, 11(3), 75-79.
- Oldfield, E. E., Wood, S. A., & Bradford, M. A. (2017). Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. *Plant Soil*.
- Pinedo Panduro, M., Abanto-Rodríguez, C., Oroche Amias, D., Paredes Dávila, E., Bardales-Lozano, R. M., Alves Chagas, E., ... Vargas Fasabi, J. (2018). Mejoramiento de las características agronómicas y rendimiento de fruto de camu-camu con el uso de biofertilizantes en Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(4).
- Prasad, P., & Kumar, J. (2017). Management of fusarium wilt of chickpea using brassicas as biofumigants Management of Fusarium wilt of chickpea using brassicas as biofumigants.

(January). <https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.7022>

Ram, R. M., Keswani, C., Bisen, K., Tripathi, R., Surya, P., & Singh, H. B. (2018). Approaches for Sustainable Agriculture. In Omics Technologies and Bio-engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815870-8.00010-3>

Rodríguez Millán, K. A., Monreal Vargas, C. T., Huerta Díaz, J., Soria Colunga, J. C., & Jarquín Gálvez, R. (2013). Aporte de Microorganismos Benéficos por la Incorporación al Suelo de Residuos Deshidratados de Col (*Brassica oleracea* var *capitata*) y su Efecto en el pH. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *31*(1), 29–44.

Rosa, E. A. S. (1997). Daily variation in glucosinolate concentrations in the leaves and roots of cabbage seedlings in two constant temperature regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *73*(3), 364–368. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199703\)73:3<364::AID-JSFA742>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199703)73:3<364::AID-JSFA742>3.0.CO;2-O)

Smith, E. F. (1899). Wilt disease of cotton, watermelon and cowpea (*Neocosmospora* nov. gen.). US. Dep. Agric. Div. Veg. Physiol. Pathol. Bull., (17), 1-54.

Sumalan, R. M., Alexa, E., & Poiana, M. A. (2013). Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. *Chemistry Central Journal*, *7*(1), 1-12.

CONCLUSIÓN GENERAL

El biocontrol es una alternativa viable que ayuda a resolver diversos problemas que se pueden dar con el cultivo en suelo. Pero en caso de no poder aplicar el biocontrol en su conjunto, se pueden utilizar subproductos.

Tras los experimentos de efectividad biológica, puede concluirse que sí se producen isotiocianatos en la col y que estos siguen presentes en los diferentes subproductos. Y estos isotiocianatos sí tienen actividad biofumigante frente a *Fusarium* spp.

También gracias al experimento de efectividad biológica en tomate en suelo con inóculo y aplicación de los 3 subproductos y al cultivo de discos de tallo de las plantas de tomate en placas Petri, se encontró que el subproducto que mejor funciona para control de *Fusarium* spp. es el subproducto de col deshidratado y picado, obteniéndose un control total del patógeno, además de un mejor peso de fruto que en el resto de tratamientos (con y sin inóculo). Otra cuestión sobre la que nos arrojó luz es que el subproducto consistente en extracto de col no funcionó en el control del patógeno, obteniéndose los mismos resultados que en el tratamiento al que se le incorporó inóculo sin ningún añadido para controlarlo.

Así que queda confirmada la hipótesis planteada.

REFERENCIAS

- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Andréasson, E., & Jørgensen, L. B. (2003). Chapter four Localization of plant myrosinases and glucosinolates. *Recent Advances in Phytochemistry*, 37(C), 79–99. [https://doi.org/10.1016/S0079-9920\(03\)80019-9](https://doi.org/10.1016/S0079-9920(03)80019-9)
- Bagwan, N. B. (2011). Evaluation of biocontrol potential of *Trichoderma* species against *Sclerotium rolfsii*, *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus*. *International Journal of Plant Protection*, 4(1), 107–111.
- Bautista-Baños, S., Sivakumar, D., Bello-Pérez, A., Villanueva-Arce, R., & Hernández-López, M. (2013). A review of the management alternatives for controlling fungi on papaya fruit during the postharvest supply chain. *Crop Protection*, 49, 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.02.011>
- Bilalis, Di., Krokida, M., Roussis, I., Papastylianou, P., Travlos, I., Cheimona, N., & Dede, A. (2018). Effects of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 321–332. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0027>
- Boček, S., Malý, I., & Patočková, Š. (2008). Yield and quality of bush processing tomatoes fertilized with dried organic and organomineral fertilizers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56(2), 31–37. <https://doi.org/10.11118/actaun200856020031>
- Chiranjeevi, P., Dahiya, S., & Kumar, N. (2018). Waste derived bioeconomy in India: a perspective. *New biotechnology*, 40, 60-69.
- Dias, T., Dukes, A., & Antunes, P. M. (2015). Accounting for soil biotic effects on soil health and crop productivity in the design of crop rotations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 447-454.
- Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current status of *Fusarium oxysporum* formae speciales and races. *Phytopathology*, 109(4), 512-530.
- Fahey, J. W., Zalcman, A. T., & Talalay, P. (2001). The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56(1), 5–51. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00316-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00316-2)
- García, M. R., López, M. H., Necha, L. L. B., Baños, S. B., Rojas, R. T., & Molina, E. B. (2012). In vitro response of *Fusarium oxysporum* isolates to isothiocyanates application. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(1), 1-10.
- Gilden, R. C., Huffling, K., & Sattler, B. (2010). Pesticides and health risks. *JOGNN - Journal of Obstetric, Gynecologic, and Neonatal Nursing*, 39(1), 103–110. <https://doi.org/10.1111/j.1552-6909.2009.01092.x>
- Gordon, T. R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. *Annual review of phytopathology*, 55, 23-39.

- Hansen, Z. R., & Keinath, A. P. (2013). Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Applied soil ecology*, 63, 67-77.
- Hashem, F. A., & Wahba, H. E. (2000). Isothiocyanates in myrosinase treated herb extract of *Cleome chrysantha* Decne. and their antimicrobial activities. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 14(4), 284-287.
- Jurado Bello, J., Haro Bailón, A. D., Hidalgo Moya, J. J., Hidalgo Moya, J. C., Vega Macías, V., & Bejarano-Alcázar, J. (2013). Evaluación de la eficacia de enmiendas basadas en especies crucíferas implantadas como cubiertas vegetales para el control de la verticilosis del olivo en condiciones de campo. XVI Simposium de EXPOLIVA (2013).
- Karavina, C., & Mandumbu, R. (2012). Biofumigation for crop protection: potential for adoption in Zimbabwe. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 14(3), 2071–7024.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Kirkegaard, J. A., Gardner, P. A., Desmarchelier, J. M., & Angus, J. F. (1993). Biofumigation: using Brassica species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. *Proceedings of the 9th Australian Research Assembly on Brassicas*, 77–82.
- Klitkou, A., Fevolden, A. M., & Capasso, M. (Eds.). (2019). *From waste to value: Valorisation pathways for organic waste streams in circular bioeconomies*. Routledge.
- McGovern, R. J. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*, 73, 78-92.
- Murmu, K., Ghosh, B. C., & Swain, D. K. (2013). Yield and quality of tomato grown under organic and conventional nutrient management. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(10), 1311–1321. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.711472>
- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4(July), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
- Palou, L., Ali, A., Fallik, E., & Romanazzi, G. (2016). GRAS, plant-and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 41-52.
- Pongrac, P., Vogel-Mikuš, K., Poschenrieder, C., Barceló, J., Tolrà, R., & Regvar, M. (2013). Arbuscular Mycorrhiza in Glucosinolate-Containing Plants: The Story of the Metal Hyperaccumulator *Noccaea (Thlaspi) praecox* (Brassicaceae). In *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, (Vol. 2, pp. 1023–1032). <https://doi.org/10.1002/9781118297674.ch96>
- Salvador, R., Puglieri, F. N., Halog, A., de Andrade, F. G., Piekarski, C. M., & Antonio, C. (2020). Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 124341.

- Smith, B. J., Kirkegaard, J. A., & Howe, G. N. (2004). Impacts of Brassica break-crops on soil biology and yield of following wheat crops. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(1), 1-11.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85-86.
- Tiznado-Hernández, M. E., & Troncoso-Rojas, R. (2006). Control of fungal diseases with isothiocyanates. *Stewart Postharvest Review*, 1(4), 1-14.
- Troncoso-Rojas, R., Sánchez-Estrada, A., Ruelas, C., García, H. S., & Tiznado-Hernández, M. E. (2005). Effect of benzyl isothiocyanate on tomato fruit infection development by *Alternaria alternata*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1427-1434.
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., De Ruiter, P. C., Van Der Putten, W. H., Birkhofer, K., ... & Hedlund, K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global change biology*, 21(2), 973-985.
- Venter, Z. S., Jacobs, K., & Hawkins, H. J. (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. *Pedobiologia- Journal of Soil Ecology*, 59(4), 215-223.
- Wall, D. H., Bardgett, R. D., & Kelly, E. (2010). Biodiversity in the dark. *Nature Geoscience*, 3(5), 297–298. <https://doi.org/10.1038/ngeo860>
- Wall, D. H., Nielsen, U. N., Six, J., Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., ... van der Heijden, M. G. A. (2015). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 528(7580), 49–56. <https://doi.org/10.1038/nature15744>
- Wood, C., Kenyon, D., Cooper, J., & Barker, A. (2018). Determining the effects of isothiocyanates and biofumigation on *Globodera pallida*. In *The Dundee Conference. Crop Production in Northern Britain 2018*, Dundee, UK, 27-28 February 2018 (pp. 255-262). The Association for Crop Protection in Northern Britain.