

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Pruebas de Efectividad de Subproductos de Brócoli para Control de
Fusarium en Tomate

Por:

JORGE EMILIO AGUIRRE VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Pruebas de Efectividad de Subproductos de Brócoli para Control de
Fusarium en Tomate

Por:

JORGE EMILIO AGUIRRE VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente
Coasesor

Dra. Susana González Morales
Coasesora

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

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi “Alma Terra Mater”, que me abrió sus puertas para lograr una formación profesional sólida.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel, quien con su gran experiencia tuvo la confianza para asignarme la responsabilidad en el desarrollo del presente proyecto y por su asesoría que fue fundamental.

Agradezco a mi familia por su apoyo, confianza y comprensión u finalmente a mis compañeros, (Luis Rey, Fabián, Ramón, Jesús, Hugo, Esteban) que, con su apoyo, desarrollaron un papel muy importante para poder llevar a cabo el proyecto, los mismos que han compartido momentos de felicidad y angustia durante mi estancia en mi “Alma Terra Mater”.

DEDICATORIA

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que sigan a mi lado.

Gracias por su apoyo, y el presente trabajo realizado es con todo cariño para ustedes quienes hicieron mi formación desde niño y hasta el presente.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Generalidades del cultivo del tomate y su relación con <i>Fusarium sp.</i>	4
Control tradicional de <i>Fusarium</i>	5
Biofumigación	6
Glucosinolatos	8
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Descripción del sitio experimental	11
Material vegetal	11
Descripción de los tratamientos	11
Obtención de Subproductos	12
Actividades para el establecimiento del cultivo	14
Labores culturales de manejo del cultivo	16
Poda	16
Retiro de malezas	17
Destapado de las mangueras	17
Tutoreo	17
Fertirriego	17
Tratamiento Fitosanitario	18
Variables evaluadas	19
Diámetro del tallo	20

Número de frutos	20
Peso de frutos.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Incidencia de <i>Fusarium</i> sp.	23
Severidad	24
Peso Fresco	26
Diámetro de Tallo	26
Número de Frutos por Planta	27
Peso Promedio de Frutos.....	28
Rendimiento por Planta.....	29
CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32

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* var. *solani* 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, porque, además, las plantas observaron un mejor desarrollo medido como; peso fresco, número y peso promedio de los frutos y rendimiento por planta.

Palabras clave: Biocontrol, Biofumigación, inocuidad.

INTRODUCCIÓN

Para la producción de tomate (*Solanum lycopersicon* Mill), donde 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). 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).

Estos productos representan 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 L/ha y van aumentando hasta llegar a los 500 L/ha., 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). El costo ecológico está relacionado a la disminución drástica de la microflora del suelo, que se manifiesta en reinfestaciones masivas de patógenos en el suelo, las cuales inician con 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.

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, 1997) 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 isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos etc.. Cada especie de crucífera tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Brown & Morra, 1997; Rosa *et al.*, 1997, Campas-Baypoli *et al.*, 2009, Rodríguez *et al.*, 2013) y estos compuestos se mantienen aún en residuos deshidratados (Hoitink y Boehm, 1999; Lazzeri *et al.*, 2004).

En pruebas de campo se ha comprobado la eficacia de los residuos o esquilmos de Crucíferas o Brassicaceas, incorporados al suelo, sobre el control de *Fusarium*, 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.

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, (Cessa, 2018), lo cual posibilita la obtención de materia prima, para su posible escala comercial.

OBJETIVO

Evaluar la capacidad biofumigante de subproductos a base de esquilmos de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) sobre *Fusarium oxysporum* var. *solani* en plantas de tomate.

HIPÓTESIS

La aplicación de polvo y extracto líquido de esquilmos de brócoli, reducirá la incidencia y severidad de *Fusarium oxysporum* f. var. *solani* en plantas de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo del tomate y su relación con *Fusarium sp.*

El tomate (*Solanum lycopersicon*) es una de las hortalizas más importante en todo el mundo. Pertenece a la familia de las *Solanáceas*, originarias de América del Sur, pero su domesticación se llevó a cabo en México (SAGARPA, 2010). En México es de las hortalizas que más se producen además de que genera divisas y gran fuente de empleo, la superficie sembrada de tomate rojo para enero de 2019 es de 47 mil 200 hectáreas SIAP(2019). Los principales estados productores en el ciclo Primavera – Verano son: San Luis Potosí, Baja California, Michoacán, Zacatecas y Jalisco; mientras que en el Otoño – Invierno son: Sinaloa, Sonora, Michoacán y Jalisco. Durante el periodo 2010 a 2018, las exportaciones nacionales de tomate han oscilado en un rango de 1.4 y 1.6 millones de toneladas. La superficie que es cultivada en suelo equivale a un 63.03 % Del total de la superficie (SIAP, 2018).

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. La marchitez causada por *Fusarium oxysporum f. sp. var. solani*, es una de las principales enfermedades que afecta a este cultivo. El marchitamiento vascular del tomate fue descubierto por primera vez en 1885 por Masse, en las islas de Wight y Guersney (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).

El género *Fusarium* consiste en ascomicetos filamentosos y cosmopolitas, poseen un micelio bien desarrollado, septado, conidióforos y un talo unicelular (Sumalan *et al.*, 2013). Los daños que este provoca en el hospedante son en su mayoría irreversibles las cuales ocasiona grandes pérdidas económicas (García *et al.*, 2017).

A lo largo de los años este hongo se ha convertido en un serio problema ya que produce metabolitos tóxicos que generan un daño a la salud del ser

humano y de los animales. El hongo puede estar presente en el suelo de forma de micelio o como esporas, si existe una planta hospedadora cercana esta favorece a la reproducción del hongo en raíces, en diferentes partes de la planta, en la superficie del suelo y a través del aire o agua (Ma *et al.*, 2013).

El hongo *Fusarium oxysporum*, causa daño a la planta, 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).

Esta enfermedad genera una pérdida económica de hasta un 60%, así como también afecta a la calidad del producto (González *et al.*, 2012). Se conocen tres razas de *Fusarium oxysporum*, las cuales se caracterizan por su virulencia.

Se caracteriza por ser una enfermedad severa en climas cálidos. Los síntomas se presentan en las hojas viejas con un amarillamiento para, posteriormente, extenderse a toda la planta y acabar produciendo una clorosis que en ocasiones se presenta en la mitad o de un solo lado de la hoja (Cárdenas, 2000). Las hojas afectadas pueden seguir adheridas al tallo aun estando marchitas o incluso muertas. Si se realiza un corte transversal del tallo se puede observar una necrosis vascular de color café en forma de anillo la cual se extenderá hacia la parte apical de la planta de acuerdo a la severidad de la enfermedad marchitando o matando a las plantas adultas (Sánchez, 1998).

Control tradicional de Fusarium

Para hacer frente a la presencia de patógenos de suelo, lo más común en las últimas décadas ha sido la utilización de productos de síntesis química. Cuales se utilizan más, daños a la salud, daños al medio ambiente, problema con aumento de dosis a la larga, problemas de costes, infertilidad de suelos por acción indiscriminada.

El uso de pesticidas es la actividad más utilizada para evitar organismos no deseados que ocasionan daños a los cultivos agrícolas afectando así la producción de estos, por otra parte, resulta ser una de las actividades más

riesgosas he inadecuadas para el ser humano debido a las propiedades toxicas que estos poseen (Ortiz *et al.*, 2014).

A lo largo de los años el uso de plaguicidas ha aumentado de manera significativa, alcanzando 5 millones de toneladas a nivel mundial, sin embargo, en la actualidad solo los países desarrollados muestran una disminución del uso, y estos se siguen aplicando de manera indiscriminada en países tropicales. Aproximadamente el 0.1% de los plaguicidas llegan a la planta mientras que los residuos circulan en el medio ambiente, contaminando al suelo, el agua y ecosistema (Carvalho *et al.*, 1998).

Como respuesta al problema generado por la utilización de productos químicos, surge el biocontrol. El control biológico es una alternativa eficiente fuera de riesgos indiscriminados por el uso excesivo de agroquímicos, y de problemas económicos (Agrarios, 2002). Se basa en el uso de organismos o en sus metabolitos o subproductos que de manera natural actúan como adversarios a patógenos y plagas, con el objetivo de reducir el daño que estos provocan a la planta (Serrano *et al.*, 2007). El control biológico también busca lograr seguridad en la producción de alimentos, para que estos estén libres de tóxicos y llevar una vida sana. Así como de analizar e identificar la función que poseen para regular las poblaciones dañinas y reducir el uso de plaguicidas (Nelson, 1991).

Biofumigación

La biofumigación se basa en la acción fumigante de sustancias volátiles, como son los isotiocianatos o los tiocianatos, a partir de la descomposición de materia orgánica, para control de organismos patógenos del suelo. Tiene efectos directos e indirectos, efecto directo sería la acción de estos volátiles sobre los patógenos, mientras que los efectos indirectos, son el resultado de la aplicación de materia orgánica y su posterior descomposición, de esta manera aumentan las poblaciones de microorganismos benéficos que competirán por el espacio con los patógenos, además de mejorar la salud de la planta al tener una mejor nutrición (Bello *et al.*, 2010).

Para la biofumigación pueden utilizarse tanto extractos orgánicos, estiércol, como residuos. Los extractos orgánicos normalmente utilizados son: ajo (*Allium sativum*), ají (*Capsicum frutescens*), higuera (*Ricinus comunis*), nim (*Azadirachta indica*) y paraíso (*Melia azedarach*) (Rodríguez y Nieto, 1997). De igual importancia son el estiércol de cabra, oveja y vaca, o residuos de arroz, champiñón, y aceituna. De todos ellos se ha obtenido una gran eficacia, siendo en algunos casos similar a los biofumigantes convencionales, además de mejorar las características del suelo y la nutrición de la planta. Unas de las plantas más utilizadas para el control biológico son las crucíferas. Se ha demostrado que los restos de Brassicas tienen la misma eficacia que los pesticidas convencionales en el control de nematodos, hongos, insectos, bacterias. Esto es gracias a las propiedades biodesinfectantes que tienen, lo que se debe a que los tejidos de estas plantas contienen una elevada cantidad de compuestos azufrados denominados glucosinolatos (Krikegaard y Sarwar, 1998; Bello *et al.*, 2010).

Además de glucosinolatos, estas plantas producen una gran diversidad de metabolitos secundarios, una parte de ellos siendo metabolitos secundarios tóxicos con conocida acción biocida o biostática, como lo son: amoníaco, nitratos, ácido nítrico, ácido sulfhídrico y ácidos orgánicos, también gracias a la adición de materia orgánica los organismos generan enzimas proteolíticas y quitinolíticas, lo que a su vez, ayudará a aumentar la población de microorganismos antagónicos a los fitopatógenos de suelo. Todos estos metabolitos secundarios tóxicos junto con los microorganismos no patógenos, ayudan a mantener las poblaciones de patógenos y plagas habitantes del suelo en niveles muy bajos, incluso residuales (Montes *et al.*, 1992; Lazarovits *et al.*, 2005). Como Hoitink y Boehm concluyeron en 1999, y posteriormente fue confirmado por Lazzeri *et al.*, en 2004, los residuos deshidratados de brócoli conservan sus características y propiedades desinfectantes y pueden eliminar hongos patógenos como *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*, *Aphanomyces eutiches*, *Thielaviopsis basicola*, *Pythium ultimum*, *Sclerotium rolfsii* y *Rhizoctonia solani*, entre otros.

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)

El uso de cultivos de Brassicas tiene una ventaja con respecto al uso de otro tipo de fumigantes en gasto económico, gasto de recursos y fertilidad de suelo. Es decir, la utilización de plantas o restos de planta de esta familia supone un menor gasto económico tanto a corto como a largo plazo (Bello *et al.*, 2010). Gracias a su acción no indiscriminada, evita que se produzcan desajustes en la fertilidad del suelo, además de mantener las dosis de aplicación estables, por no causar. Otro de los beneficios del uso de Brassicas es su gran versatilidad, pudiendo ser utilizadas de muchas maneras, ya sea en rotación de cultivo, al asociarlas con otros cultivos, o ser aprovechados sus residuos al incorporarlos al suelo, incluso al realizar una preparación de extractos o infusiones a partir de estos (Montes *et al.*, 1992).

Glucosinolatos

El termino glucosinolato fue propuesto en 1961 por GP Dateo (Ettlinger y Kjaeer 1968), la palabra glucosinolato (glucosinolate en inglés) se refiere a la fracción de glucosilo (gluco), la presencia de un grupo sulfato (ate) y la propiedad de ser un precursor de un aceite de mostaza (sinol).

Existen tres diferentes tipos de glucosinolatos; de origen alifático derivado de metionina, glucosinolatos indol o indolico de fuente de triptófano y aromáticos compuestos de fenilalanina. Estos glucosinolatos resultan ser benéficos para la planta, debido a que ayuda a defenderse de los organismos que se alimentan de los productos del floema al igual que ayudan a adquirir capacidad para coordinar la síntesis y el uso de recursos de protección entre los distintos órganos, todos ellos se transportan a través del floema (Sixue *et al.*, 2001).

Los glucosinolatos son un grupo importante de fitoquímicos que se originan de los metabolitos secundarios en las plantas (Fahey *et al.*, 2001; Halkier *et*

al., 2006). Presentes principalmente en la familia de las crucíferas en las que destacan: col de Bruselas, repollo, brócoli y coliflor. La concentración de estos varía dependiendo de la especie e influye de manera directa el tipo de tejido de la planta (Inis *et al.*, 2011). Las rutas de biosíntesis de los glucosinolatos comprenden los procesos de elongación de la cadena de aminoácidos de proteínas, así mismo en el proceso biosintético de los glucosinolatos comprende tres etapas, el alargamiento de aminoácido de cadena, formación de la estructura del núcleo, y la modificación secundaria del glucosinolato inicial (Sonderby *et al.*, 2010).

Cuando la enzima endógena tioglucosidasa, o mirosinasa, hidroliza los glucosinolatos libera moléculas de glucosa, bisulfato, y de la misma manera se forman enlaces de un azúcar reductor y de un azufre que no posee carácter de hidrato de carbono, más comúnmente llamado aglicona (Campas-Baypoli *et al.*, 2009). A partir de esta aglicona, que resulta muy inestable, se obtienen compuestos biológicamente activos como los que destacan isotiocianatos sulfúranos, nitrilos, y tiocianatos. Dichos procesos dependen de las condiciones de reacción y presencia de proteínas asociadas (Inis *et al.*, 2011).

Los glucosinolatos no poseen la característica de ser bioactivos hasta que no han sido hidrolizados enzimáticamente por la enzima mirosinasa que ocurre cuando el tejido del vegetal se rompe como consecuencia de la recolección, procesamiento, o la masticación, es decir por un daño mecánico. Esto genera una pérdida de estructura celular y la mezcla de los glucosinolatos y la mirosinasa para formar isotiocianatos. (Rosa *et al.*, 1997). En algunos tejidos intactos la enzima mirosinasa se encuentra relacionada con la membrana de la célula y separada de los glucosinolatos (que se encuentran almacenadas en las vacuolas) y únicamente actúa cuando los tejidos sufren una autólisis o cuando se fermentan. Cuando se produce esta rotura tisular, los glucosinolatos cianogénicos reaccionan con la enzima glucosidasa liberando el hidrogeno tóxico cianhídrico. Se ha mencionado que la mirosinasa actúa como mecanismo de defensa química que activa al daño en los tejidos de las plantas y actúa primeramente como barrera química para disuadir a una gran cantidad de patógenos. (Koroleva *et al.*, 2000; Lazarovits *et al.*, 2005).

Los residuos de col pueden ser incorporados frescos o secos evitando el daño e hidrólisis endógena por la mirosinasa antes de su aplicación (Lazarovits *et al.*, 2005).

El cultivo de brócoli en México y su Perspectiva como Materia Prima

A nivel mundial, se producen 24.2 millones de toneladas, China es el principal productor, aporta 40%; México es quinto lugar con 2.1% con un consumo per cápita de 1.1 kg, mientras que Estados Unidos más de 5 kg al año, con una población de más de 300 millones representa un mercado con alto potencial.

En México, se siembran 31,900 hectáreas de brócoli, lo que representa 3.3% de la producción de hortalizas. En el 2016, el volumen de producción fue de 507,482 ton, de las cuales Guanajuato ocupó el primer lugar con 320,268 ton; seguido de Michoacán 48,456 ton; Puebla 41,258 ton; Jalisco 25,436 ton; Sonora 15,854 ton, y otros. La zona del Bajío es una de las regiones más productivas de México, Guanajuato es una entidad agrícola importante con una gran diversidad de cultivos, destacando los granos: maíz, sorgo, trigo, cebada; frutas: fresa, arándano, zarzamora, frambuesa, y hortalizas: brócoli, coliflor, espárragos, pimiento, chile, (Cessa, 2018).

De acuerdo a estos datos, México cuenta con una buena producción a nivel mundial, lo que nos abre una gran oportunidad de aprovechar los esquilmos que quedan como residuos de cosecha como materia prima para la realización de un subproducto en base a los mismos.

Es necesario encontrar un uso eficiente de estos esquilmos por lo que estudios confirman lo siguiente; existe una necesidad de encontrar opciones de productos que por un lado permitan el control eficiente de patógenos y que por otro lado sean inocuos y amigables con el medio ambiente. Una opción son los esquilmos de las crucíferas, dado que estudios previos han demostrado su capacidad biofumigante relacionada a la síntesis de tiocianatos (Rincón, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del 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.

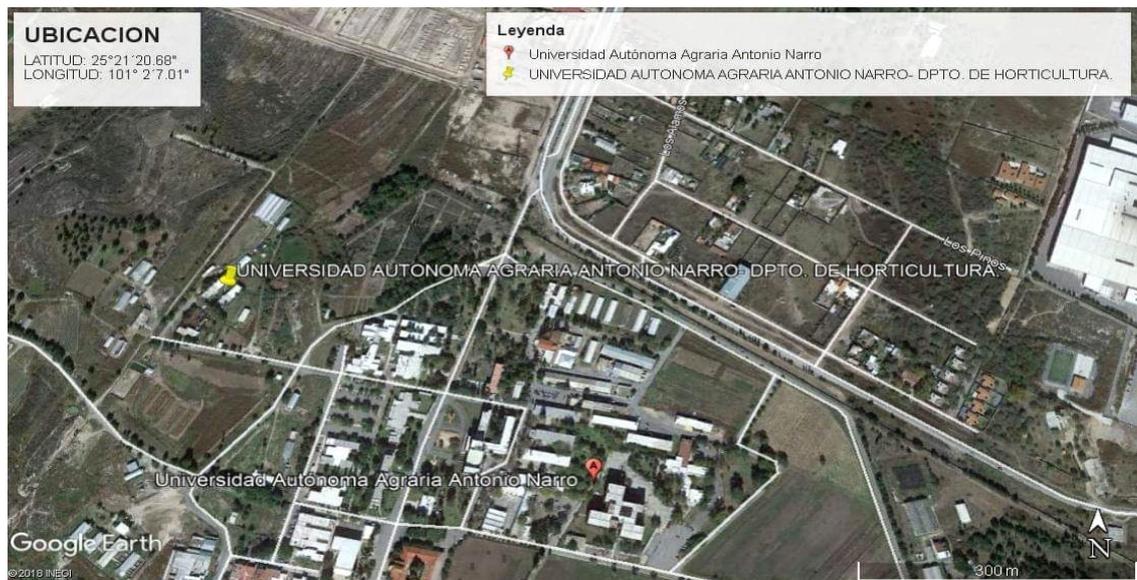


Imagen 1: ubicación geográfica del estudio realizado.

Material vegetal

Para este trabajo se utilizaron plantas de tomate tipo saladette (*Solanum Lycopersicon*). 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 con una plántula.

Actividades para el Establecimiento del Estudio

Obtención del Inoculo

El inoculo 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 inoculo 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.



Imagen 2. Proceso de deshidratación de la col para obtener el subproducto.

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).



Imagen 3. Subproducto extracto, consiste en jugo de brócoli a diferentes concentraciones.

Aplicación de los Subproductos

El polvo se aplicó una la semana antes del trasplante, 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

Actividades para el establecimiento del cultivo

Producción de Plántula. Siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat moss y perlita (Imagen 4).



Imagen 4. Siembra de semillas de tomate en charolas.

El terreno se preparó nivelando la superficie en donde se colocaría el experimento y retirando cualquier tipo de maleza, posteriormente se colocó ground cover en el suelo sellándolo con grapas de alambre (Imagen 6).



Imagen 5. Nivelación y preparación del terreno.

Se colocaron macetas con capacidad de 10 L, que fueron llenadas con una mezcla de suelo agrícola y arena de río en una proporción 3:1, posteriormente

se ubicaron en 6 hileras con los tratamientos completamente al azar (Imagen 6).



Imagen 6: ubicación de las macetas en 6 hileras con los tratamientos completamente al azar.

El trasplante se realizó el 28 de agosto de 2018 colocando 1 plántula por maceta y posteriormente se aplicó riego de 3 L de agua por maceta (Imagen 7).



Imagen 7. Trasplante de 1 plántula por maceta.

El riego utilizado fue por goteo con estaca, para ello se colocó un conducto a lo largo de la hilera y de ella dependían las mangueras individuales de cada maceta (Imagen 8). Se instaló un temporizador o timer para el control de riego. En otoño se aplicaron 4 riegos al día de 6 minutos (1400 ml por maceta/día) cada uno (8:00am, 12:00pm, 3:00pm, 5:00pm) y en invierno se aplicaron tres riegos al día de 5 minutos (1050 ml por maceta/día) cada uno (7:00am, 12:00pm, 5:00pm).



Imagen 8. Riego individualizado de macetas con cintilla tipo espaguetei.

Labores culturales de manejo del cultivo

Poda

Aun y cuando es un tomate determinado se manejó a un tallo, para lo cual se podaron los brotes de la axila cada semana (Imagen 10).



Imagen 9. Retiro de brote axilar de planta de tomate.

Retiro de malezas

Se hacía una limpieza del invernadero, retirando malezas que brotaban de las orillas del invernadero y de las macetas.

Destapado de las mangueras

Por la humedad y por los fertilizantes que había en el contenedor de agua, las mangueras solían taparse y el riego no se realizaba adecuadamente por lo que se monitoreaba la manguera de cada maceta para evitar este suceso.

Tutoreo

A los 15 días de haber trasplantado se colocó rafia para realizar el tutoreo, se guio la planta hacia el tutor con anillos de plástico (Imagen 11).



Imagen 10. Tutoreo en plantas de tomate con anillos.

Fertirriego

En base a análisis de agua realizados previamente (tabla 2), se estableció las cantidades de fertilizante que se iban a aplicar (tabla 3) para completar una fertilización Steiner al 75%.

Tabla 2. Cantidad de distintos elementos en ppm en el agua de riego en base al análisis.

Elementos	ppm en agua
Nitrógeno	5.1
Fosforo	0
Potasio	9.3

Calcio	113
Magnesio	30.3
SO ₄	149
Fe	0

Tabla 3. Cantidad de fertilizantes añadidos al contenedor de agua de 2500 L para obtener fertilización Steiner al 75%.

Fertilizante	G	cm ³
Ácido Fosfórico (H ₂ PO ₄)		187.5 cm ³
Ácido Sulfúrico(H ₂ SO ₄)		262.5cm ₃
Nitrato de Potasio(KNO ₃)	1343.5	
Nitrato de Calcio Ca(NO ₃) ₂	289.5	
Nitrato de Magnesio(Mg(NO ₃) ₂)	148.42	
Micros	37.5	
Urea (CH ₄ N ₂ O)	195.6	

Tratamiento Fitosanitario

De manera ocasional se aplicó extracto de ajo, para prevenir la presencia de plagas en el cultivo. Debido a una plaga de mosquita blanca (*Bemisia Tabaci*) se realizó la aplicación de Furadan aplicando a la plántula pequeña 0.5 cm³ y en plántula más grande 1.5 a 3 cm³.

Posteriormente se aplicó Metamidofos 3 cm³/1L de agua hasta 5 cm³/1L de agua en plantas pequeñas.

Variables evaluadas

Porcentaje de incidencia

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



Imagen 11. Incidencia de Fusarium en plantas de tomate

Porcentaje de severidad

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



Imagen 12. severidad de Fusarium en tomate

Diámetro del tallo

Se realizó semanalmente con un vernier digital en la base del tallo, aproximadamente a 2 cm del suelo (Imagen 12).



Imagen 13. Medida de tallo con vernier digital.

Número de frutos

Se determinó el número de frutos desarrollados y con un buen nivel de polinización por planta.



Imagen 14. detección de formación completa del fruto

Peso de frutos

Se pesó la cantidad total que logro desarrollar cada planta con una balanza electrónica



Imagen 15. peso de los frutos con ayuda de balanza electrónica.

Rendimiento por planta

Se sumó el peso de los frutos obtenidos en cada corte.



Imagen 16. Medida del rendimiento por planta con ayuda de balanza electrónica

Peso fresco

Al finalizar Se cortó la planta dejando 3 cm de tallo por encima del nivel de suelo y la planta completa fue pesada con una balanza electrónica.



Ilustración 1Imagen 17. obtención del peso fresco por planta con ayuda de balanza electrónica.

Análisis de Datos

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* sp.

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 clamidosporas, 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.

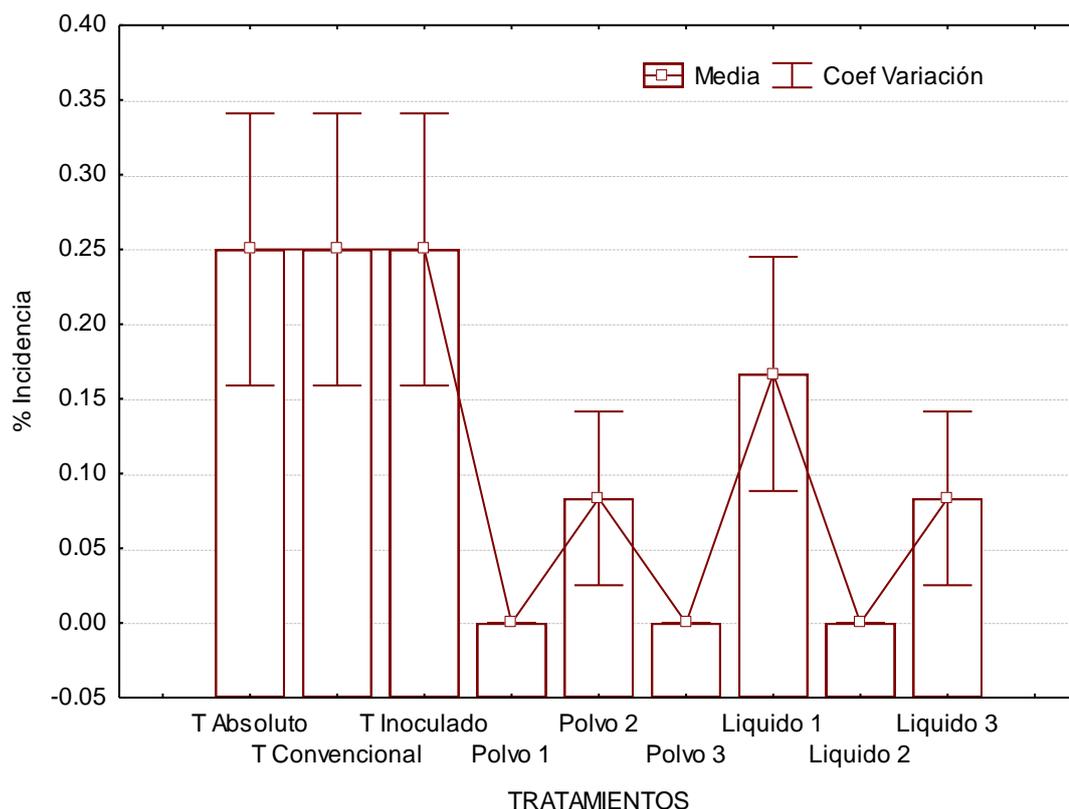


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre la incidencia de *Fusarium* en plantas de tomate.

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.

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.

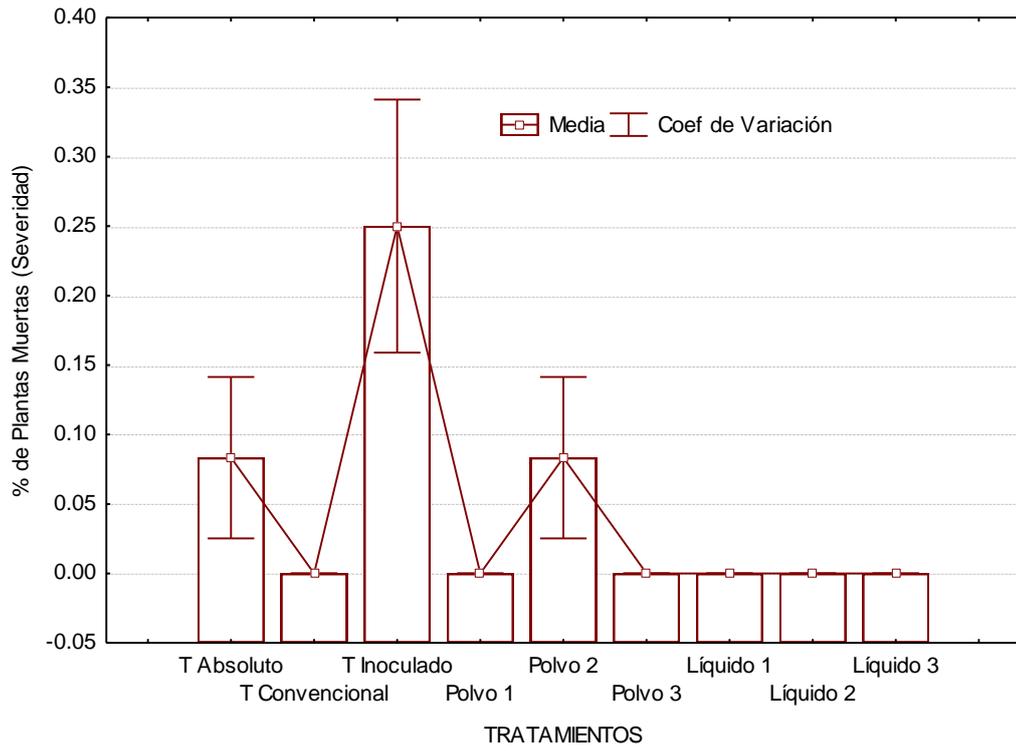


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la severidad de *Fusarium* en plantas de tomate.

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.

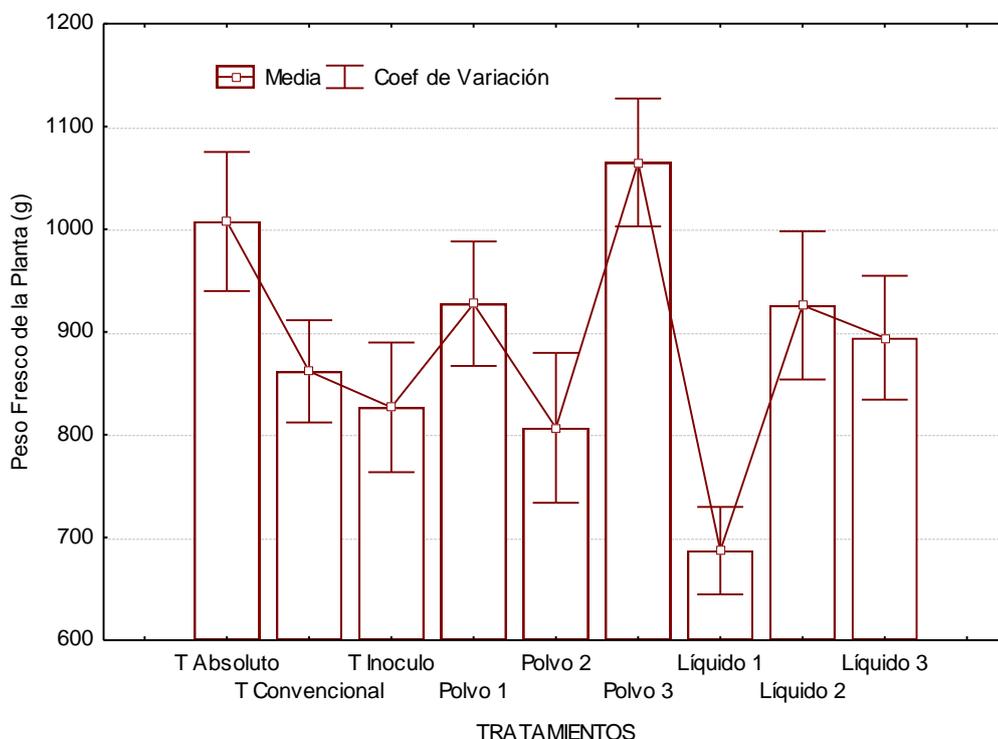


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el peso fresco de las plantas de tomate.

Diámetro de Tallo

Las plantas con tallos más desarrollados, se obtuvieron en los tratamientos donde se desinfecto 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.

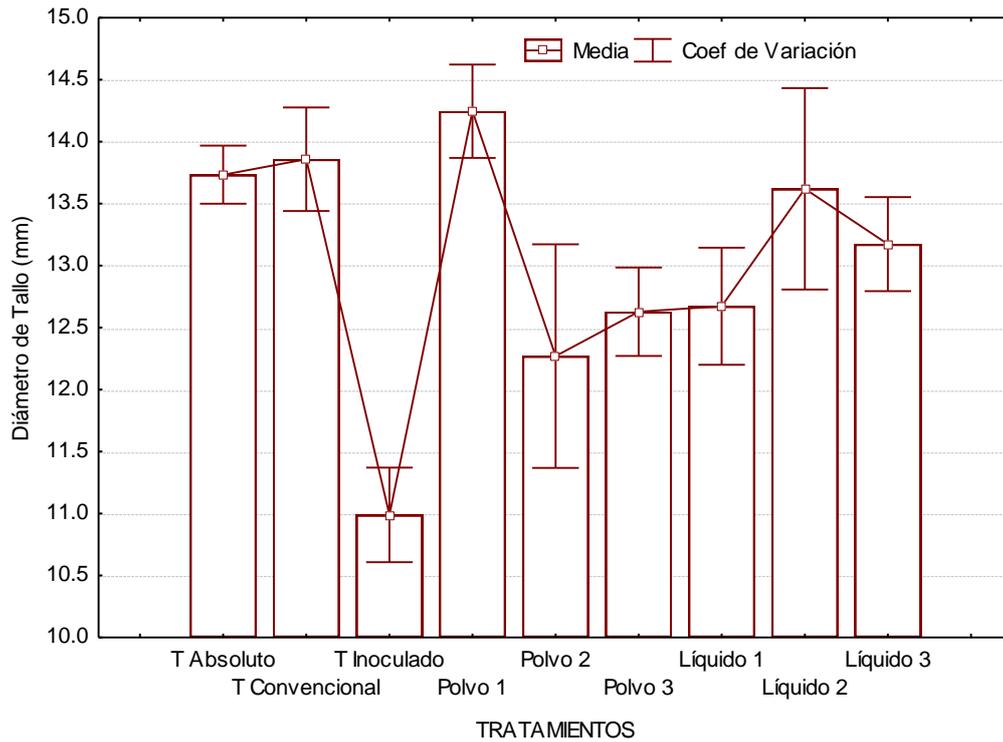


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro del tallo en plantas de tomate.

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.

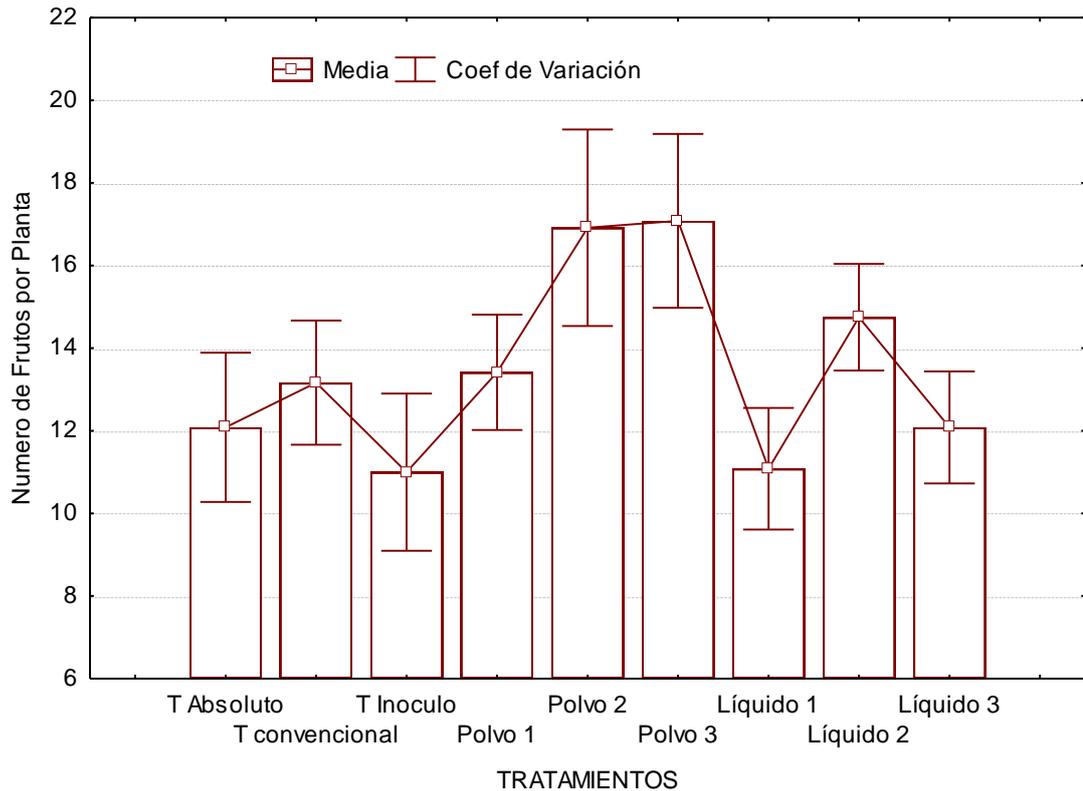


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el número de frutos por planta de tomate.

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)

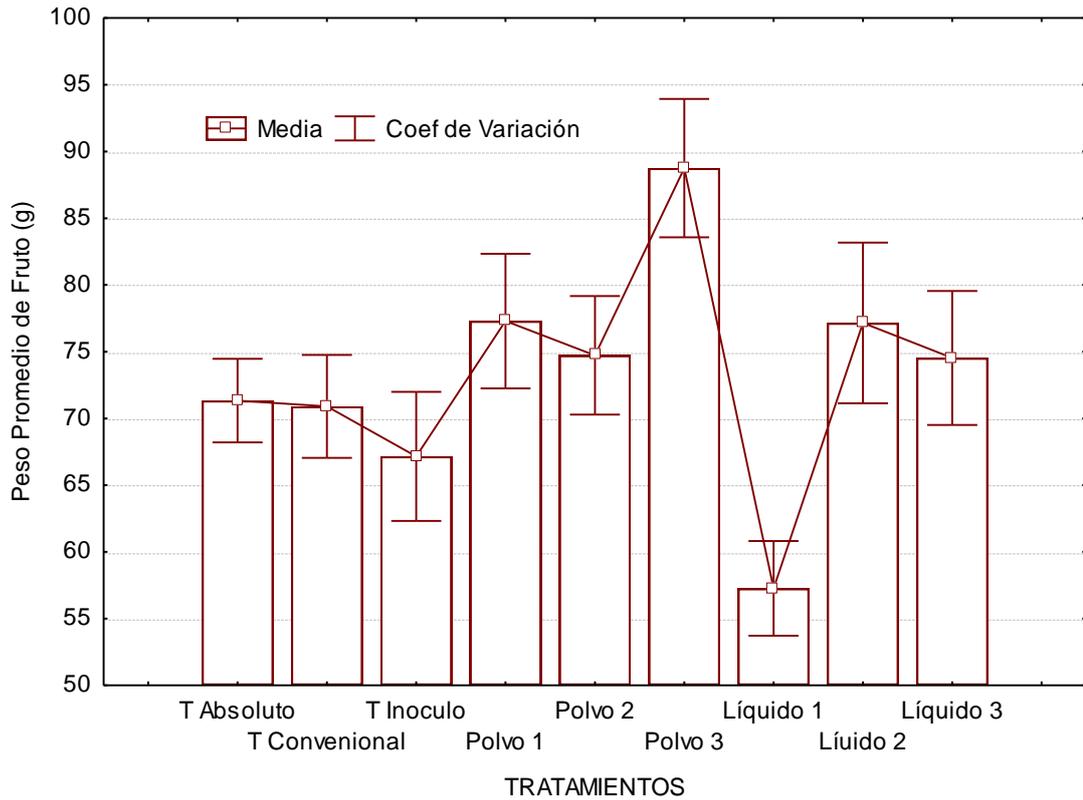


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el peso promedio de los frutos en plantas de tomate.

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.

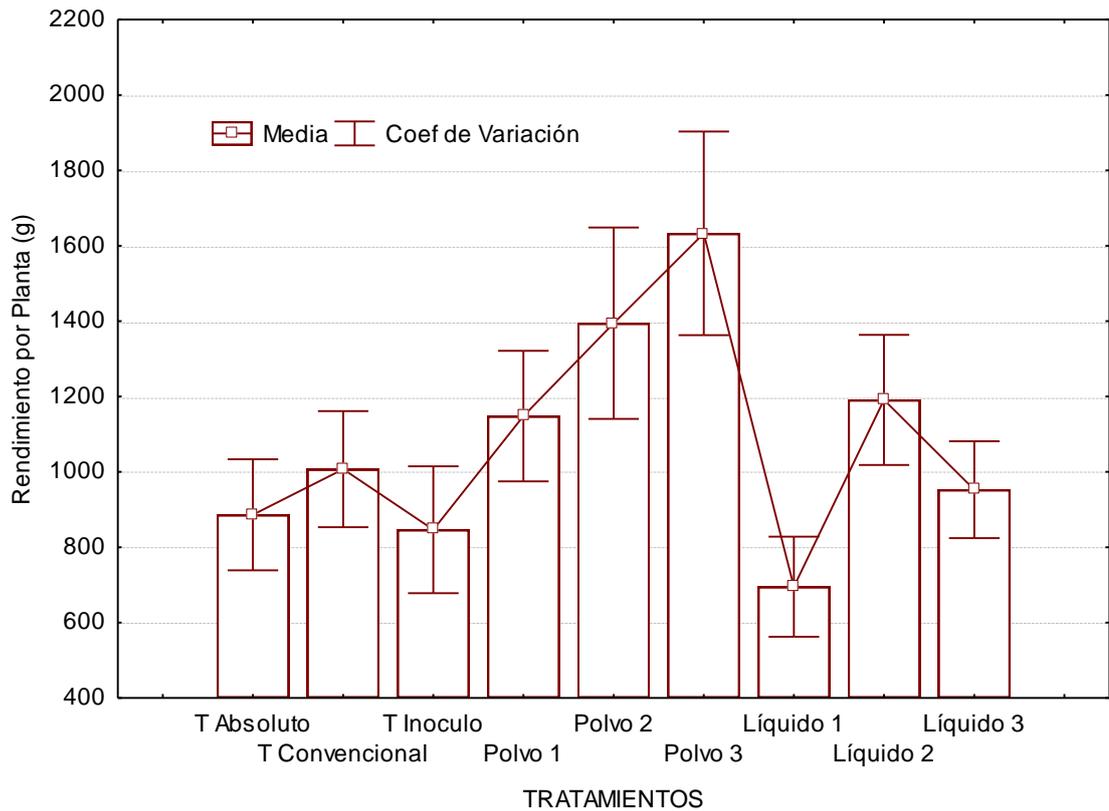


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento por planta de tomate en gramos.

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 inoculo, 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 esquilmos o residuos de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica), con mayor efectividad para el control de *Fusarium* sp. fue el polvo deshidratado a dosis de 0.3 g.L.

El extracto líquido no mostro efecto sobre el control de *Fusarium* sp.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquino-Martínez, J. G., Vázquez-García, L. M., & Reyes-Reyes, B. G. (2008). biocontrol in vitro e in vivo de *Fusarium oxysporum* Schlecht. F. SP. dianthi (prill. y delacr.) snyder y hans. con Hongos Antagonistas Nativos de la Zona Florícola de Villa Guerrero, Estado de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(2), 127-137.
- Arellano Aguilar, O.; Rendón von Osten, J.; (2016). La Huella de los Plaguicidas en México. Greenpeace. <https://ep00.epimg.net/descargables/2016/05/16>
- Bello, J.A., Díez Rojo, M.A., López-Pérez, J.A., Castro, I., Gallego, A. (2010). Bidesinfección de Suelos. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.
- Brown, P.D., Morra, M. (1997). Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Adv. Agron.*, 61, 168-231.
- 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). Contenido de Sulforafano (1-Isotiocianato-4-(Metilsulfinil)-butano) en Vegetales Crucíferos. *archivos latinoamericanos de nutrición*, 59(1), 95-100.
- Carvalho, F., & Zhong, N. Tavaréz y Klaine S. 1998. Rastreo de Plaguicidas en los Trópicos. *Boletín del OEIA*, 40.
- Carrillo Fasio, J. A., Montoya Rodríguez, T. D. J., García Estrada, R. S., Cruz Ortega, J. E., Márquez Zequera, I., & Sañudo Barajas, A. J. (2003). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* Snyder y Hansen, en Tomate (*lycopersicon esculentum* mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2).
- Celis, Á., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., & Cuca, L. E. (2008). Extractos Vegetales Utilizados como Biocontroladores con Énfasis en la Familia Piperaceae. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 97-106.

- Ettlinger, M.G., Kjær, A., 1968. Sulfur compounds in plants. Recent Adv. Phytochem. 1, 59–144.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2012). FAOSTAT, Resources-Pesticides Use. [En línea] FAOSTAT, Resources-Pesticides Use. [Consultado 15/10/2018] Disponible en URL: <http://faostat.fao.org/site/424/default.aspx#ancor>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2018) Boletín mensual de avance de la producción de tomate rojo. [En línea] Use. [Consultado 1/11/201] Disponible en URL: <https://www.gob.mx/siap/documentos/boletin-mensual-de-avances-de-la-produccion-de-tomate-rojo-jitomate>
- García González, B.I., Cervantes Hernández, P., (2017). Tendencia Histórica del Uso de Plaguicidas en la Producción Agrícola de México. Universidad del Mar.
- González, I., Infante, D., Martínez, B., Arias, Y., González, N., Miranda, I., & Peteira, B. (2012). Inducción de Quitinasas y Glucanasas en Cepas de *Trichoderma* spp. Promisoras como Agentes para el Control Biológico. Biotecnología Aplicada, 29(1), 12-16.
- Kirkegaard, J. A., & Sarwar, M. (1998). Biofumigation Potential of Brassicas i. Variation in Glucosinolate Profiles of Diverse Fieldgrown Brassicas. Plant and Soil, 201(1), 71-89.
- 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>
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Solano-Pascacio, L. Y., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., & Rebolledo-Martínez, A. (2009). BIOCONTROL IN VITRO CON *Trichoderma* spp. DE *Fusarium subglutinans* (Wollenweb. y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., Agentes Causales de la "Escoba de Bruja" del

Mango (*Mangifera indica* L.). Revista Mexicana de Fitopatología, 27(1), 18-26.

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>

Pérez, A. R. (2014). Biosíntesis de los Glucosinolatos e Importancia Nutricional Humana y Funciones de Protección a las Plantas. Alimentos Hoy, 22(31), 64-80.

Rodríguez, A (2014) Factores que Influyen en el Tamaño de Frutos de Pera Williams. Ediciones INTA. Colección de divulgación.

Rodríguez DA, & Montilla JO. (2002) Disminución de la Marchitez Causada por *Fusarium* en Tomate con Extracto de *Citrus paradisi*. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica); 63: 46-50.

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., Heaney, R.K., Fenwick, G.R., Portas, C.A.M. (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.

Ruiz Martínez, J.; Vicente, A.A.; Montáñez Saenz, J.C.; Rodríguez Herrera, R. y Aguilar González, C.N. (2012). Un Tesoro Perecedero en México: El Tomate, Tecnologías para Prolongar su Vida de Anaquel. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Num. 54, pp.57-63.

- SAGARPA (2010). JITOMATE. Monografía de cultivos. Subsecretaría de fomento de agronegocios. [En línea]. [Consultado 19/10/2019] Disponible en URL: <http://www.fao.org/3/a-i4079s.pdf>
- Villa Martínez, A., Pérez Leal, R., Morales Morales, H. A., Basurto Sotelo, M., Soto Parra, J. M., & Martínez Escudero, E. (2015). Situación Actual en el Control de *Fusarium* spp. y Evaluación de la Actividad Antifúngica de Extractos Vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-205.
- McGovern, R.J (2015) "Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*". 20(11)
- Winde, I., & Wittstock, U. (2011). Insect Herbivore Counter Adaptations to the Plant Glucosinolate–Myrosinase System. *Phytochemistry*, 72(13), 1566-1575.
- Zavaleta Mejía, E. (1999). Alternativas de Manejo de las Enfermedades de las Plantas. *Terra Latinoamericana*, 17(3).
- Weinberg J. Guía para las ONG sobre los plaguicidas peligrosos y el SAICM. Marco de acción para protegerla salud humana y el medio ambiente de los plaguicidas [Internet]. Filipinas: IPEN/Red Internacional de Eliminación de los COP; 2009 [citado 18 oct 2013]. Disponible
- León Pérez, M. J. (2015). Uso de plaguicidas en producción de arroz de la provincia del Guayas: reducción de costos, rentabilidad económica, disminución del daño al medio ambiente. Período 2010 – 2013
- 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)
- Alvarez-Hernandez Juan Carlos (2012) Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas 9(6)
- García Luis, A. y Guardiola, J.L. 2008. Transporte en el floema. En: Fundamentos de fisiología vegetal. Coord. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. McGraw-Hill/ Interamericana:

Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. 522pp

Zilli Cessa R, (2018) Mexico, Quinto productor mundial de brócoli 10(4)