

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



VALORACIÓN DE RESIDUOS DE CRUCÍFERAS PARA EL BIOCONTROL Y
BIOESTIMULACIÓN DE PLANTAS DE TOMATE INFECTADAS CON *Fusarium*

Tesis

Que presenta WENDY XIOMARA SANDOVAL ORTIZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2022

VALORACIÓN DE RESIDUOS DE CRUCÍFERAS PARA EL BIOCONTROL Y
BIOESTIMULACIÓN DE PLANTAS DE TOMATE INFECTADAS CON *Fusarium*

Tesis

Elaborada por WENDY XIOMARA SANDOVAL ORTIZ como requisito parcial para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

Dra. Susana González Morales

Asesor Principal

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor

Dr. Armando Robledo Olivo
Asesor

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor

Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la dicha de culminar esta etapa, agradezco las pruebas y las recompensas y sobre todo las personas que me acompañaron durante este largo camino.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)

Por abrirme sus puertas y permitirme comenzar una nueva etapa en mi formación académica.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Por su apoyo económico para la realización de este trabajo.

Dra. Susana González Morales

Gracias por su apoyo y orientación durante este proceso, por todos sus consejos y tiempo brindado. Agradezco infinitamente la confianza otorgada al confiarme esta investigación.

A mis asesores Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Armando Robledo Olivo y Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, por darme ese voto de confianza. Agradezco todas sus enseñanzas y apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

A la M.C. Luz Leticia Rivera Solís, Dr. Oscar Sariñana Aldaco y M.C. Raúl Alejandro Ramos Salazar por su guía, apoyo y amistad en este proceso. Gracias.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente ayudaron en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIAS

A mi hijo Santiago Alonso, este logro es por ti y para ti. Gracias por llegar a iluminar mi vida y enseñarme el amor más grande y bonito del mundo. Te amo.

Mi esposo Francisco Alonso Rodríguez Huerta, Por tu apoyo incondicional con el cual me alientas a cumplir todas mis metas y superarme. Por ser mi compañero, que gracias a tus consejos y ayuda fue posible este logro. Te amo.

A mis Padres. Hilda Mayela Ortiz Rosales, Por ser la mejor amiga, consejera, confidente y sobre todo la mejor madre que Dios pudo darme. Diario trato de ser la hija que te llene de orgullo y alegrías. este logro es tuyo. Alberto Sandoval Rangel, al mejor maestro que la vida me dio, tengo la oportunidad de aprender del mejor. Por formarme para siempre dar lo mejor de mí y por todo el amor que me brindas día con día. Los quiero con todo mi corazón.

A mis hermanas Arely Marisol y Alexa Mariela. A quienes trato de darles en mejor ejemplo, gracias por acompañarme en cada momento, por estar ahí al pie del cañón siempre que lo he necesitado. Por siempre animarme y hacer de mí una mejor persona. Las quiero.

A mis abuelitos. Mis dos grandes ángeles Ma. Esther Rosales (+) y Marco Antonio Ortiz (+). Este logro es para ustedes, que desde el cielo sé que están orgullosos de mí. Los quiero mucho y los abrazo con mi corazón.

La familia Montoya Ortiz, Torres Ortiz, Marco Antonio Ortiz Rosales, Adan Morales Ramirez, Brandon Emmanuel Rodriguez y Adrian Sanchez, por acompañarme y respaldarme cuando más lo he necesitado, por siempre estar ahí incondicionalmente. Los quiero mucho.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Cultivo del tomate	4
<i>Fusarium</i> en tomate	4
Síntomas de <i>Fusarium oxysporum</i>	5
Epidemiología de <i>Fusarium oxysporum</i>	6
Manejo y control de <i>Fusarium oxysporum</i>	7
Biocontrol	7
Biofumigación	8
Acción Biofumigante de las crucíferas o brassicas	8
Bioestimulación	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Ubicación del experimento	10
Elaboración de subproductos	10
Caracterización de subproductos	11
Proteínas totales	11
Capacidad antioxidante hidrofílica (ABTS)	11
Fenoles totales	12
Flavonoides totales	12
Aminoácidos totales	13
Carbohidratos totales	13
Prueba de efectividad inhibitoria <i>in vitro</i>	13

Prueba de efectividad biológica en plántula	14
Prueba de efectividad biológica en cultivo	17
Análisis estadístico	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Caracterización de subproductos	21
Prueba de efectividad inhibitoria <i>in vitro</i>	23
Prueba de efectividad biológica en plántulas de tomate	26
Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de la plántula	26
Prueba de efectividad biológica en cultivo de tomate	29
Incidencia de <i>F. oxysporum</i>	29
Severidad de <i>F. oxysporum</i>	30
Efecto de los subproductos de crucíferas sobre el crecimiento del cultivo de tomate	31
Conductancia estomática	31
Altura de planta y longitud de entrenudos	32
Diámetro de tallo	34
Largo y ancho de hoja	34
Rendimiento	36
Calidad física del fruto	36
Vitamina C	37
Actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa, quitinasa y β 1- 3 glucanasa	38
CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variables para la caracterización de los subproductos elaborados a partir de esquilmos de crucíferas.	11
Cuadro 2. Caracterización de los extractos etanólicos, extractos acuosos y polvos de brócoli, coliflor y repollo.	22
Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento o productividad de tomate infectado con <i>Fusarium oxysporum</i> .	36
Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre la calidad de fruto de tomate infectado con <i>Fusarium oxysporum</i> .	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Establecimiento del experimento.	15
Figura 2. Croquis de los tratamientos en la prueba de efectividad biológica en cultivo.	18
Figura 3. Escala de maduración de frutos de tomate.	19
Figura 4. Efecto inhibitorio (%) del extracto acuoso de brócoli, coliflor y repollo sobre <i>Fusarium oxysporum</i> .	24
Figura 5. Efecto inhibitorio (%) del extracto etanólico de brócoli, coliflor y repollo sobre <i>Fusarium oxysporum</i> .	25
Figura 6. Efecto inhibitorio (%) del polvo de brócoli, coliflor y repollo sobre <i>Fusarium oxysporum</i> .	26
Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de la plántula de tomate.	27
Figura 8. Efecto de los subproductos sobre crecimiento de las plántulas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	28
Figura 9. Efecto de los subproductos de crucíferas sobre el crecimiento de plántulas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	29
Figura 10. Porcentaje de plantas con síntomas de <i>Fusarium oxysporum</i> .	30
Figura 11. Efecto de los tratamientos sobre la severidad (plantas muertas) de <i>Fusarium oxysporum</i> en el cultivo de tomate.	31
Figura 12. Efecto de los tratamientos sobre la conductancia estomática de las plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	32
Figura 13. Efecto de los tratamientos sobre la altura de planta y longitud de entrenudos de las plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	33
Figura 14. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de tallo de las plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	34
Figura 15. Efecto de los tratamientos sobre el tamaño de las hojas de plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	35
Figura 16. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de vitamina C en frutos de tomate.	38

Figura 17. Efecto de los tratamientos sobre la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa en plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	40
Figura 18. Efecto de los tratamientos sobre la actividad de la enzima quitinasa en plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> .	41
Figura 19. Efecto de los tratamientos sobre la actividad de la enzima β 1- 3 glucanasa en plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i>	41

RESUMEN

Con el propósito de evaluar subproductos de residuos de brassicas para el control de *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate e identificar biocompuestos relacionados con la respuesta de defensa, se realizó el presente trabajo. Se evaluaron polvos y extractos etanólicos y acuosos, obtenidos de hojas y tallos residuales de brócoli, coliflor y repollo. Se elaboraron los subproductos y se caracterizaron. También se realizó una prueba de inhibición *in vitro*, donde se determinó la capacidad inhibitora de los subproductos sobre *F. oxysporum* en un ambiente controlado. Posteriormente se realizaron estudios de efectividad biológica en plántulas de tomate y en el cultivo de ciclo completo utilizando tomate tipo saladette variedad el Cid F1. En la prueba del cultivo se determinó la actividad enzimática relacionada con los mecanismos de defensa. Como resultado se obtuvieron 9 subproductos. En la caracterización se encontró que los subproductos tienen una concentración media de 145.45 mg L⁻¹ de carbohidratos, 67.6 mg L⁻¹ de proteínas, 94.14 mg L⁻¹ de fenoles, 94.76 mg L⁻¹ de flavonoides y 21.42 mg L⁻¹ equivalentes a Trolox de capacidad antioxidante. En la prueba *in vitro*, la mayor inhibición del crecimiento de las hifas de *F. oxysporum* se obtuvo con los extractos etanólicos a concentraciones de 12.5%. La prueba de efectividad biológica en plántulas, mostró que los subproductos tuvieron efecto sobre el crecimiento. En la prueba del cultivo de tomate, los subproductos suprimieron a la enfermedad causada por *F. oxysporum*, reduciendo la incidencia y la severidad lo cual tuvo impacto en el crecimiento, productividad y calidad del cultivo. Así mismo, los subproductos activaron el mecanismo de defensa de la plantas, al aumentar la actividad de las enzimas fenilalanina amonio liasa (PAL), quitinasa y β 1-3 glucanasa.

Palabras clave: Biofumigación, bioestimulación, manejo sustentable, Fusariosis, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT

The present work was carried out to evaluate brassica residue by-products for the control of *Fusarium oxysporum* in tomato plants and to identify biocompounds related to the defense response. Ethanolic and aqueous powders and extracts obtained from residual leaves and stems of broccoli, cauliflower and cabbage were evaluated. The by-products were elaborated and characterized. An *in vitro* inhibition test was also performed, where the suppressive capacity of the by-products on *F. oxysporum* was determined in a controlled environment. Subsequently, biological effectiveness studies were carried out on tomato seedlings and on the full cycle crop using the saladette tomato variety el Cid F1. In the crop test, the enzymatic activity related to the defense mechanisms was determined. As a result, 9 by-products were obtained. In the characterization it was found that the by-products have an average concentration of 145.45 mg L⁻¹ of carbohydrates, 67.6 mg L⁻¹ of proteins, 94.14 mg L⁻¹ of phenols, 94.76 mg L⁻¹ of flavonoids and 21.42 mg L⁻¹ equivalent to Trolox of antioxidant capacity. In the *in vitro* test, the highest inhibition of *F. oxysporum* hyphae growth was obtained with ethanolic extracts at concentrations of 12.5%. The biological effectiveness test on seedlings showed that the by-products had an effect on growth. In the tomato crop test, the by-products suppressed the disease caused by *F. oxysporum*, reducing the incidence and severity, which had an impact on the growth, productivity and quality of the crop. Likewise, the by-products activated the plant defense mechanism by increasing the activity of phenylalanine ammonium lyase (PAL), chitinase and β 1-3 glucanase enzymes.

Key words: Biofumigation, biostimulation, sustainable management, *Fusarium*, *Solanum lycopersicum*.

INTRODUCCIÓN

Para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L), utilizando suelo como medio de cultivo, uno de los principales problemas fitosanitarios es la marchitez vascular o fusariosis causada por *Fusarium* sp. (Ma *et al.*, 2013). Este hongo provoca marchitez vascular, manchas, pudrición de raíz y tallo hasta llegar a la necrosis de la planta (Agrios, 1985; Villapadua y Sainz 2010). Para su control se utilizan prácticas culturales, rotación de cultivo, control biológico y control químico (Ríos-Hernández *et al.*, 2021) esta última la más recurrente. Este problema se incrementa cuando el cultivo es bajo cubierta, debido al monocultivo y la intensidad de la explotación (Cotler *et al.*, 2021). Para el control de esta enfermedad, lo más común es la aplicación de fumigantes químicos; como el metil ditioicarbamato de sodio, llamado Metam, Busan, Nemasol, Prometan, Raisan, y 1-3 Dicloropropeno; denominado Piclor, Telone (Terralia, 2019). Estos productos conllevan un importante costo tanto económico como ambiental. El costo ecológico se debe a una disminución importante de la microflora nativa del suelo, y el posterior incremento de poblaciones de patógenos, que comienzan con daños a algunas plantas, y posteriormente se expanden, hasta cubrir regiones completas (Abdel-Monaim, Abo-Elyousr, & Morsy, 2011). Por otro lado, el costo económico oscila entre los 8,000 a 37,300 pesos ha⁻¹ (FIRA, 2021), dependiendo de la cantidad a aplicar, normalmente las recomendaciones inician con 125 L ha⁻¹ y van aumentando hasta llegar a los 500 L ha⁻¹; además del incremento de fungicidas, tapetes sanitarios y otras estrategias para contener las reapariciones de patógenos una vez está establecido el cultivo (Carmona & Sautua, 2017).

Por otro lado, el consumidor exige productos más sanos e inocuos o libres de pesticidas (FAO,2020). Todo esto ha llevado a buscar alternativas para el manejo de enfermedades mediante un control más amigable con el medio ambiente e inocuo (Zavaleta-Mejía, 1999).

Una alternativa puede ser el uso de sustancias naturales con propiedades antagonistas a los patógenos, las crucíferas son un claro ejemplo de esto ya que poseen propiedades biodesinfectantes, relacionadas a la elevada cantidad de compuestos azufrados que contienen en sus tejidos denominados glucosinolatos (Brown y Morra, 2005; Rodríguez *et al.*, 2013). A la enzima glucohidrolasa tioglucosido, conocida como mirosinasa (Morra & Kirkegaard, 2002) que hidroliza a los glucosinolatos transformándolos en una aglicona inestable, que posteriormente sufre modificaciones para dar origen a compuestos volátiles

tóxicos como isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos, entre otros. Cada especie de la familia de las Brassicaceae tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Rosa, 1997, Brown y Morra, 2005; Campas-Baypoli *et al.*, 2009; Rodríguez, *et al.*, 2013;), la estabilidad de estos glucosinolatos es alta ya que se mantienen aún en residuos deshidratados (Lazzeri, y Dallavalle, 2004).

En diversos estudios de campo se ha observado la eficacia de los residuos o esquilmos de diferentes plantas del género *Brassica* incorporados al suelo para el control de *Fusarium* sp., sin embargo, su aplicación implica usar las plantas de Brassicas, como cultivo de rotación, lo cual se dificulta en el sistema de agricultura protegida, por la poca disponibilidad de tiempo. Por esta razón se propone evaluar otras opciones, como los extractos líquidos y el deshidratado obtenidos de los esquilmos o residuos de Brassicas, con el fin de ofrecer más opciones a los productores que no puedan o no deseen utilizar cultivos de rotación. Además, evaluar si estos subproductos tienen efectos sobre la estimulación de los mecanismos de defensa endógenos de la planta, de tal manera que esta información posibilite una mejor comprensión y aprovechamiento de esta alternativa para el manejo de la Fusariosis. Con base en lo anterior para este estudio se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo general

Evaluar subproductos de residuos de brassicas para el control de *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate y evaluar biocompuestos relacionados con la respuesta de defensa.

Objetivos específicos

1. Producir y caracterizar extractos (acuoso y etanólico) y polvos obtenidos de residuos de brócoli, coliflor y repollo.
2. Evaluar la capacidad inhibitoria *in vitro* del polvo y los extractos sobre *F. oxysporum*.
3. Evaluar la efectividad biológica del polvo y extractos en plántulas de tomate infectadas con *F. oxysporum*.
4. Evaluar la efectividad biológica del polvo y extractos en el cultivo de tomate infectado con *F. oxysporum*.

Hipótesis

Los subproductos obtenidos de residuos de *Brassicas* inhiben los síntomas de *Fusarium* y tendrán un efecto bioestimulante en plantas de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo del Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con mayor relevancia a nivel mundial, se producen 177.1 millones de toneladas al año, China e India son los principales productores y México ocupa el lugar 10 (FAO, 2021). México produce 3.2 millones de toneladas y exporta el 33% de su producción principalmente a EE. UU, con un valor de 2000 millones de dólares (BancoMext, 2021), la superficie destinada a este cultivo es de 31.5 mil hectáreas, de las cuales 32.8% es a campo abierto (Con acolchado), 40% son invernaderos, 24.6% malla o casa sombra y 0.8% macrotunel (SIAP, 2021).

El tomate rojo o jitomate, es un alimento esencial para la alimentación humana por su aporte de vitaminas, minerales y antioxidantes, Los minerales que contiene son calcio, fósforo, potasio y sodio y las vitaminas que contiene son A, B1, B2, y C. Además, tiene propiedades medicinales entre las que destacan las siguientes: antiséptico, alcalinizante, depurativo, diurético, digestivo, laxante, desinflamatorio y remineralizante (Profeco, 2020).

Fusarium en Tomate

Fusarium oxysporum (Fo)

La especie *Fusarium oxysporum* ataca diversos tipos de plantas económicamente importantes en distintos países y en diferentes regiones, causando marchitamientos vasculares y muerte de las plantas (Villapudua y Sáinz, 2009). La especie *oxysporum* se caracteriza por producir distintas formas especiales, las cuales no se pueden diferenciar por su morfología o por las características culturales de las colonias, pero son fisiológicamente diferentes por su capacidad de parasitar y ocasionar enfermedades en plantas hospedantes específicas (Nelson, 198, Villapudua y Sáinz, 2009).

El hongo produce tres clases de esporas:

Microconidias: Esporas generalmente unicelulares sin septos, hialinas, elipsoidales cilíndricas, rectas o curvadas; se forman sobre fiálides laterales, cortas, simples o sobre conidióforos poco ramificados. Las microconidias tienen 5- 12 μm de largo por 2.5- 3.5 μm de ancho (Nelson, 1981, Agrios 1985).

Macroconidias: Esporas de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, con varias células y de 3 a 5 septos transversales, con la célula basal elongada y la célula apical atenuada; las macroconidias tiene un tamaño de 27 a 46 μm de largo y 3.0 a 4.5 μm de ancho (Nelson, 1981, Agrios 1985).

Clamidosporas: Esporas formadas a partir de la condensación del contenido de las hifas y de las conidias, de paredes gruesas. Se forman simples o en pares, terminales o intercalares: poseen un tamaño de 5 a 15 μm de diámetro (Nelson, 1981). Gracias a ellas el hongo sobrevive en condiciones ambientales desfavorables y en el suelo como saprófito de vida libre en ausencia de plantas hospedantes (Garret, 1977).

Síntomas de *Fusarium oxysporum*

La enfermedad se caracteriza por la aparición unilateral de los síntomas de marchitamiento, acompañada del amarillamiento parcial de las hojas y el doblamiento de los brotes hacia el lado de la planta enferma, a causa de la interferencia en el crecimiento; en estados iniciales en las hojas puede observarse la mitad clorótica y la mitad de un color verde normal. Se observa además un enanismo de los brotes y disminución del crecimiento de la planta. Los síntomas de la enfermedad avanzan afectando la planta hacia arriba hasta causar un marchitamiento generalizado y la muerte, otro síntoma característico es la coloración rojiza, que se observa al realizar un corte diagonal en el cuello de la planta (De Granada *et al.*, 2001; Villapudua y Sáinz, 2009). Cuando este patógeno ataca plántulas ocasiona mal del talluelo, que es favorecido por la carencia de lignina en el tallo, lo que las hace más susceptibles, permitiendo que el patógeno alcance rápidamente los vasos del xilema, causando la destrucción y el colapso del tejido (Agrios, 2005). El tejido vascular de una planta enferma se torna de color pardo oscuro, siendo más notable en el punto de unión del peciolo con el tallo. Este color es característico de la enfermedad y se emplea para su identificación; la médula permanece sana y, ocasionalmente, ocurre infección en el fruto, que se puede detectar por la decoloración del tejido vascular dentro de él (Vásquez-Ramírez *et al.*, 2017).

Cuando el hongo ataca a plantas adultas, la enfermedad se conoce como marchitez vascular. Las plantas muestran amarillamiento, que comienza por las hojas bajas y, por lo general, mueren, la base del tallo adquiere un color oscuro y los haces vasculares se tornan de color pardo oscuro (Vásquez-Ramírez *et al.*, 2017). Una o varias ramas pueden

mostrar síntomas; en ocasiones, las hojas presentan marchitez en los folíolos de un lado del pecíolo, mientras que los del lado opuesto se ven sanos. La marchitez del follaje es más notable después de la floración y cuajado de los frutos y durante los períodos más calurosos del día. Los síntomas son exacerbados por temperaturas altas, alrededor de 28 °C, por pH bajo del suelo y uso de fertilizantes amoniacales (Mc Govern & Datnoff, 1992). Cuando la raíz es invadida por el hongo, el marchitamiento del follaje se acelera, debido a que, en la raíz, se genera una pudrición negra sobre las raíces laterales más jóvenes (Villapudua y Sáinz, 2009). Mientras que, en la raíz principal, se genera una pudrición seca. En muchos casos se puede observar una coloración morada en el tejido de las raíces afectadas (Agrios, 1985). En un corte transversal al tallo, se podrá observar la necrosis vascular, con una tonalidad café en forma de anillo, que se extiende hasta 25 cm sobre la línea del suelo (Agrios, 1985). Una vez, que la planta muere, con una condición de humedad relativa alta, *Fusarium* se fructifica sobre la superficie del tallo (Yadeta & Thomma, 2013) y en ocasiones, sobre las plantas muertas o con una incidencia del 80 – 90%, se producen esporas y micelio con coloración blanco – rosado sobre las lesiones del tallo (Carrillo-Fasio *et al.*, 2003).

Epidemiología de *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum, se desarrolla en los vasos y células parenquimatosas (González *et al.*, 2012) a través de heridas que se generan con el crecimiento de raíces laterales, las clamidosporas germinan e ingresan al tejido de la planta, como micelio avanza hasta el xilema, este se ramifica y forma microconidias, estas son arrastradas por la corriente de la savia (Cardona-Piedrahíta & Castaño-Zapata, 2019). Las microconidias germinan donde se detiene su movimiento ascendente e ingresa penetrando la pared del vaso y se traslocan produciendo más microconidias. El hongo expulsa enzimas pectolíticas (Inami *et al.*, 2012) las cuales, destruyen la lámina del parénquima del xilema, dado a lo anterior, las células mueren y se tornan color café.

Fusarium tiene la capacidad de excretar las toxinas lycomarasmina (causante de necrosis en hojas) y ácido fusárico (produce la coloración café en el tejido vascular de las plantas) (Vasquez-Ramirez y Castaño Zapata, 2017) ambas tienen la capacidad de unirse a metales pesados como el cobre y el hierro, lo cual, las hace altamente nocivas, ya que, afectan la

permeabilidad de la membrana celular y a su vez, inhiben e interrumpen la actividad enzimática (Valencia-Guerrero *et al.*, 2012).

Manejo y control de *Fusarium oxysporum*

Para este hongo regularmente se lleva a cabo un control químico, entre los productos que destacan podemos encontrar, N-metilditiocarbomato de sodio, picloruro de sodio, entre otros.

Otros manejos que se recomiendan para el control son los siguientes, eliminación de residuos de cosechas, aplicación de riego por goteo, aireación de la planta, aplicación de abonos orgánicos, rotación de cultivos (Vasquez-Ramirez y Castaño Zapata, 2017) evitar cultivar en terrenos infestados o con antecedentes de infección, ajustar el pH del suelo entre 7 y 7.2, incorporar residuos de crucíferas (1 - 2%) y cubrir con plástico de acolchado buen drenaje de suelo (Bravo *et al.*, 2012). Por otro lado, el uso de variedades resistentes ha reducido significativamente la incidencia y inhibición de *Fusarium* (Horinouch *et al.*, 2011).

En el control de fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, normalmente es utilizado el manejo químico (Lecomnte *et al.*, 2016), sin embargo, este tipo de tratamientos trae consigo grandes costos, uno de ellos es el costo ecológico ya que, estos productos son biocidas (antibacterianos, antifúngicos, nematicidas y antivirales) los cuales, destruyen la microflora natural del suelo (Tamayo *et al.*, 2016) y su aplicación a largo plazo ha inducido a la resistencia en casos de bacterias y hongos (Valenzuela-Martínez *et al.*, 2019), lo que ha provocado que las dosis de estos productos cada vez sean más altos y por lo tanto más costos. Lo anterior ha obligado a buscar nuevas alternativas de control y manejo, una opción a esta problemática es el biocontrol.

Biocontrol

El biocontrol representa una alternativa atractiva para el futuro debido a las muchas preocupaciones sobre el uso de pesticidas (Lewis, J. A., & Papavizas, G.C. 1991). El biocontrol actualmente ocupa un lugar importante dentro de las prácticas de manejo de enfermedades de las plantas causadas por los patógenos fúngicos del suelo, principalmente de los géneros *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium* entre otros

(Stefanova *et al.*, 1999). El biocontrol de patógenos en el suelo, puede definirse como un sistema (Sandoval-Rangel, 2019), debido a que incluye diversos mecanismos de acción contra patógenos como el uso de resistencia genética (Ascencio-Álvarez *et al.*, 2008), la rotación de cultivos, la biofumigación (Sánchez, A. D. 2018, Civieta-Bermejo *et al.*, 2021), el uso de microorganismos antagonicos y/o competitivos (Dávila Medina *et al.*, 2013) y el fortalecimiento del sistema de defensa endógeno de las plantas (Ojito-Ramos, K., & Portal, O, 2010).

Biofumigación

Se define la biofumigación como "la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas" (Bello et al., 2000). La técnica incrementa su eficacia en el tiempo cuando forma parte de un sistema de producción integrada. Se ha encontrado que, por lo general, cualquier materia orgánica puede actuar como biofumigante, dependiendo su eficacia principalmente de la dosis y del método de aplicación. La biofumigación es una técnica fácil de aplicación por agricultores y técnicos, pues sólo se diferencia de la aplicación de materia orgánica en la elección del biofumigante, que debe estar en vías de descomposición y en el método de aplicación, que debe tener en cuenta la necesidad de retener al menos durante dos semanas los gases biofumigantes producidos en la biodegradación de la materia orgánica, ya que su efecto en la mayoría de los casos no es biocida sino biostático, por lo que es necesario prolongar en el tiempo su acción sobre los patógenos. Se ha podido constatar, también, un marcado efecto herbicida (Bello et al., 2000).

Acción Biofumigante de las Crucíferas o Brassicas

Diferentes especies de Brassicas se utilizan como biofumigantes debido a que poseen propiedades antimicrobianas, relacionada con el alto contenido de compuestos azufrados en sus tejidos denominados glucosinolatos (Krikegaard y Sarwar, 1998). La enzima glucohidrolasa tioglucósido (mirosinasa) hidroliza a estos compuestos y los transforma en los compuestos volátiles tóxicos isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos, tio-oxazolidinas y epitionitrilos; dependiendo de la especie de crucífera (Brown y Morra, 2005). Cada especie de crucífera tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Rosa, 1997; Brown y Morra, 2005; Campas-Baypoli et al., 2009; Rodríguez et al., 2013), 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 inhibición de *Fusarium* spp., ha sido documentada en campo (Gilardi et al., 2016; Prasad y Kumar, 2017; Campanella et al., 2020).

Bioestimulación

Los bioestimulantes son sustancias naturales o sintéticas que provocan algún tipo de cambio en los procesos estructurales de una planta (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015), con el fin de generar una mayor tolerancia (Chen *et al.*, 2021) a algún tipo de estrés, así mismo, tienen la capacidad de actuar sobre procesos fisiológicos (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2020) como el crecimiento y desarrollo, ya que, mejoran la disponibilidad de nutrientes y mejora su absorción (Martínez *et al.*, 2013), mejorando la calidad de cultivo. Pueden estar conformados por compuestos orgánicos, entre los que destacan, ácidos húmicos, vitaminas, aminoácidos, entre otros (de Vasconcelos y Chaves, 2019). Actualmente se identifican siete categorías de bioestimulantes, ácidos húmicos y fúlvicos, aminoácidos y mezclas de péptidos, extractos de algas y plantas, quitosanos y biopolímeros, compuestos inorgánicos, hongos y bacterias beneficiosas (du Jardín, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el periodo enero 2021 – abril 2022 en un invernadero y el laboratorio de Fisiología en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Elaboración de Subproductos

Los subproductos de polvo deshidratado se obtuvieron a partir de las hojas y tallos de repollo (*Brassica oleracea* var *Capitata*), brócoli (*Brassica oleracea* var *Itálica*) y coliflor (*Brassica oleracea* var *Botrytis*). Los desechos o esquilmos se secaron al sol y posteriormente se molieron y tamizaron a una granulometría de 1.0 mm. El polvo obtenido se almacenó en bolsas de papel.

Los extractos etanólicos, se obtuvieron por el método de extracción por maceración con agitación, donde se tomó una muestra de cada brassica con un peso de 1.250 g. Estas muestras se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL, y a cada uno se le añadió 62.5 mL de etanol al 50%; En este método a los componentes se les aplicó agitación manual y permaneció en reposo durante 72 h en un recipiente de material inerte (vidrio) debidamente cerrado.

Los extractos acuosos, se obtuvieron por el método de extracción por infusión, en el cual se colocó en matraces Erlenmeyer de 250 mL, a cada matraz se le añadió 125 mL de agua destilada; posteriormente se colocaron en una parrilla de calentamiento y se calentó el agua a 120 °C durante 5 minutos, transcurrido el tiempo se agregó una la muestra de cada crucífera con un peso de 2.5 g y se dejó reposar durante 1 hora, en este método los componentes se maceraron y permanecieron en reposo durante 1 hora.

Para ambos procesos los extractos se filtraron con papel filtro Whatman No. 1, una vez elaborados los extractos, éstos se protegieron de la luz y almacenados en congelación en frascos de vidrio.

Caracterización de Subproductos

La caracterización de los subproductos consistió en la identificación y cuantificación de los metabolitos que se enlistan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables para la caracterización de los subproductos elaborados a partir de esquilmos de crucíferas.

Metabolito	Método de Identificación y/o cuantificación
Proteínas totales	Bradford, 1976
Aminoácidos totales	Yemm y Cocking, 1995
Carbohidratos totales	Dubois <i>et al.</i> , 1965
Actividad antioxidante	Re <i>et al.</i> , 1999
Fenoles totales	Yu & Dahlgren, 2000
Flavonoides totales	Arvouet-Grand <i>et al.</i> , 1994

Proteínas totales

La cuantificación de proteínas se determinó mediante el método Bradford (Bradford, 1976), donde fueron tomados 50 μL del EE o estándar y se agregó 1.5 mL del reactivo Bradford. Después de 5 minutos, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.). Se realizó una curva de calibración con albúmina de suero bovino estándar (0.005-0.5 mg mL^{-1}). Los resultados se expresaron como mg L^{-1} de proteínas totales en peso fresco.

Capacidad antioxidante hidrofílica (ABTS)

Se determinó por el método de Re *et al* (1999). Se basa en la decoloración del catión radical ABTS. El radical se obtuvo de la reacción del ABTS a 7mM con persulfato de potasio a 2.45 mM (1:1 v/v) en la oscuridad durante 16 h, posteriormente se diluyó con etanol al 20% hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.01 a 754 nm. Para determinar la capacidad antioxidante de los compuestos hidrofílicos, en un tubo de 2 mL se colocaron 20 μL del extracto y 980 μL de la dilución del radical ABTS, se agitó durante 5 segundos

y de dejó reposar 7 minutos en la oscuridad. La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro Uv-vis (Génesis 10s Uv-Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) A 754 nm. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes a ácido ascórbico por gramo de peso seco (mg EAA L⁻¹).

Fenoles totales

Se determinó de acuerdo con la metodología de Yu & Dahlgren (2000). Se pesaron 200 mg de tejido liofilizado y se agregó 1 mL de agua: acetona (1:1), se mezclaron con un pulso de vórtex por 30 segundos, posterior a eso se sónico durante 5 minutos. Se centrifugaron a 12,500 rpm por 10 min a 4°C. Se extrajo el sobrenadante (en caso de ser necesario se realizó una dilución en una proporción 1:2 con solución agua: acetona). Posteriormente, se tomó 50 µL del extracto y se añadió 200 µL de reactivo Folin-Ciocalteu, enseguida 500 µL Na₂CO₃ al 20%, se adiciona 5 mL de agua destilada y se mezclaron con un pulso en el vortex, finalmente se sometieron a baño maría durante 30 min a 45°C. Fueron leídos a una absorbancia de 750 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.). Fue utilizada una curva de calibración con ácido gálico (0.02-0.4 mg mL⁻¹) y los resultados expresados en mg EQ de ácido gálico por L.

Flavonoides

Se identificaron siguiendo el método de Zhishen et al (1999). Los compuestos se extrajeron colocando 100 mg de tejido seco en tubos de 2 mL agregando 2 mL de metanol al 80%. La mezcla pasó por el vortex durante 20 segundos, posteriormente se sónico por 5 minutos y se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos a 4 °C. Para la mezcla se colocaron 250 µL de la alícuota en un tubo de ensayo, enseguida se agregó 75 µL de NaNO₂ al 5% y se agitó en vortex. Transcurridos 5 minutos se agregó 150 µL de AlCl₃ al 10%, después se agregó 500 µL de NaOH 1M y 2.025 mL de agua destilada. La absorbancia fue medida inmediatamente a 510 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.). Los flavonoides fueron cuantificados basados en una curva estándar de catequina basados en peso seco (mg EC L⁻¹).

Aminoácidos totales

Para llevar a cabo la extracción de los aminoácidos, las muestras secas fueron maceradas y se pesaron 50 mg en tubos de 2 mL. Posteriormente se agregó 1.5 mL de buffer de citratos pH 5 a cada tubo, se mantuvieron en vortex durante 30 segundos y se sonicaron durante 10 minutos, posteriormente se colocaron en la centrífuga durante 10 minutos a 10 000 rpm a 4 °C. transcurrido el tiempo se extrajo el sobrenadante y filtro con pirinolas de 45 micras. Para la cuantificación se tomaron 0.250 mL del extracto y se colocó en tubos de vidrio con tapa, posteriormente se agregó 2.25 mL de buffer de citratos, 0.5 mL de ninhidrina al 0.35% a cada tubo estos se agitaron y se colocaron a baño María entre 80 y 100 °C durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo los tubos se llevaron a un baño de hielo y se llevó a lectura a un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Modelo G10S, Waltham, MA, EE. UU.) a 570 nm. La concentración fue obtenida mediante la curva de calibración trazada con leucina grado estándar en un rango entre 10 y 100 mg L⁻¹.

Carbohidratos totales

Para la extracción de los carbohidratos se agregaron 400 µL de la muestra en un tubo, se añadió 400 µL de fenol al 5%, se agitó y se llevó a baño de agua con hielo durante 5 minutos. Se agregó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, se dejó reposar en baño frío durante 15 minutos. Transcurrido el tiempo se agitó levemente y se llevó al baño María a 30 °C durante 5 minutos. Se dejó enfriar por 5 minutos y se leyó en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific Model G10S, Waltham, MA, EE. UU.) a 480 nm. La concentración fue obtenida mediante la curva de calibración de glucosa al 0.1%.

Prueba de Efectividad Inhibitoria *in vitro*

La prueba de efectividad inhibitoria *in vitro* se realizó usando la técnica de medio envenenado de Saharan *et al.* (2013), la cual mide la actividad antifúngica del polvo y de los extractos. Se evaluaron los siguientes tratamientos:

1. Testigo absoluto.
2. Extracto acuoso repollo + *F. oxysporum*
3. Extracto acuoso de brócoli + *F. oxysporum*
4. Extracto acuoso coliflor + *F. oxysporum*

5. Extracto etanólico repollo + *F. oxysporum*
6. Extracto etanólico brócoli + *F. oxysporum*
7. Extracto etanólico coliflor + *F. oxysporum*
8. Polvo repollo + *F. oxysporum*
9. Polvo brócoli + *F. oxysporum*
10. Polvo coliflor + *F. oxysporum*

Cada tratamiento fue evaluado con 10 concentraciones (0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25.4 y 51.8%) y se compararon con un testigo absoluto, cada tratamiento se evaluó en cinco repeticiones, en un diseño completamente al azar. Cada repetición constó de una caja Petri y como medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA). El inóculo se realizó con explantes de micelio de *F. oxysporum* de 8 mm de diámetro de 15 días de crecimiento procedente de una cepa del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Mérida, Yucatán.

Para la prueba de medio envenenado con extractos acuosos se esterilizó el PDA y el extracto, para la prueba de envenenado con extractos etanólicos y la prueba en polvo se esterilizó solamente el medio de cultivo. Todas las cajas se incubaron a 28 °C durante 9 días. Se registró el crecimiento radial del micelio al día 3, 6 y 9 con una regla graduada, para calcular el porcentaje de tasa de inhibición de micelio patógeno, se utilizó la fórmula:

$$\text{Tasa de inhibición} = \frac{m_c - m_t}{m_c} * 100$$

MC = Crecimiento de micelio en el control.

MT = Crecimiento del micelio en el tratamiento (Saharan *et al.*, 2013).

Prueba de efectividad biológica en plántula

Para esta prueba se utilizaron semillas de Tomate tipo Saladette o Roma Cid F1, de la empresa Harris Moran Seed. La semilla de El Cid F1. Cita en su etiqueta tolerancia a *Fusarium* raza 1, 2 y 3. Va, Ma, Mi, Mj, ToMV (Harris Moran, 2019). Las plántulas se produjeron en charolas de poliestireno de 200 cavidades y como sustrato peat moss. La siembra se realizó el día 5 de abril del 2021.

Se evaluaron tres subproductos: extractos etanólico, acuoso y polvo deshidratado obtenidos de hojas y tallos residuales de brócoli, coliflor y repollo, se compararon con un testigo absoluto (sustrato esterilizado), un testigo comercial (sustrato tratado con BUSAN) y un testigo inoculado (sustrato sin tratamiento más inóculo). Cada tratamiento se evaluó en 10 repeticiones, en un diseño completamente al azar y cada repetición fue una planta.

Tratamientos

1. Testigo Absoluto
2. Testigo Suelo esterilizado + *F. oxysporum*
3. Testigo Comercial (*F. oxysporum* + BUSAN)
4. Extracto acuoso repollo + *F. oxysporum*
5. Extracto acuoso de brócoli + *F. oxysporum*
6. Extracto acuoso coliflor + *F. oxysporum*
7. Extracto etanólico repollo + *F. oxysporum*
8. Extracto etanólico brócoli + *F. oxysporum*
9. Extracto etanólico coliflor + *F. oxysporum*
10. Polvo repollo + *F. oxysporum*
11. Polvo brócoli + *F. oxysporum*
12. Polvo coliflor + *F. oxysporum*



Figura 1. Establecimiento del experimento.

Transplante

El trasplante se realizó en vaso de poliestireno de 0.25 L y como sustrato Peat-moss[®]. Los tratamientos con polvo a una dosis de 1.0 g L⁻¹ se aplicaron al sustrato antes de realizar el trasplante. Los extractos se aplicaron de manera foliar a una concentración de 3.0 L ha⁻¹ cada 7 días.

Producción del inóculo e inoculación

El inóculo se realizó dejando crecer el patógeno en cajas Petri con medio PDA (dextrosa 20 g L⁻¹, infusión de papa 4 g L⁻¹ y agar 15 g L⁻¹ durante 15 días a 28°C. Transcurrido el tiempo, se tomaron las cajas Petri y se cortó el micelio en discos de 8 mm, se tomaron entre 10 y 14 discos y se introdujeron un tubo de centrifuga con 15 mL de agua destilada estéril, se agitó en vortex[®]. Posteriormente se realizó un conteo de esporas en una cámara de Neubauer[®] para ajustar a una concentración de 1x10⁶ esporas o conidias por mL. De esta solución se tomó un mL y se aforó a 50 mL con agua destilada, posteriormente se aplicó al sustrato, previamente, se realizaron 3 cortes verticales sobre el sustrato a un cm del tallo, con el propósito de formar heridas en la raíz y favorecer la infección de las plantas.

Variables Evaluadas

Las variables de respuesta que se evaluaron fueron las siguientes:

Incidencia: Número de plantas con presencia de síntomas del patógeno.

Porcentaje de incidencia: Fue determinado como porcentaje de plantas con síntomas en el cuello de la plántula.

Severidad: Se midió mediante una escala visual, utilizando la escala propuesta por Diener y Ausubel (Diener & Ausubel, 2005). La cual se describe a continuación: 0= planta muerta (100%); 1= hojas viejas muertas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (80%); 2= hojas viejas cloróticas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (60%); 3= hojas viejas con clorosis vascular y hojas jóvenes con crecimiento detenido (40%); 4= peciolo de hojas con crecimiento detenido (20%); 5= sin síntomas visibles (0%).

Altura de planta: Se midió con una regla graduada el largo de la planta empezando desde el tallo.

Número de hojas: Se contabilizó el número de hojas.

Diámetro de tallo: Se utilizó un vernier digital modelo CALDI-6MP marca Pretul®.

Tamaño de hoja mayor: Se midió la hoja de mayor largo de cada plántula, con una regla graduada.

Biomasa: Se cortó la planta a la altura del cuello y se pesaron las hojas en fresco con una balanza digital marca: Scout® Pro, modelo: Scout Pro SP2001.

Prueba de Efectividad Biológica en Cultivo

Para esta prueba se utilizaron las plántulas de la etapa anterior. Al igual que en la prueba en plántula, se evaluaron tres subproductos: extractos etanólico, acuoso y polvo deshidratado obtenidos de hojas y tallos residuales de brócoli, coliflor y repollo, se compararon con un testigo absoluto (suelo esterilizado), un testigo comercial (suelo tratado con BUSAN) y un testigo inoculado (suelo sin tratamiento más inóculo). Cada tratamiento se evaluó en 10 repeticiones, en un diseño completamente al azar (Figura 1) y cada repetición fue una planta en una maceta de polietileno de 10 L.

Tratamientos

1. Testigo Absoluto (Suelo esterilizado)
2. Testigo Suelo esterilizado + *F. oxysporum*
3. Testigo Comercial (*F. oxysporum* + BUSAN)
4. Extracto acuoso repollo + *F. oxysporum*
5. Extracto acuoso de brócoli + *F. oxysporum*
6. Extracto acuoso coliflor + *F. oxysporum*
7. Extracto etanólico repollo + *F. oxysporum*
8. Extracto etanólico brócoli + *F. oxysporum*
9. Extracto etanólico coliflor + *F. oxysporum*
10. Polvo repollo + *F. oxysporum*
11. Polvo brócoli + *F. oxysporum*
12. Polvo coliflor + *F. oxysporum*

Se utilizó suelo sin cultivar y sin presencia de *Fusarium oxysporum*. Los tratamientos con polvo a una dosis de 1.0 g L⁻¹ se aplicaron al sustrato antes de realizar el trasplante. Los extractos se aplicaron de manera foliar a una concentración de 3.0 L ha⁻¹ cada 10 días.

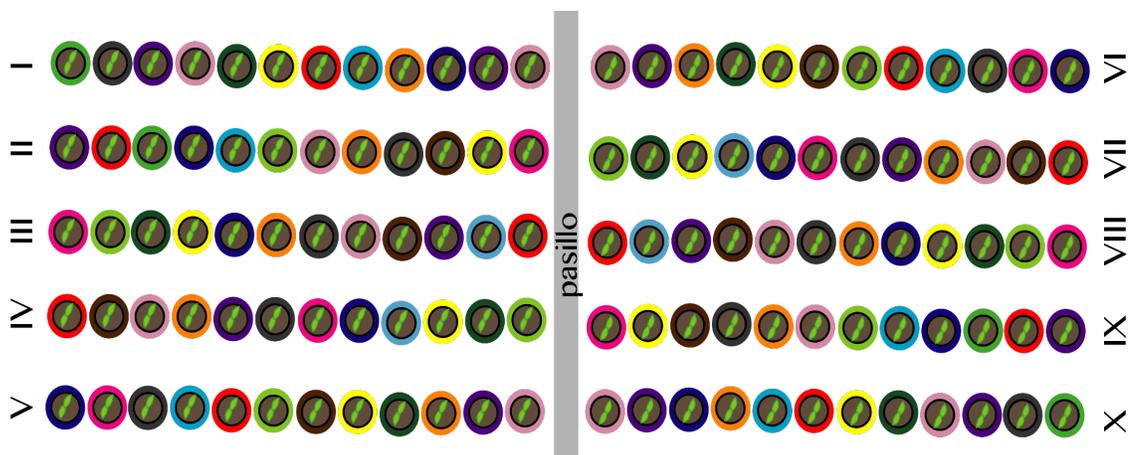


Figura 2. Croquis de los tratamientos en la prueba de efectividad biológica en cultivo.

Producción del Inóculo e Inoculación

Al igual que en la prueba de plántula se produjo el inóculo con el mismo método y la inoculación se llevó a cabo con una solución ajustada a 1×10^6 esporas o conidios por mL., de esta solución se tomó un mililitro y se aforó a 50 ml con agua destilada, posteriormente se aplicó a las macetas a las cuales previamente, se les realizaron 3 cortes verticales sobre el suelo a dos cm del tallo, con el propósito de formar heridas en la raíz y favorecer la infección de las plantas.

VARIABLES EVALUADAS

Incidencia. Número de plantas con presencia de síntomas del patógeno.

Severidad. Se midió mediante una escala visual, utilizando la escala propuesta por Diener y Ausubel (Diener & Ausubel, 2005). La cual se describe a continuación: 0= planta muerta (100%); 1= hojas viejas muertas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (80%); 2= hojas viejas cloróticas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (60%); 3= hojas viejas con clorosis vascular y hojas jóvenes con crecimiento detenido (40%); 4= peciolo de hojas con crecimiento detenido (20%); 5= sin síntomas visibles (0%).

Crecimiento de la Planta

Las variables agronómicas fueron medidas cada 15 días

Conductancia Estomática. Como una medida indirecta de la fotosíntesis se midió la conductancia estomática con un Porómetro de Hoja Marca Decagon Modelo SC-1. Para

ello se eligieron las hojas de la parte superior del racimo en desarrollo o próximo a cosecha.

Altura de planta: Se midió con una regla graduada el largo de la planta empezando desde el tallo.

Número de hojas: Se contabilizó el número de hojas.

Diámetro de tallo: Se utilizó un vernier digital modelo CALDI-6MP marca Pretul®.

Tamaño de hoja mayor: Se midió con una regla graduada la hoja más cercana al racimo previo a la cosecha.

Biomasa: Se cortó la planta a la altura del cuello y se pesaron las hojas en fresco con una balanza digital marca: Scout® Pro, modelo: Scout Pro SP2001.

Rendimiento

Número y Peso de Frutos por Planta. Se cortaron los frutos en grado de maduración 4 y en cada corte se contabilizó y pesó el número de frutos.

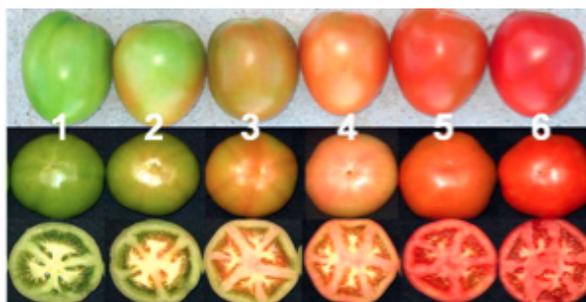


Figura 3. Escala de maduración de frutos de tomate de escala 1-6 (Vellsam, 2017)

Calidad física del fruto. De cada corte se seleccionaron 3 frutos, a los cuales se les midió; diámetro polar y ecuatorial con un vernier. El peso promedio se obtuvo de dividir el peso de los frutos entre el número de los mismos. Para la firmeza se midió la parte media del fruto con un penetrómetro marca Speer.

Calidad química del fruto. Tres frutos por tratamiento se partieron por la mitad y se les midió:

pH en Pulpa. Con un potenciómetro marca Hanna modelo HI98107.

Sólidos totales. Con un refractómetro marca Sper Scientific modelo 300010.

Contenido de vitamina C. Se determinó por el método de titulación con 2,6 diclorofenolindofenol (Padayatt *et al.*, 2001). Se pesaron 10 g de fruto fresco y se maceraron en un mortero con 10 mL de HCl al 2%, para después ser filtrado a través de una gasa absorbente estéril sobre un matraz de aforación de 100 mL. Se tomó una alícuota de 10 mL y se tituló con 2,6 diclorofenolindofenol hasta obtener una coloración rosácea persistente. Los resultados se expresaron en mg 100 g de peso fresco⁻¹.

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron (ANOVA $P \geq 0.5$) en base al modelo de bloques completos al azar. Las variables estadísticamente diferentes se les realizó una prueba de medias de Tukey ($P \geq 0.05$). (Zar, 1996). Se utilizó el software Estadística versión 7.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de Subproductos

La caracterización de un producto es la determinación de sus propiedades o componentes (RAE, 2022). La caracterización de los subproductos obtenidos de residuos de hojas y tallos de brócoli, coliflor y repollo se basó en la medición del contenido de carbohidratos, proteínas fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante total (Cuadro 2).

El contenido promedio de carbohidratos en los subproductos fue de 145.45 mg L⁻¹, y no hubo diferencia estadística en el tipo de subproducto ni en el cultivo de origen del subproducto. Aun y cuando esta técnica mide carbohidratos totales, un alto contenido de estos compuestos es deseable por que la acción fumigante se atribuye al contenido de un carbohidrato denominado Glucosinolato (Brown & Morra, 2005; Rodríguez *et al.*, 2013) y su posterior degradación a tiocianatos, isotiocinatos, sulfhidrilos, nitrilos (Rosa, 1997; Brown & Morra, 2005; Campas-Baypoli *et al.*, 2009; Rodríguez, *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Caracterización de los subproductos obtenidos de hojas y tallos residuales de brócoli, coliflor y repollo.

Sub-productos	Cultivo de origen	Carbohidratos totales (mg L ⁻¹)	Proteínas totales (mg L ⁻¹)	Fenoles totales (mg L ⁻¹)	Flavonoides totales (mg L ⁻¹)	Capacidad antioxidante total (mg L ⁻¹ ASA)
Extractos etanólicos	Brócoli	125.76 ± 13.6 a	131.63 ± 4.4 a	140.12 ± 9.3 a	101.18 ± 15.87 b	23.29 ± 18.2 a
	Repollo	163.39 ± 3.8 a	95.94 ± 7.7 a	109.62 ± 17.9 b	116.95 ± 3.32 a	21.19 ± 21.6 a
	Coliflor	152.29 ± 8.6 a	92.36 ± 4.2 a	121.62 ± 11.9 ab	108.48 ± 3.76 ab	24.10 ± 19.3 a
Extractos acuosos	Brócoli	139.57 ± 5.8. a	34.47 ± 8.8 c	129.37 ± 4.3 ab	63.51 ± 4.88 c	21.75 ± 12.5 a
	Repollo	112.92 ± 5.0 a	32.47 ± 14.5 c	109.37 ± 8.4 b	61.93 ± 6.28 c	16.49 ± 10.0 a
	Coliflor	126.02 ± 7.7. a	32.47 ± 14.5 c	111.12 ± 11.4 b	74.25 ± 3.07 c	17.63 ± 12.0 a
Polvo	Brócoli	215.55 ± 16.9 a	59.85 ± 10.5 b	50.12 ± 10.3 c	88.44 ± 6.65 b	22.56 ± 11.7 a
	Repollo	131.48 ± 8.3 a	59.63 ± 8.9 b	32.62 ± 6.8 c	87.46 ± 10.15 bc	23.37 ± 17.6 a
	Coliflor	142.11 ± 4.0 a	69.63 ± 9.2 b	43.37 ± 10.9 c	64.81 ± 4.46 c	22.40 ± 5.96 a

El contenido promedio de proteínas fue de 67.6 mg L^{-1} , y fue diferente de acuerdo al tipo de subproducto, los mayores valores se obtuvieron el extracto etanólico y los menores en el extracto acuoso. Al igual que para los carbohidratos un alto contenido de proteínas puede estar relacionado a una mayor capacidad fumigante, porque la transformación de los glucosinolatos a tiocianatos e isotiocinatos inicia con la acción de la proteína o enzima glucohidrolasa tioglucósido denominada mirosinasa (Morra & Kirkegaard, 2002).

Los fenoles también llamados, hidrobenceno o ácido carbólico se encontraron en los subproductos a una concentración de 94.14 mg L^{-1} , y fue diferente de acuerdo al subproducto y el tipo de cultivo, en general la mayor concentración se encontró en los extractos de brócoli. Un contenido alto de fenoles en los subproductos es deseable, por su actividad antibacteriana, soluciones al 5% destruyen la pared celular de las bacterias y también de esporas pero en menor medida (Iturbide y Zuñiga, 2017; Villota-Urbano 2020).

La concentración de los flavonoides en los subproductos fue de 94.76 mg L^{-1} , y fue mayor en los extractos acuosos y en el polvo deshidratado. Los son flavonoides compuestos fenólicos caracterizados por una estructura benzo- γ -pirano y se encuentran en las plantas en forma de glicósidos es decir combinados con azúcares (Baker y Ollis 1995).

Son importantes por su participación en los mecanismos de defensa de las plantas, de hecho el metabolismo fenólico se activa a nivel de transcripción como una respuesta al estrés biótico y abiótico (Cartaya y Reynaldo 2001). Por ejemplo, la síntesis de fitoalexinas (coloración negra) en chiles jalapeños como una respuesta a la radiación UV (Sandoval-Rangel 2021), la síntesis de pisantina en la raíz como una respuesta al ataque de hongos presentes en el suelo como *Fusarium*, *Rhizoctonia* o *Verticillium* (Cartaya y Reynaldo 2001). Las flavonas, flavononas e isoflavononas presentes en los tejidos representan una barrera a la penetración de hongos fitopatógenos (Swiader y Lamer 1996; Faraa y Tahara 1999).

Así mismo, los flavonoides están contenidos en los vegetales, particularmente en brócoli y col, y son importantes para las plantas y como alimento para los humanos por su alta capacidad antioxidante (Oamah y Mazza 1996). La actividad antioxidante presente en los subproductos de brassicas fue de 21.42 mg L^{-1} equivalente a Trolox y no hubo diferencia entre los subproductos ni para cultivo de origen. El método ABTS (Ácido 2,2 azino-bis-3-etilbenzotiazolona), se basa en la reducción de la coloración verde/azul producida por

la reacción del radical ABTS con los compuestos con capacidad antioxidante contenidos en los subproductos (Prior, et al. 2005). Los valores obtenidos se encuentran entre el rango reportado para vegetales y no se encontró una relación con el contenido de fenoles y flavonoides como lo reporta la literatura (Muñoz et al, 2007).

Prueba de efectividad inhibitoria *in vitro*

Las pruebas *in vitro* (En vidrio), son ensayos en medios aislados o controlados, generalmente en tubos de ensayo matraces (Agrios, 1995) en este caso cajas Petri. Este estudio se realizó con el propósito de conocer la capacidad inhibitoria a *F. oxysporum* de los extractos etanólicos, acuosos y el polvo deshidratado obtenidos de hojas y tallos residuales de brócoli, coliflor y repollo en un medio aislado y libre de contaminantes. El extracto etanólico, muestra que la inhibición del crecimiento del micelio de *F. oxysporum* sobre el medio de cultivo, fue proporcional a la concentración de extracto aplicado (Figura 4). Desde el punto de vista agronómico se buscan porcentajes de inhibición altos, por lo tanto, las dosis o concentraciones de 12.8%, serían las más aceptables. El efecto inhibitor de los extractos etanólicos pueden estar relacionados por un lado a los tiocinatos, isotiocinatos, sulfhidrilos, nitrilos resultantes de la degradación de los glucosinolatos (Rosa, 1997; Brown & Morra, 2005; Campas-Baypoli *et al.*, 2009; Rodríguez, *et al.*, 2013), al contenido de fenoles identificado en la caracterización y al etanol utilizado como agente extractante, debido a que los alcoholes reducen la tensión superficial, desnaturalizan las proteínas y por consiguiente lisis o destrucción de la pared celular. Su acción es rápida, incluso desde los 15 seg, principalmente en concentraciones de 70%, con mayor efectividad contra bacterias, virus y en menor grado contra hongos, (González-Álvarez *et al.*, 2015; Dimedi et al, 2017).

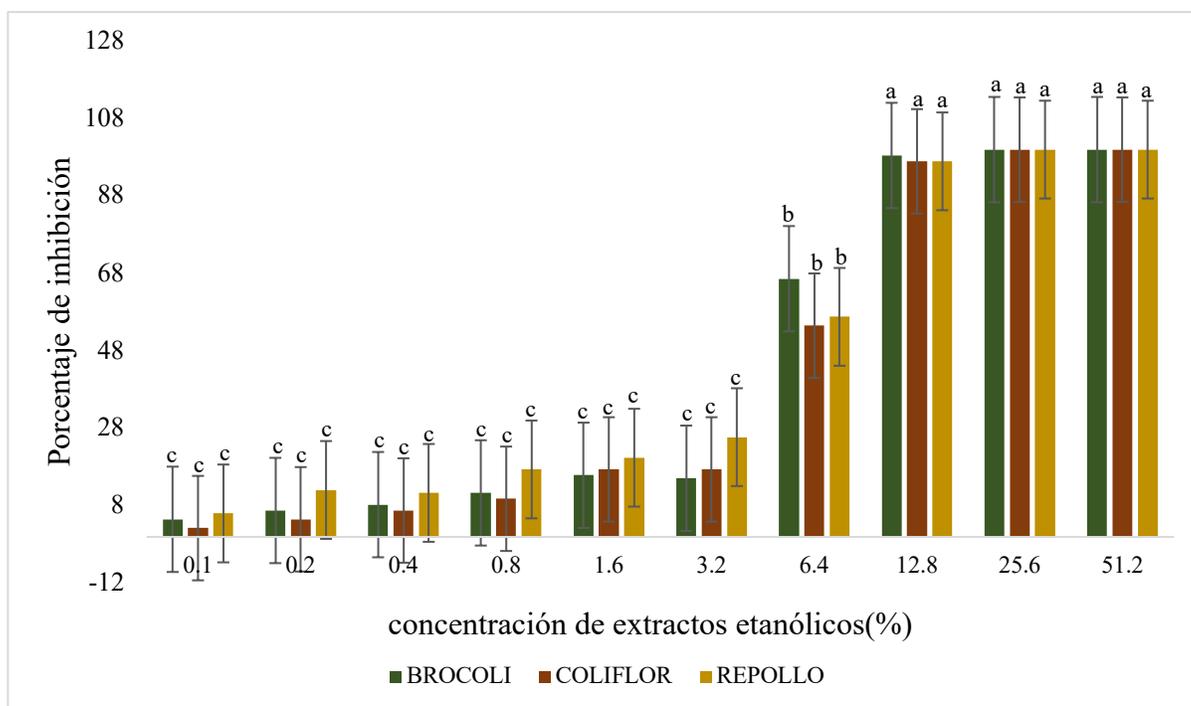


Figura 4. Efecto inhibidor (%) del extracto etanólico de brócoli, coliflor y repollo sobre *Fusarium oxysporum*

Los extractos acuosos mostraron una inhibición menor a *Fo* que los extractos etanólicos pero al igual que los extractos etanólicos la actividad inhibitoria es directamente proporcional a la concentración y la concentración más aceptable es 12.8%. Sin embargo, en este tipo de extracto el cultivo de origen si es significativo y destaca el cultivo de brócoli (Figura 5). La menor inhibición de este extracto, respecto al etanólico, puede ser debido a la menor capacidad extractante del agua y a que no se suma la inhibición del etanol.

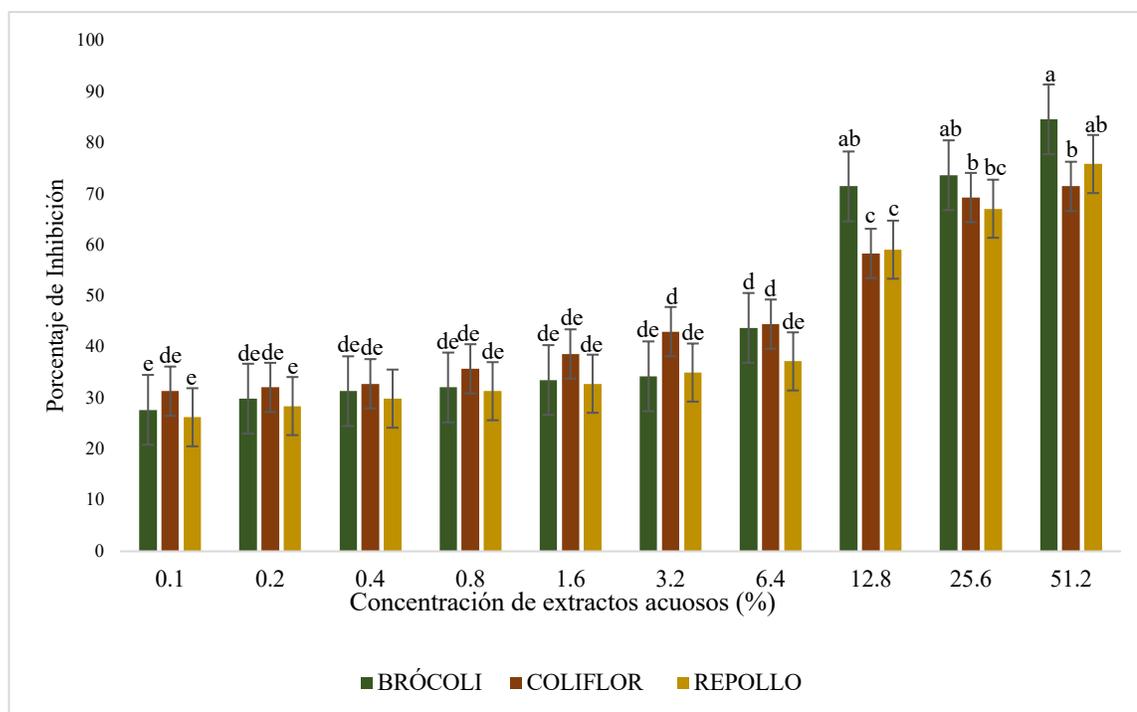


Figura 5. Efecto inhibidor (%) del extracto acuoso de brócoli, coliflor y repollo sobre *Fusarium oxysporum*

Los polvos fueron los subproductos con menor inhibición de *Fo*, con valores máximos de 18.32% y no se observó diferencia entre las dosis de polvo aplicado, pero al igual que en los extractos acuosos los polvos obtenidos de hojas y tallos de brócoli muestran una mayor actividad inhibidora. Cada especie de Brassicas tiene diferentes clases y concentraciones de glucosinolatos (Rosa, 1997; Brown & Morra, 2005; Campas-Baypoli *et al.*, 2009; Rodríguez, *et al.*, 2013) y estos compuestos se mantienen aún en residuos deshidratados (Lazzeri & Dallavalle, 2004). Sin embargo, la degradación de los glucosinolatos por acción de la mirosinasa se realiza en un medio acuoso (Rodríguez, *et al.*, 2013) y al agregar el polvo directamente sobre el medio de cultivo de Papa dextrosa Agar (PDA), no se logró rehidratar suficientemente el polvo.

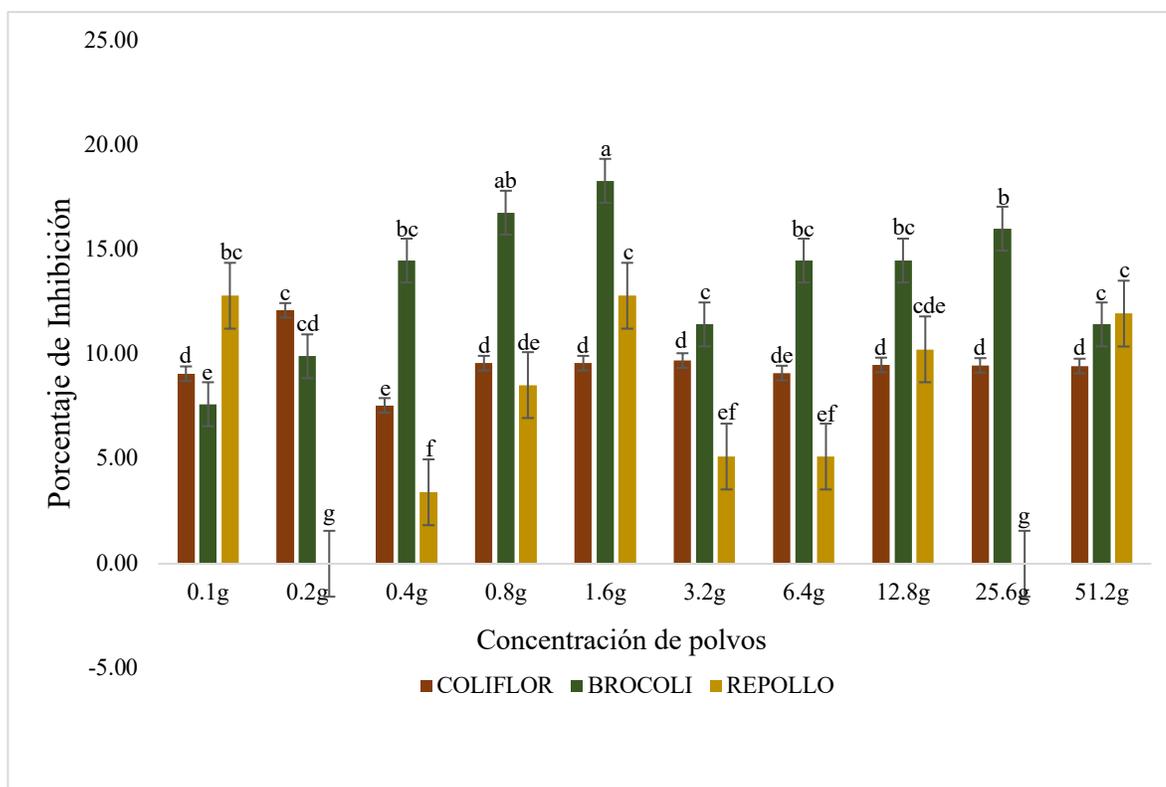


Figura 6. Efecto inhibitor de polvo de brócoli, coliflor y repollo sobre *Fusarium oxysporum*

Prueba de Efectividad Biológica en Plántula

Incidencia y Severidad

No se muestran resultados, porque las plántulas de tomate el Cid F1, no manifestaron síntomas de daño por *F. Oxysporum*. Probablemente las condiciones ambientales evitaron el desarrollo del hongo y por lo tanto de la enfermedad en la plántulas.

Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de la plántula

De acuerdo al análisis de varianza ($p \geq 0.05$) de los datos obtenidos, se encontraron diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, no se observa una tendencia clara de algún tratamiento (Figura 7).

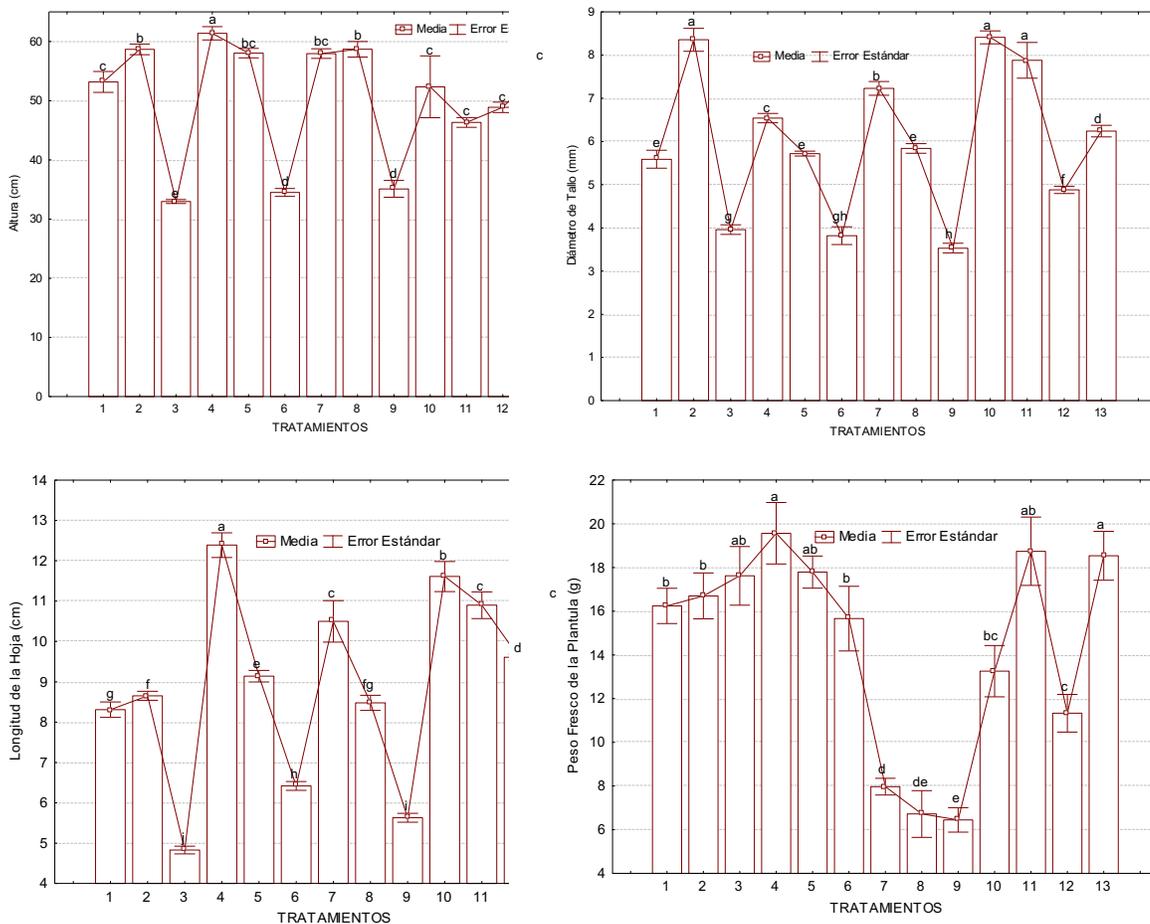


Figura 7. Efecto de los Tratamientos Sobre el Crecimiento de la Plántula.

1. Testigo Absoluto, 2. Testigo Suelo esterilizado + Fo, 3. Testigo Comercial (Fo + BUSAN), 4. Extracto Acuoso Coliflor + Fo, 5. Extracto Acuoso Brócoli + Fo, 6. Extracto Acuoso Repollo + Fo, 7. Extracto Etanólico Coliflor + Fo, 8. Extracto Etanólico Brócoli + Fo, 9. Extracto Etanólico Repollo + Fo, 10. Polvo Coliflor + Fo, 11. Polvo Brócoli + Fo y 12. Polvo Repollo + Fo.

El cultivo de origen de los subproductos

El utilizar residuos de brócoli, repollo y coliflor como materia prima para la obtención de subproductos para la inhibición de *F. oxysporum* en plántulas de tomate, no mostraron diferencia en la variable de altura, y mínimas diferencias en las variables de diámetro de tallo, lo cual no permite concluir con precisión que hay diferencias si los subproductos se obtienen de brócoli, col o coliflor (Figura 8).

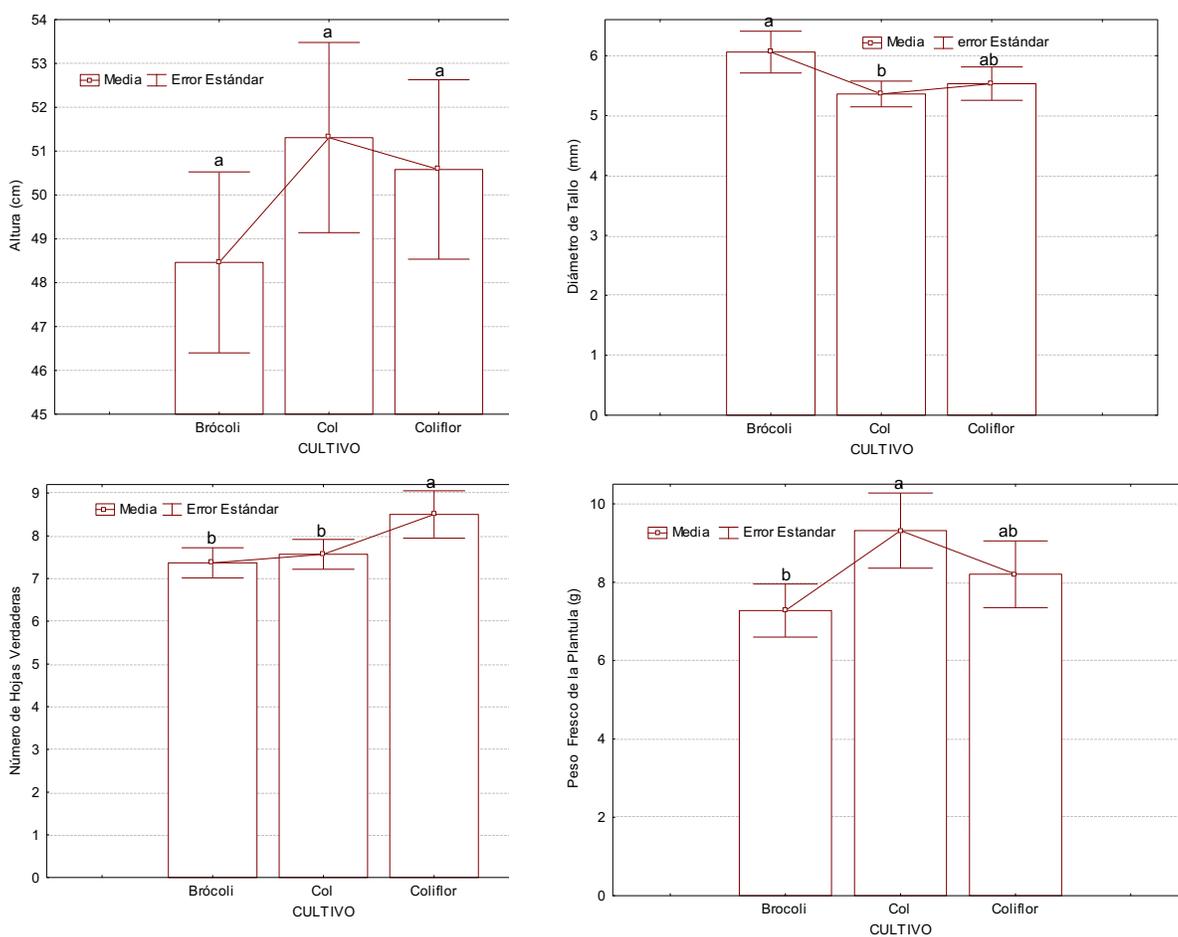


Figura 8. Efecto del cultivo de procedencia de los subproductos sobre crecimiento de las plántulas de tomate infectadas con *Fusarium*.

Tipo de Subproducto

Respecto al tipo de subproducto, se observan diferencias en las variables de altura de planta, diámetro de tallo, longitud de la hoja y biomasa. En general se observó un crecimiento muy similar de las plántulas de tomate tratadas con polvo deshidratado y extracto acuoso, superior a las tratadas con extracto etanólico (Figura 9).

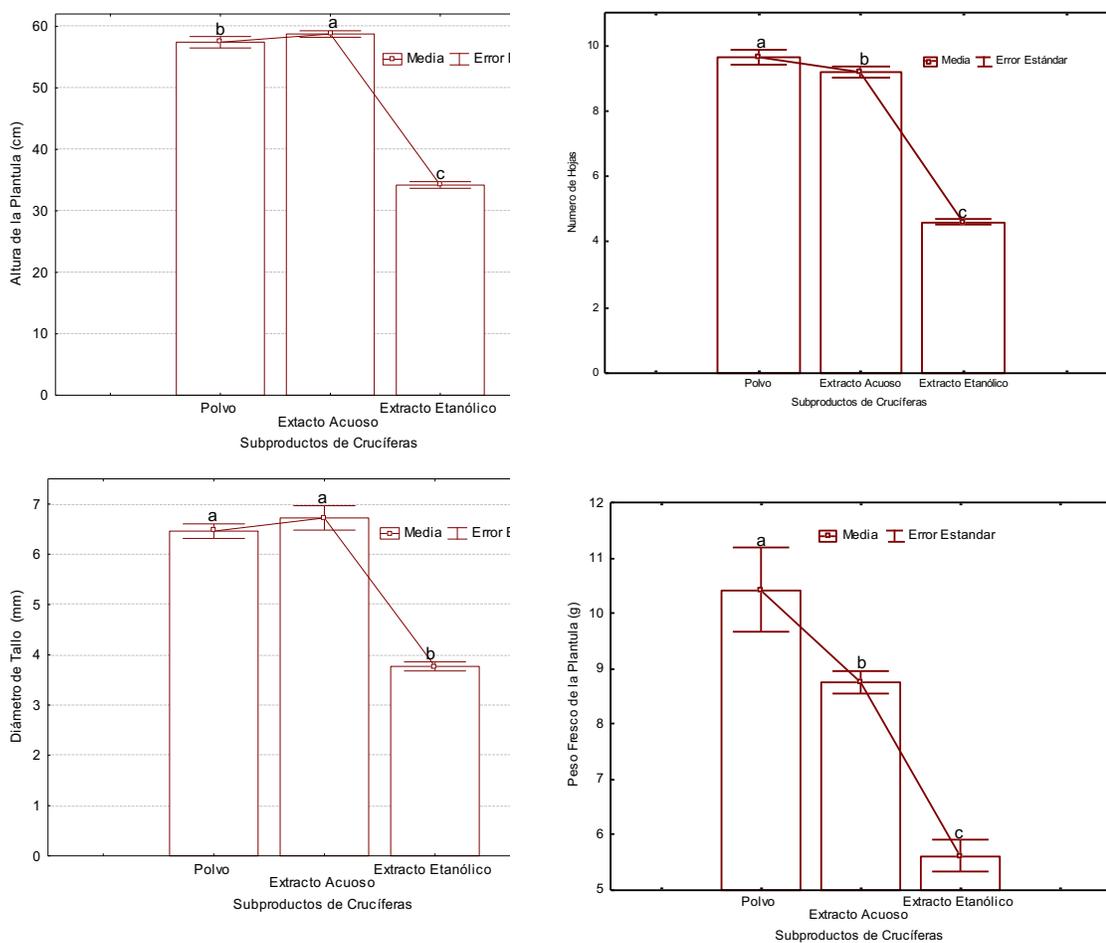


Figura 9. Efecto de los subproductos de crucíferas sobre el crecimiento de la plántula de tomate infectada con *Fusarium sp.*

Finalmente, al evaluar acumulación de biomasa se encontró que las plantas con mayor peso se obtuvieron en los tratamientos con polvo deshidratado y las de menor peso en los tratamientos con extracto etanólico, este último debido probablemente al efecto del etanol, utilizado como extractante, dado que existen reportes que el metanol a concentraciones de 5% v/v, redujo el crecimiento de plantas de lechuga (Pineda et al, 2010) y al ser aplicado en forma foliar el efecto inhibitor del crecimiento es más notable (Segura, 2002), Dada la variabilidad de las respuestas en las plántulas de tomate infectada con *F. oxysporum*, no es posible determinar con precisión si existe una inhibición de este patógeno, con la aplicación de los subproductos obtenidos de residuos de crucíferas. Es importante señalar que, en plántulas no es común observar daño por Fo, las plántulas de tomate son más susceptibles al ataque de *Fusarium* del inicio la cosecha hasta finalizar el cultivo (Villapudua y Sainz. 2009; Lugo Martinez, M. G. 2011). Así mismo influye la resistencia genética inducida del cultivar; el Cid® F1 declara en su etiqueta tolerancia o resistencia a *Fo solani* raza 1 y 2 (Harrys Moran, 2021, García-Ramos, et, al, 2018.) En el cultivo para producción, se soporta que el uso del polvo deshidratado de col o repollo redujo la incidencia y severidad de *Fusarium* en tomate cultivado en suelo (Civieta-Bermejo, et al, 2021), y mejoró la calidad del fruto (Cuvas-Limón, 2018). Mientras que los extractos acuosos aplicados al suelo no mostraron efecto.

Prueba de Efectividad Biológica en Cultivo de Tomate

Incidencia de *F. oxysporum*

La incidencia de *F. oxysporum*, medida como porcentaje de plantas con síntomas que van desde el amarillamiento de las hojas, hasta la muerte de la planta. En general todos los tratamientos tuvieron plantas con síntomas, siendo el testigo con inóculo el tratamiento con mayor porcentaje, mientras que los testigos absolutos (suelo esterilizado) y el testigo comercial (Busan), tuvieron la menor incidencia. También se observó que los subproductos mostraron cierto grado de inhibición del *F. oxysporum* (Figura 10). Esto pudo ser debido a que el suelo utilizado contenía inóculos de *Fusarium*, y en el caso del testigo donde se esterilizó el suelo la esterilización no fue suficiente o bien hubo una reinfestación durante el desarrollo del cultivo, dado que los movimientos de suelo

infectado, son sus principales mecanismos de dispersión (Vilapudua y Sáinz, 2010), además que *Fo* 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).

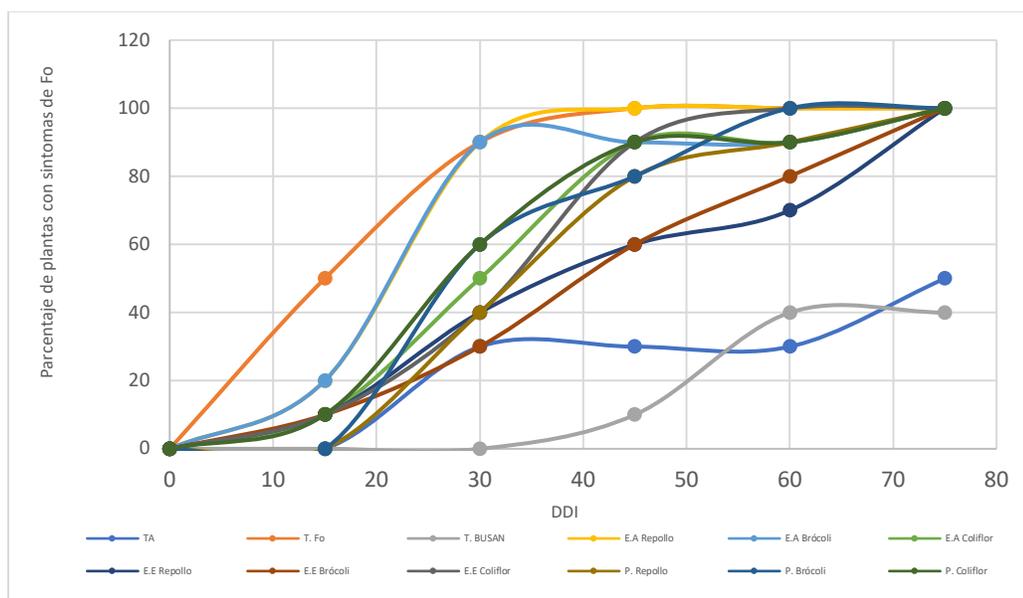


Figura 10. Porcentaje de plantas con síntomas de *F. oxysporum*.

Severidad de *F. oxysporum*

La severidad fue evaluada solo como porcentaje de plantas muertas, debido a la dificultad para determinar si el amarillamiento de las hojas fue debido a *Fo* u otro factor. La mayor cantidad de plantas muertas se tuvieron en el testigo inoculado (Figura 11). La alta mortandad en el testigo inoculado pudo estar relacionada al incremento de la población exógena de *F. oxysporum* y al método de inoculación, dado que se trozaron raíces, previo a la aplicación del inóculo y los daños mecánicos a la raíz es la principal forma de penetración de *F. oxysporum* a las raíces de las plantas (Civieta-Bermejo, et al, 2021).

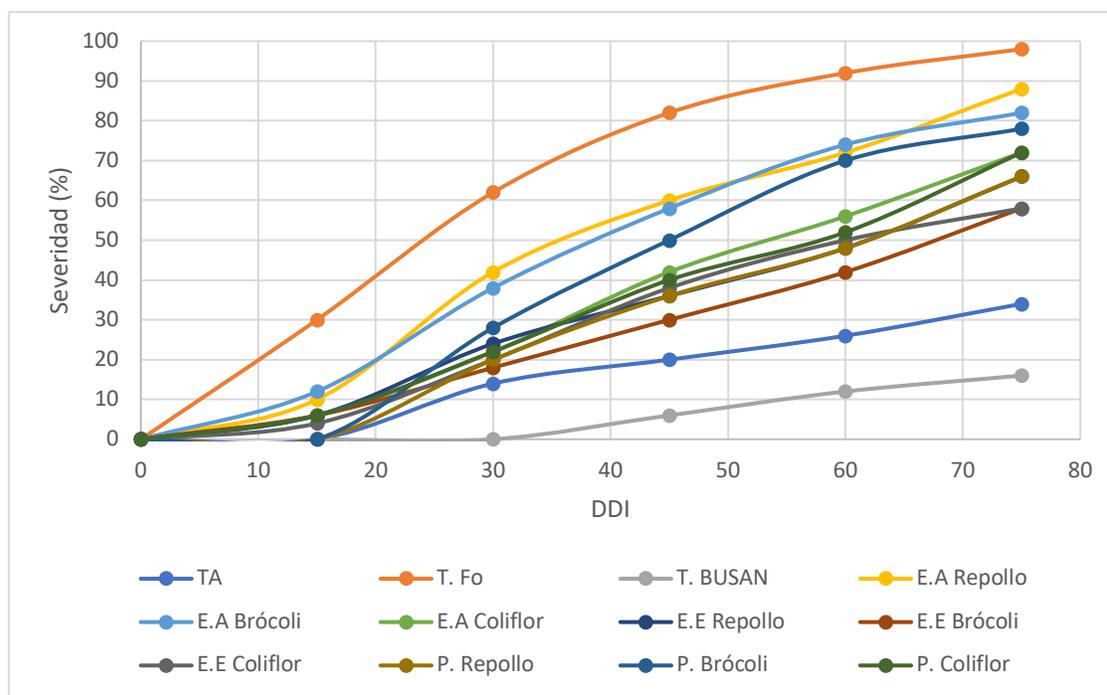


Figura 11. Efecto de los tratamientos sobre la severidad (Plantas muertas) de *F. oxysporum* en el cultivo de tomate.

Efecto de los subproductos de Crucíferas Sobre el Crecimiento del Cultivo de Tomate

Conductancia Estomática

La conductancia estomática medida como $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fue afectada positivamente con la aplicación de los subproductos de crucíferas, también se observó, que los subproductos obtenidos de residuos de coliflor mostraron mayores valores de conductancia, en comparación con el testigo inoculado con *Fo*. La conductancia estomática de forma indirecta mide el grado de estrés hídrico de la planta, al generarse una obstrucción de la xilema, por la colonización de *Fo*, que se traduce en una reducción del transporte de agua, por consecuencia la conductancia estomática disminuye (Azcon, 2008). Con base en los resultados obtenidos se puede deducir que las aplicaciones de productos suprimieron la colonización *Fusarium* o bien estimularon otros mecanismos de respuesta de la planta al estrés hídrico.

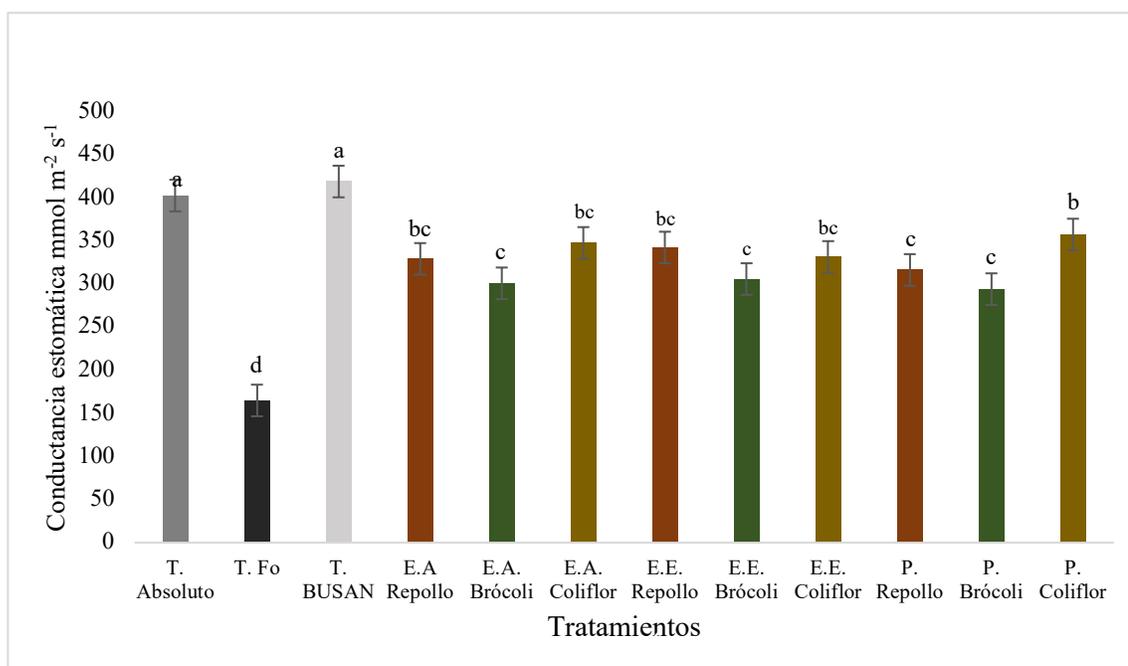


Figura 12. Efecto de los tratamientos sobre la conductancia estomática de las plantas de tomate infectadas con *F. oxysporum*.

Altura de la planta y longitud de entrenudos

Los subproductos de brócoli, repollo y coliflor aplicados para la inhibición de *Fusarium*, en plántulas de tomate, muestran diferencias para las variables altura de la planta y la longitud de los entrenudos (Figura 13). Sin embargo, no se muestra una tendencia que permita determinar cuál subproducto o cultivo de origen del subproducto fue el mejor.

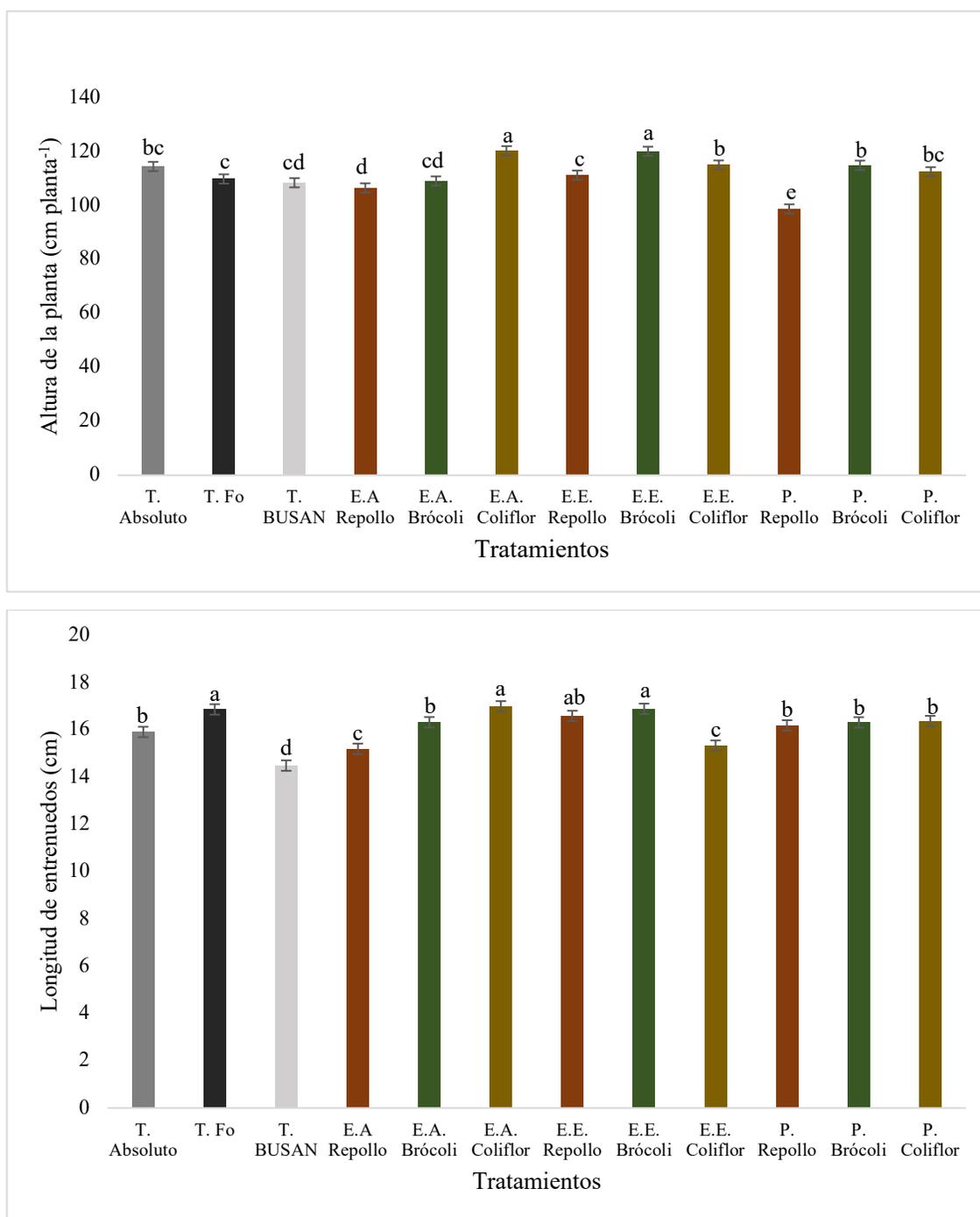


Figura 13. Efecto de los tratamientos sobre la altura de planta y longitud de entrenudos de las plantas de tomate infectadas con *F. oxysporum*.

Diámetro de tallo

Al igual que para la altura de la planta, el diámetro de tallo también fue diferente, pero no muestra una tendencia que permita definir cuál fue el mejor subproducto o cultivo de origen (Figura 14). 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. Es importante resaltar que la mayoría de los subproductos y en particular los obtenidos de coliflor mostraron mayor diámetro de tallo, este incremento el diámetro de tallo, puede estar relacionado a un mecanismo de defensa de las plantas de tomate, cuando son afectadas en su zona radicular, las respuestas consisten la generación de raíces en el tallo por encima del tejido dañado (Sandoval-Rangel, 2021).

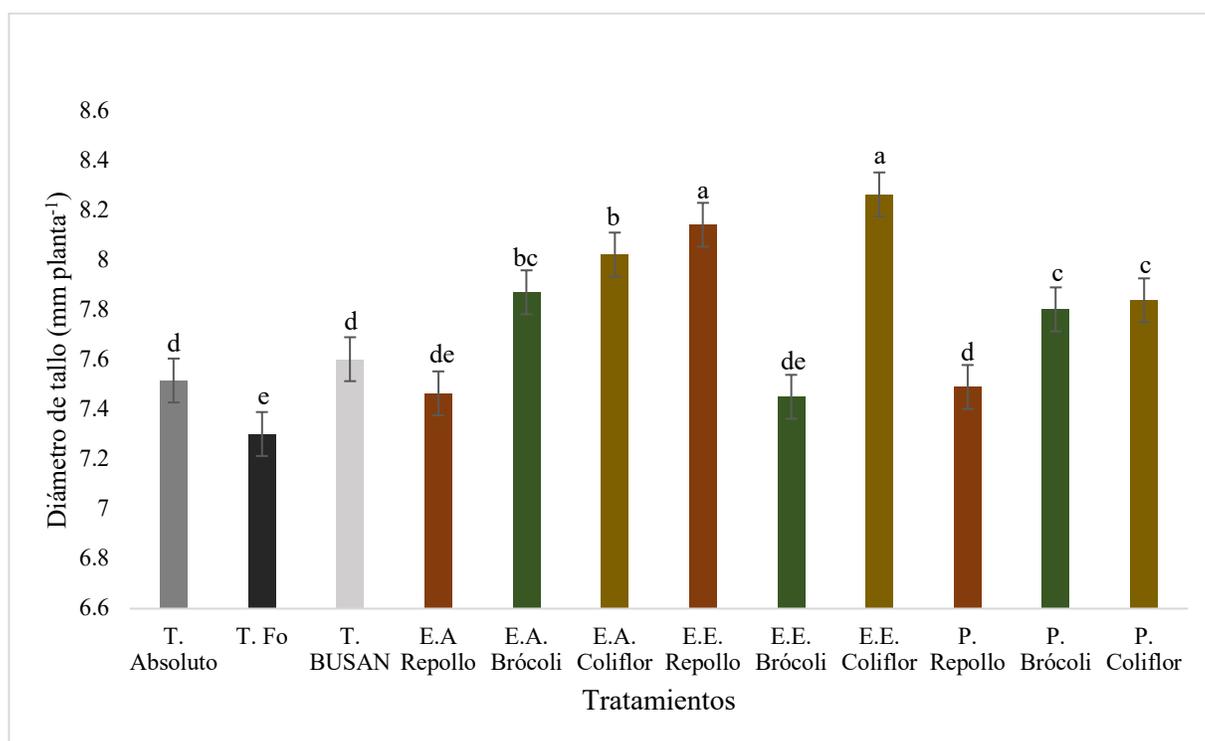


Figura 14. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de tallo de las plantas de tomate infectadas con *F. oxysporum*.

Largo y Ancho de Hoja

El tamaño de la hoja fue afectado por la aplicación de los subproductos, pero al igual que la altura y diámetro de tallo, no muestran una tendencia comportamiento que permita determinar cuál producto u cultivo de origen del subproducto sea mejor (Figura 9).

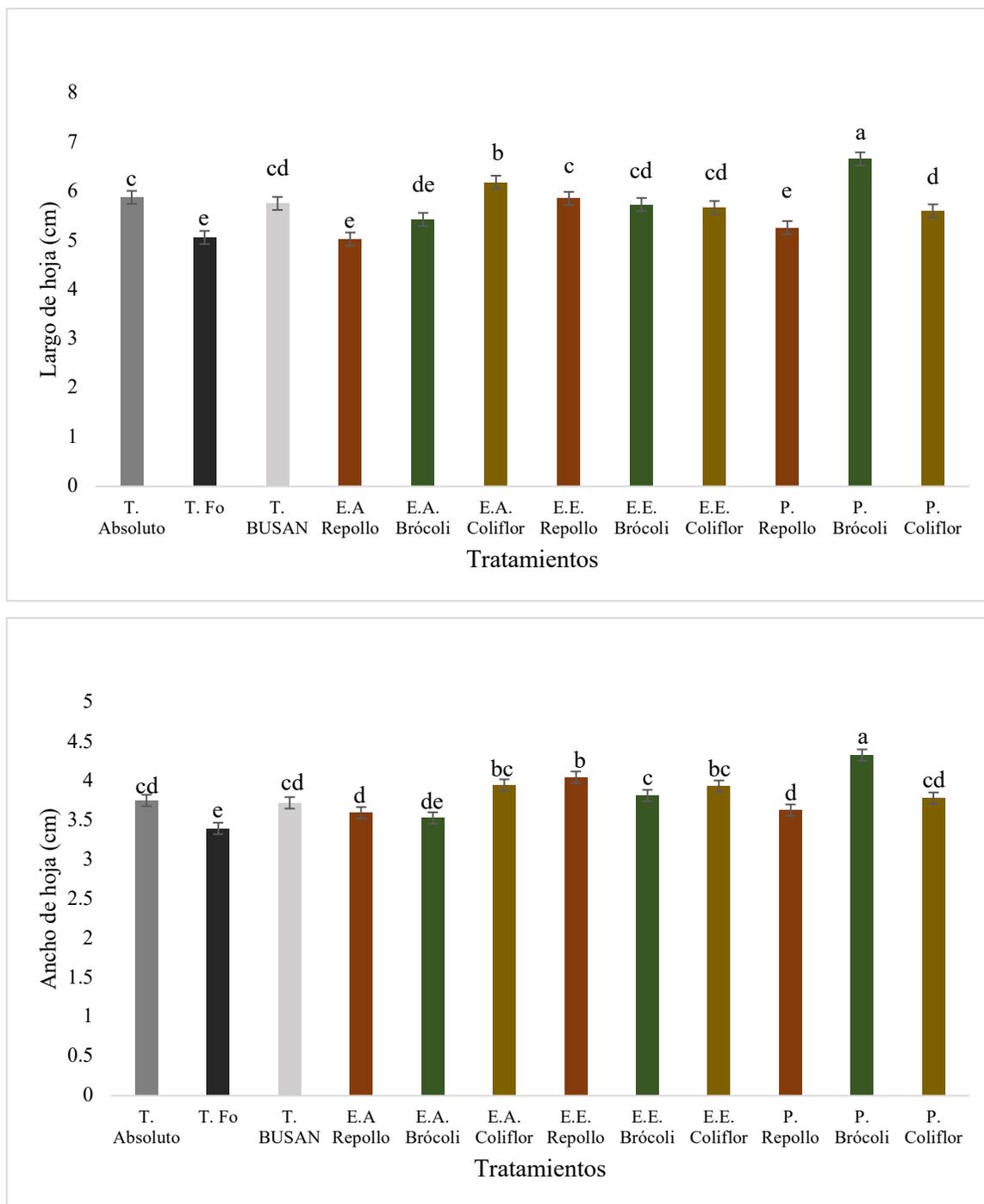


Figura 15. Efecto de los tratamientos sobre el tamaño de las hojas de plantas de tomate infectadas con *F. oxysporum*.

Rendimiento

Los subproductos obtenidos de brócoli, coliflor y repollo, afectaron el rendimiento de tomate infectado con *F.oxysporum*. Se observó una relación directamente proporcional a la severidad del daño de *Fo*, medido como porcentaje de plantas muertas (Ver figura 11). En general se observó una inhibición del daño de *Fo*, con la aplicación de los subproductos, aunque baja, debido probablemente a la forma en que se inocularon las plantas, en las cuales fueron cortadas la raíces e inmediatamente se aplicó sobre la herida el inóculo.

Respecto al cultivo de origen de los subproductos no se observó diferencia, sin embargo, el tipo de subproducto sí, y la aplicación de polvos y extractos etanólicos aun y cuando fue baja si fue consistente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento o productividad de tomate infectado con *Fusarium oxysporum*.

TRATAMIENTO	Número de Frutos Cosechados	Peso de Frutos (Kg)	Reducción % en el Rendimiento
Test Absoluto	175 ab	18.23b	29.32 a
Testigo +Fo	12 d	1.30d	94.95 a
Test Comercial	201 a	28.80 a	7.16 a
EA Brócoli	50 c	4.55 cd	82.36 a
EE Brócoli	125 b	13.16 b	48.98 a
Polvo Brócoli	75 bc	9.24 bc	64.15 a
EA Coliflor	75 bc	9.16 bc	64.47 a
EE Coliflor	138 ab	12.85 ab	50.16 a
Polvo Coliflor	76 bc	8.25 bc	67.02 a
EA Repollo	37.5 cd	3.18 cd	87.66 a
EE Repollo	141 ab	12.55 ab	51.32 a
Polvo Repollo	85 bc	9.93 bc	61.48 a

EA = Extracto Acuoso, EE = Extracto Etanólico. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia estadística entre las medias (Tukey $P \geq 0.05$)

Calidad Física del Fruto

La calidad del fruto fue afectada por la aplicación del subproducto de crucíferas, se observó que para peso promedio diámetro de fruto el usar residuos en forma de polvo deshidratado de brócoli o coliflor son mejores que repollo. Respecto a la firmeza y sólidos totales no se observó diferencia estadística (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre la calidad de fruto de tomate infectado con *F. oxysporum*.

TRATAMIENTO	Peso Promedio (g)	Diámetro Polar (mm)	Firmeza kg/cm ²	Sólidos Totales
Test Absoluto	104.2 bc	113.4 b	2.75 a	6.12 a
Testigo +Fo	108.5 b	111.3 b	2.51 a	5.64 a
Test Comercial	128.4 a	130.7 ab	2.80 a	6.25 a
EA Brócoli	91.0 bc	108.7 bc	2.22 a	5.19 a
EE Brócoli	105.3 b	116.8 bc	2.57 a	5.68 a
Polvo Brócoli	123.3 a	165.8 a	2.51 a	6.05 a
EA Coliflor	122.2 a	113.12 b	2.69 a	6.24 a
EE Coliflor	93.5 bc	110.4 b	2.75 a	6.40 a
Polvo Coliflor	110.0 b	113.4 b	2.66 a	6.01 a
EA Repollo	85.9 c	99.29 c	2.70 a	6.10 a
EE Repollo	89.7 c	105.59 b	2.70 a	5.85 a
Polvo Repollo	116.9 ab	128.5 a	2.70 a	5.79 a

EA = Extracto Acuoso, EE = Extracto Etanólico. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia estadística entre las medias (Tukey $P \geq 0.05$)

Calidad Nutricional

Vitamina C

El contenido de vitamina C en los frutos de tomate obtenidos en este trabajo fue de 12.6 mg/100g, similares a los 16.70 mg/100g reportados por Cuastumal y colaboradores (2016). Se observa que el contenido es variable en función de los tratamientos aplicados, los niveles más altos se encontraron en los tratamientos donde se aplicaron los extractos etanólicos obtenidos de brócoli, mientras que el nivel más bajo de presente en el testigo infectado con *F. oxysporum* (figura 19). La vitamina C es un antioxidante presente en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico (Serra y Cafaro, 2007), en tomate junto con el licopeno, fenoles, flavonoides, vitamina E y C son los principales responsables de la actividad antioxidante (Toor y Savage 2005) y es variable, debido a que depende del cultivar, de las condiciones ambientales, el sistema de producción, y el grado de madurez del fruto (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2016). La vitamina C, protege las

plantas contra el estrés hídrico, por el ozono y la radiación UV. Actúa en el proceso fotosintético, participa en la regulación del crecimiento celular (Smirnoff y Weelet, 2000) y de reacciones redox. Sin embargo, el exceso de vitamina C puede reducir el crecimiento de las plantas (Quian et al., 2014).

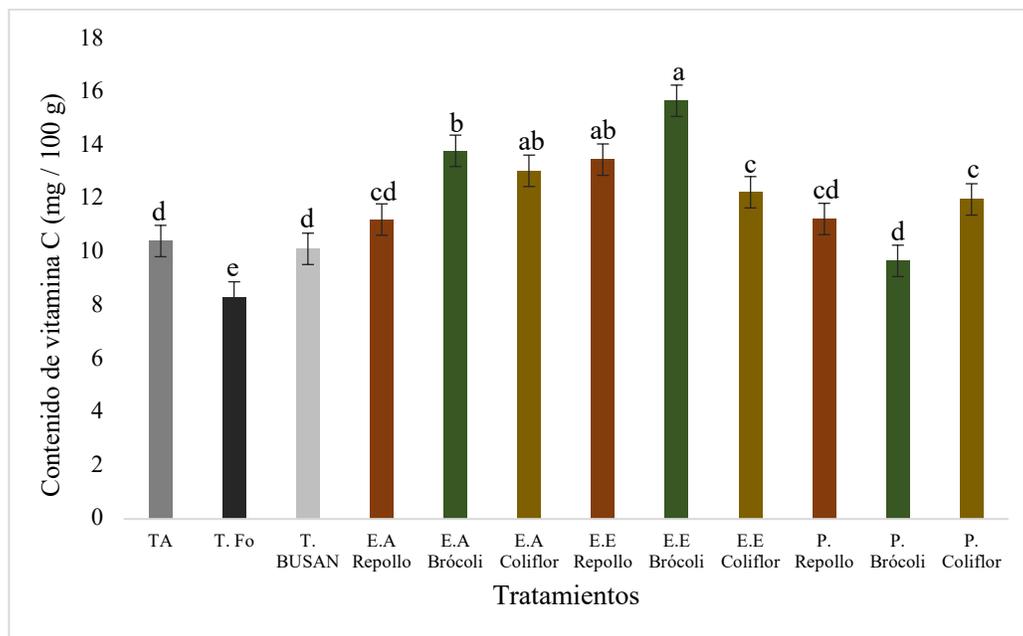


Figura 16. Cantidad de Vitamina C en fruto de tomate.

TA = Testigo absoluto (Suelo esterilizado), T.Fo = Testigo inoculado con *Fusarium oxysporum*, E. A = Extracto Acuoso, E.E = Extracto etanólico, P = Polvo

Actividad de las enzimas fenilalanina amonio liasa, quitinasa y β 1-3 glucanasa

Fenilalanina Amonio Liasa

La actividad de enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), fue mayor en los extractos de brócoli (Figura 16), estos resultados indican que los extractos obtenidos de residuos de Brssicas estimulan la síntesis de PAL, si son asperjados sobre las plantas de tomate.

La enzima Fenilalanina Amonio Liasa (PAL) se encuentra en la ruta del ácido shikímico y es la responsable de la síntesis de los polifenoles, fitoalexinas y fitotoxinas en las plantas de manera natural, lo que contribuye a la resistencia a las enfermedades (Vidhyasekaran, 2007; Kong, 2015), es clave en la ruta de los fenilpropanoides, que sintetiza compuestos tales como fitoalexinas y lignina, que da a las paredes de las células vegetales mayor resistencia a la penetración de patógenos (Vidhyasekaran, 2007). La PAL forma parte de los mecanismos de defensa ante condiciones de estrés biótico y aun y cuando esta

respuesta es natural, también puede ser inducida de manera exógena con la aplicación de inductores, estimulantes o elicitores (González-Morales *et al.*, 2018). La actividad enzimática de PAL, es una de las primeras respuestas al iniciar el ataque de un patógeno a las plantas y disminuye con el tiempo (Srinivas *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2020). Diversos estudios indican que los extractos se pueden considerar inductores o elicitores, por ejemplo;), la inducción de resistencia en plantas de tomate a *Alternaria solani* y *Xanthomonas campestris* con la aplicación del extracto de *Sargassum filipéndula* (Ramkissoon *et al.* 2017., Aumento en la actividad de enzima PAL, 5 días después de infectar plantas de tomate con *Fo* al aplicar el extracto comercial BKPSGII® a base de *K. alvarezii* y *Sargassum* sp.. (Melo *et al.* 2020), la reactivación de la síntesis de PAL con la aplicación del extracto de *A. nodosum* en el cultivo de zanahoria para inducir resistencia a *Alternaria radicina* and *Botrytis cinérea* (Jayaraj *et al.* (2008).

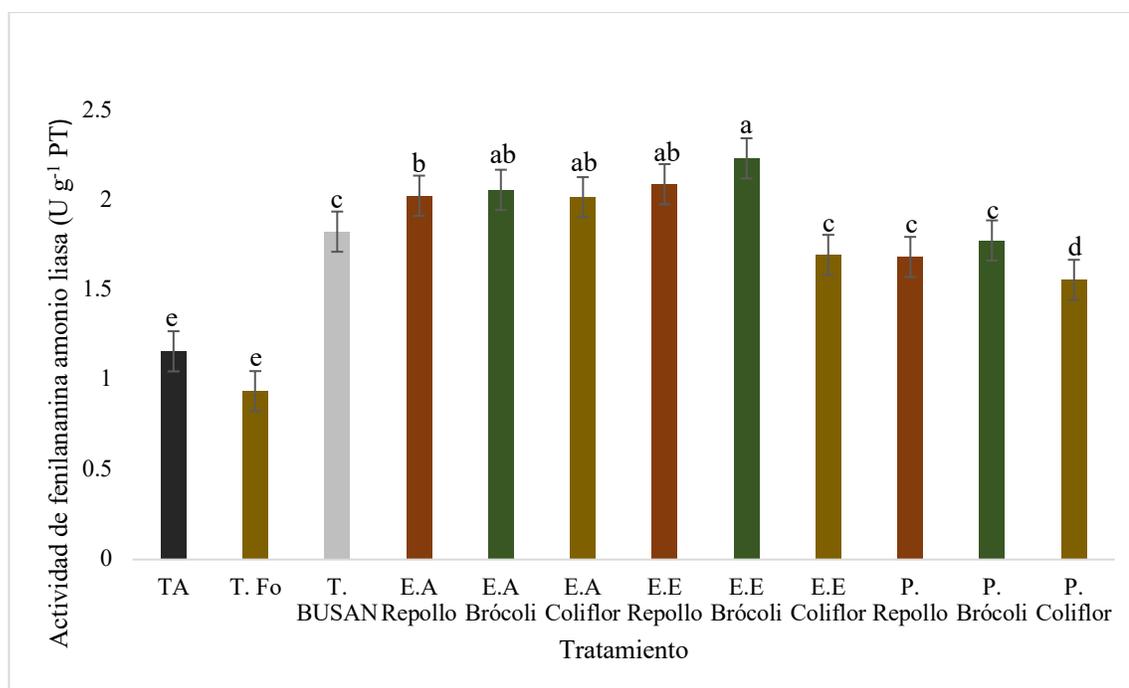


Figura 17. Efecto de los tratamientos sobre la activación de la enzima fenilalanina amonio liasa en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*.

TA = Testigo absoluto (Suelo esterilizado), T.Fo = Testigo inoculado con *Fusarium oxysporum*, E. A = Extracto Acuoso, E.E = Extracto etanólico, P = Polvo

Quitinasa

La aplicación foliar de extractos etanolicos obtenidos de brassicas y en particular de brócoli aumentaron el contenido de quitinasas (Figura 17).

La quitinasa, es una enzima que hidroliza la quitina insoluble en sus componentes oligo y monoméricos. La pared celular de los hongos esta constituidas por quitina que al entrar en contacto con la quitinasa se degrada limitando o eliminando su desarrollo (Lucas *et al.*, 2022). Las plantas la sintetizan de forma natural como respuesta al ataque de hongos fitopatógenos, pero también puede ser promovida de forma exógena con la aplicación de estimulantes o elicitores como los extractos de plantas (Inui *et al.*, 1997, González-Morales *et al.*, 2018). La aplicación foliar de extractos de *Sargassum spp* a plántulas de tomate, redujo la severidad de *Fusarium oxysporum*. Sin embargo, el incremento de estas enzimas no es suficiente para impedir la colonización de raíces en esta especie (Rivera-Solis *et al.*, 2021). La cinética de quitinasa en plantas de arroz mostraron un crecimiento exponencial a través del tiempo debido a la aplicación de un elicitor y la interacción planta-patógeno (Rodríguez Pedroso *et al.* 2006).

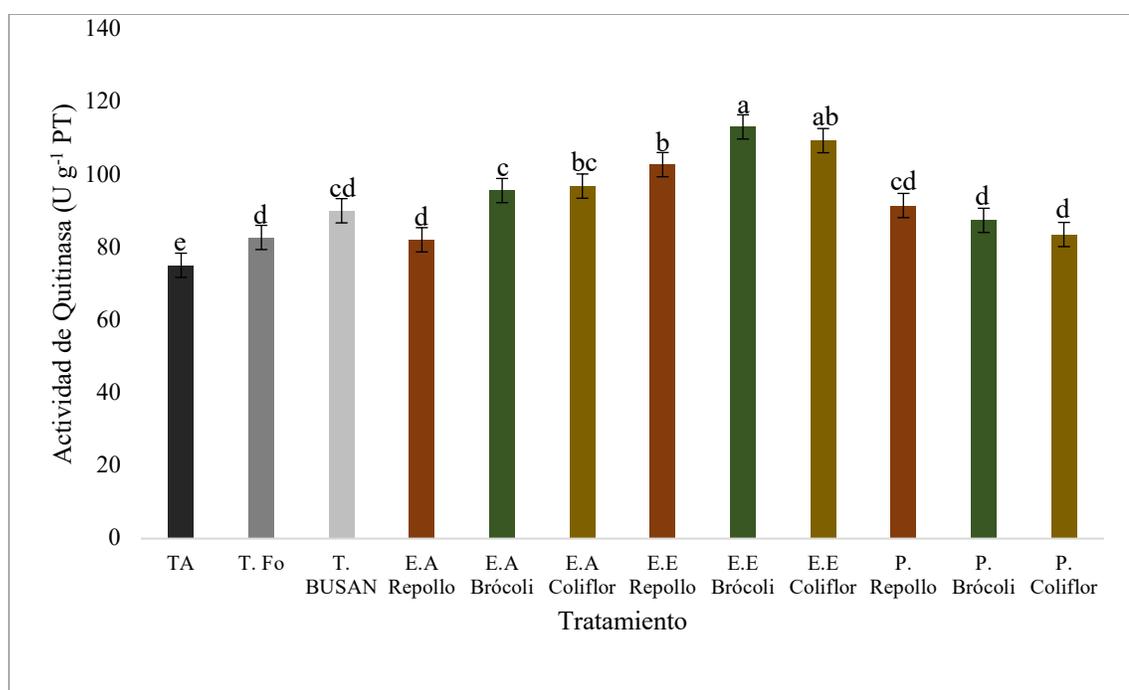


Figura 18. Efecto de los tratamientos sobre la activación de la enzima Quitinasa en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*

TA = Testigo absoluto (Suelo esterilizado), T.Fo = Testigo inoculado con *Fusarium oxysporum*, E. A = Extracto Acuoso, E.E = Extracto etanólico, P = Polvo

β 1- 3 glucanasa

La aplicación foliar de extractos etanolicos obtenidos de brocoli, coliflor y repollo aumentaron el contenido de β 1- 3 glucanasa, y fue mayor en los extractos etanólicos (Figura 18). La β-1,3-glucanasa es una enzima lítica que se manifiesta en coordinación

con la quitinasa. Las plantas la producen como una respuesta de defensa contra el ataque de hongos fitopatógenos y actúa sobre la quitina y glucano de la pared celular de los hongos (Durrant y Dong, 2004; Shanmugam y Kanoujia, 2011) y al igual que para quitina, su síntesis en la planta puede ser incrementada mediante la aplicación de extractos de *Sargassum spp* como estimulantes (Rivera-Solís *et al*, 2021), otros productos a base de algas (Melo *et al*, 2020) y con la aplicación del producto comercial Stimplex® a base de *A. nodosum* en tomate y pimiento dulce para la inducción de resistencia a *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria* y *Alternaria solani* (Ali *et al.*, 2019).

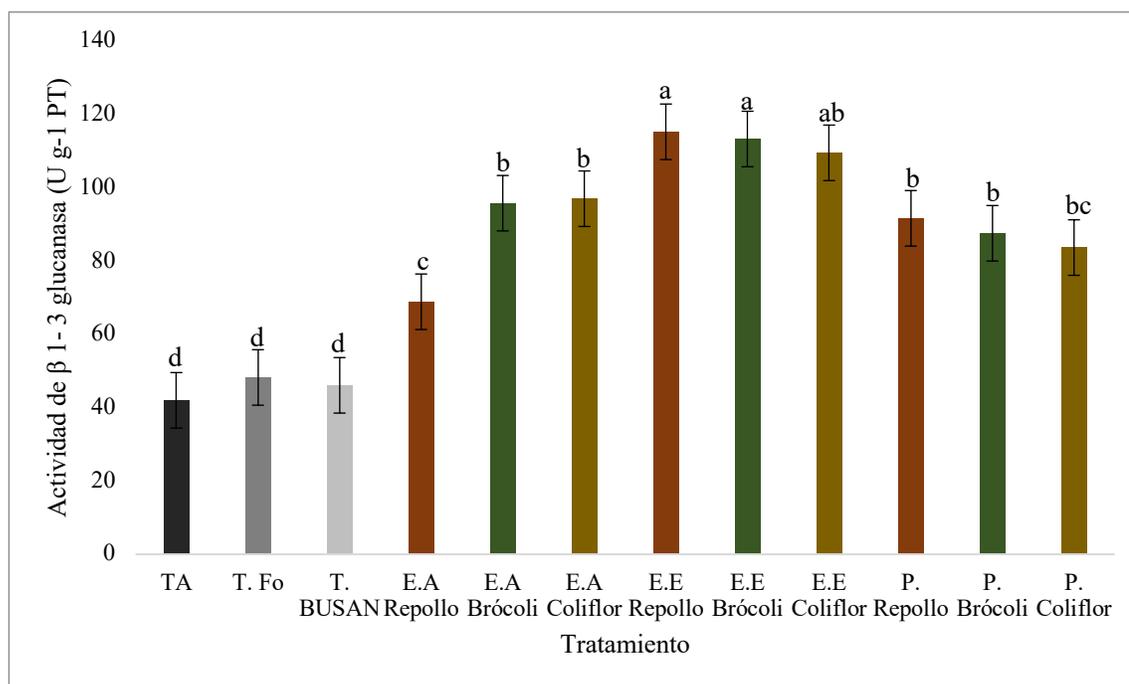


Figura 19. Efecto de los tratamientos sobre la activación de la enzima β 1-3 glucanasa en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*.

TA = Testigo absoluto (Suelo esterilizado), T.Fo = Testigo inoculado con *Fusarium oxysporum*, E. A = Extracto Acuoso, E.E = Extracto etanólico, P = Polvo

CONCLUSIONES

Se produjeron tres subproductos polvo deshidratado, extracto acuoso y extracto etanólico a partir hojas y tallos residuales o esquilmos de brócoli, coliflor y repollo. En la caracterización se encontró que los subproductos tienen una concentración promedio de 145.45 mg L⁻¹ de carbohidratos, 67.6 mg L⁻¹ de proteínas, 94.14 mg L⁻¹ de fenoles, 94.76 mg L⁻¹ de flavonoides y 21.42 equivalente a Trolox de capacidad antioxidante. Y que esta concentración es similar cuando el subproducto se obtiene de brócoli, coliflor o repollo y es variable de acuerdo al subproducto, por lo general mayor en los extractos etanólicos.

En las pruebas *in vitro*, la mayor inhibición del crecimiento de las hifas de *Fusarium* se obtuvo con los extractos etanólicos a concentraciones de 12.5%.

Los resultados obtenidos en las pruebas de efectividad biológica en plántulas muestran que los subproductos tienen efecto sobre el crecimiento y los extractos etanólicos mostraron un efecto negativo, pero no permitieron determinar su efecto sobre *Fusarium oxysporum*. En la prueba de cultivo, los subproductos suprimieron a *Fusarium* reduciendo la incidencia y la severidad lo cual tuvo impacto en el crecimiento, productividad y calidad del cultivo. Así mismo, propiciaron una mayor actividad de las enzimas fenilalanina amonio liasa (PAL), quitinasa y β 1-3 glucanasa.

Por lo tanto, la aplicación de subproductos de brassicas, representan una alternativa para la inhibición de *Fusarium oxysporum*, siendo los extractos etanólicos los más efectivos y representan una alternativa de uso como bioestimulantes y el polvo como la mejor opción para aplicación en cultivos, mientras que el cultivo de brócoli se muestra como la mejor opción para la obtención de subproductos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Monaim, M. F., Abo-Elyousr, K. A. M., & 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, G.N. (2005). Plant pathology. Fifth Ed. Academic Press, Burlington.
- Ali, O., Ramsubhag, A., Jayaraman, J., 2021. Phytoelicitor activity of *Sargassum vulgare* and *Acanthophora spicifera* extracts and their prospects For use in vegetable crops For sustainable crop production. *J. Appl. Phycol.* 33, 639–651. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02309-8>
- Ariza-Flores, Rafael, Barrios-Ayala, Aristeo, Herrera-García, Mariano, Barbosa - Moreno, Finlandia, Michel-Aceves, Alejandro, Otero-Sánchez, Marco A., & Alia-Tejacal, Irán. (2015). Fitohormonas y bioestimulantes para la floración, producción y calidad de lima mexicana de invierno. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), 1653-1666., de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700018&lng=es&tlng=es.
- Arrieta-Guevara, Maira Andrea, Higuera-Mancipe, Blanca Ligia, & Martínez-Peralta, Sixta Tulia. (2010). Inducción De Fenilalanina Amonio Liasa Y Variación En El Contenido De Compuestos Fenólicos En Frutos De Lulo (*Solanum Quitoense* Lam) Infectados Con *Colletotrichum acutatum*.. *Acta Biológica Colombiana*, 15(1), 129-144. Retrieved November 11, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2010000100009&lng=en&tlng=es.
- Arteaga, M., Garcés, N., Guridi, F., Pino, J. A., López, A., Menéndez, J. L., & Cartaya, O. (2006). Evaluación De Las Aplicaciones Foliars De Humus Líquido En El Cultivo Del Tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) Var. Amalia En Condiciones De Producción. *Cultivos Tropicales*, 27(3),95-101.[fecha de Consulta 9 de Noviembre de 2022]. ISSN: . Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215825015>
- Ascencio-Álvarez, A., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., Rodríguez-Herrera, S. A., Flores-Olivas, A., Jiménez-Díaz, F., & Gámez-Vázquez, A. J. (2008). Marchitez

vascular del tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 26(2), 114-120.

Atherton, G., & Harris, G. P. (1986). *Flowering*.

Baez-Flores, M. E., Troncoso-Rojas, R., & Tiznado-Hernandez, M. E. (2011). Genetic Responses Elicited by Isothiocyanate Treatment in Fungi of the Genus *Alternaria*. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(1), 61-68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092011000100006&lng=es&tlng=es.

Baker W., Ollis W.D. 1995. Recent development in the chemistry of natural phenolic compound. *Natureforssch*. Vol 50. Pp 331-332.

Bello, A., López-Pérez, J. A., & Díaz-Viruliche, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. *Memorias del*

Benites, B. R., *et al.*, (2019). Obtencion y rendimiento del extracto etanolico de dos plantas medicinales. *Revista Facultad de Ciencias Basicas*. Editorial Neogradiana. Vol 15(1). ISSN 1900-4699.

Berrospe-Ochoa, E. A., Saucedo-Veloz, C. A., Ramírez-Vallejo, P. A., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2015). Comportamiento Agronómico De Plántulas De Poblaciones Nativas De Jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) En Producción Intensiva En Invernadero. *Agrociencia*, 49(6),637-650. Issn: 1405-3195. Recuperado De: <https://www.redalyc.org/articulo.Oa?id=30241188004>

Bravo Z., C., Larriva C., W., y Minchala, L. (2012). Manejo integrado de la marchitez vascular o fusariosis (*Fusarium oxysporum*) en el cultivo de babaco. Cuenca, Ecuador: INIAP, Estación Experimental del Austro. (Boletín Técnico no. 409).

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). 199

Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K., Castro, I., & Jiménez, J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 67-78.

- Campanella, V.; Mandal, C.; Angileri, V. and 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.
- 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). In Cruciferous Vegetables. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 95-100.
- Cardona-Piedrahíta, Luisa Fernanda, & Castaño-Zapata, Jairo. (2019). Comparación de métodos de inoculación de Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici (Sacc.) Snyder & Hansen, causante del marchitamiento vascular del tomate. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(167), 227-233. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.854>
- 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.
- 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),123-127.[fecha de Consulta 9 de Noviembre de 2022]. ISSN: . Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221205>
- Cartaya, O., & Reynaldo, I. (2001). Flavonoids: Chemical characteristics and applications. *Cultivos Tropicales*, 22(2),5-14.[date of Consultation November 20, 2022]. Retrieved from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215009001>
- Chen D., Zhou W., Yang J., Ao J., Huang Y., Shen D., Jiang Y., Huang Z., Shen H. 2021. Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. *Frontiers in Plant Science* 12, 659130. doi: 10.3389/fpls. 2021.659130
- Chiquito-Contreras, Roberto Gregorio, Reyes-Pérez, Juan José, Troyo-Diéguez, Enrique, Rueda-Puente, Edgar Omar, Torres-Rodríguez, Juan Antonio, & Murillo-Amador, Bernardo. (2018). Crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas con humato de vermicompost. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(spe20), 4187-4197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.989>

- Civieta-Bermejo, B. F., Cabrera-De la Fuente, M., González-Morales, S., Mendoza, A. B., & Sandoval-Rangel, A. (2021). Residuos de repollo para biocontrol de *Fusarium* spp. en el cultivo de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (26), 95-104.
- Civieta-Bermejo, B. F., Cabrera-De la Fuente, M., González-Morales, S., Mendoza, A. B., & Sandoval-Rangel, A. (2021). Pruebas De Efectividad De Subproductos De Brócoli Para Control De *Fusarium* En Tomate..
- Cotler, Helena, Corona, José Alfonso, & Galeana-Pizaña, J. Mauricio. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, (101), e59976. Epub 02 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Cruz-Crespo, E., Sandoval -Villa, M., Volke -Haller, V. H., Can -Chulim, Á., & Sánchez -Escudero, J. (2012). Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7),1361-1373. ISSN: 2007-0934. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263124457006>
- Cuastumal, H. G., Ledesma, M. A., & Ordoñez, L. E.. (2016). Vitamina C y color superficial en tomate y pimentón verde efecto de los tratamientos térmicos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(20), 32-36. from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672016000200005&lng=en&tlng=es
- Dávila-Medina, M. D. D., Gallegos-Morales, G., Hernández-Castillo, F. D., Ochoa Fuente, Y. M., & Flores Olivas, A. (2013). Antagonistic actinomycetes against agriculturally important phytopathogenic fungi. *Mexican journal of agricultural sciences*, 4(8), 1187-1196.
- De Bogotá, C. D. C. (2015). Manual tomate.
- De Granada, E. G., De Amezquita, M. C. O., Mendoza, G. R. B., & Zapata, H. A. V. (2001). *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. *Acta biológica colombiana*, 6(1), 7-25.
- De Vasconcelos, A. C. F. , & Chaves, L. H. G. (2019). Biostimulants and Their Role in Improving Plant Growth under Abiotic Stresses. In S. M. Mirmajlessi, & R. Radhakrishnan (Eds.), *Biostimulants in Plant Science*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88829>

- Diener, A. C., & Ausubel, F. M. (2005). RESISTANCE TO FUSARIUM OXYSPORUM 1, a dominant Arabidopsis disease-resistance gene, is not race specific. *Genetics*, 171(1), 305-321.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196. 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Durrant, W.E., Dong, X., 2004. Systemic acquired resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42, 185–209. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140421>
- Esseeds., 2021. ¿Qué es la biofumigacion?. España. <https://esseeds.com/blog/biofumigacion/>
- FAO. (2020). ¿Qué demandan los consumidores?. 5-8. <http://www.fao.org/3/a0843s/a0843s01.pdf>
- Faraa, M. & Tahara, S. (1999). Fungal metabolism of flavonoids and related phytoalexins. *Phytochemistry*, vol. 2, p. 1-33.
- Garret, S. D. 1977. Pathogenic root- infecting fungi. Cambridge press. 294p.
- Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 82–90.
- González-Álvarez, M, Moreno-Limón, S, Salcedo-Martínez, SM, & Pérez-Rodríguez, EC. (2015). In vitro evaluation of the antifungal activity of agave (*Agave scabra*, Salm Dyck) extracts on postharvest fungi. *Phyton* (Buenos Aires), 84(2), 427-434. Retrieved November 09, 2022, from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572015000200023&lng=es&tlng=es.
- González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., García-Enciso, E.L., Rodríguez-Campos, E.M., Flores-Olivas, A., 2018. Efecto de las alcanidas como inductores de tolerancia al estrés biótico en tomate. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 2371. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.768>
- González, I, Yailén, Arias, & Peteira, Belkis. (2012). GENERAL ASPECTS OF Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici-TOMATO INTERACTION. *Revista de Protección Vegetal*, 27(1), 1-7. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522012000100001&lng=es&tlng=en.
- Harrys Moran Seeds, 2015. Catálogo de variedades 2015. HM.com.

- Horinouchi, H.; Watanabe, H.; Taguchi, Y.; Muslim, A.; Hyakumachi, M., 2011. Biological control Fusarium tomate of Fusarium wilt of tomato with Fusarium equiseti GF191 in both rock wool and soil systems. *Biocontrol*. 56(6):915-923. 30.
- Inami, K.; Yoshioka-Akiyama, C.; Morita, Y.; Yamasaki, M.; Teraoka, T. 2012. A Genetic mechanism for emergence of races in Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici: inactivation of avirulence gene AVR1 by transposon insertion. *PLoS One* 7 (8):e44101.
- Inui, H., Yamaguchi, Y., Hirano, S., 1997. Elicitor actions of N-acetylchitooligosaccharides and laminarioligosaccharides For chitinase and L-phenylalanine ammonia-lyase induction in rice suspension culture. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 61, 975–978. <https://doi.org/10.1271/bbb.61.975>
- INTA., 2005. La biofumigación en el marco del MIIP y enfermedades en cvo. *Hortícolas*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/intasp-mitidieri_ms-biofumigacion-ed2005.pdf
- Iturbide-Zuñiga, A.S., Colinas-León, M.T., Lozoya-Saldaña, H., Medina-Moreno, S.A., & Ayala-Arreola, J. (2017). *In vitro* evaluation of *Lilium* genus extracts for the control of Fusarium oxysporum. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 611-622. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1609-6>
- Jasso de Rodríguez D, Alonso-Cuevas CF, RodríguezGarcía R, Ramírez H, Díaz-Jiménez L, Villarreal-Quintanilla JA, JuárezMaldonado A (2020) Extractos de plantas del semidesierto en la inducción del crecimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(1): e2342. DOI: 10.19136/era.a7n1.2342
- Jiménez, J. D. L. C., Moreno, L. P., & Magnitskiy, S. (2012). Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 96-109.

- Juárez-Maldonado, Aundefined., de Alba Romenus, K., Zermeño González, A., Ramírez, H., & Benavides Mendoza, A. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5),943-954.[fecha de Consulta 24 de Octubre de 2022]. ISSN: 2007-0934. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139893003>
- Kant, P.; Reinprecht, Y.; Martin, C.J.; Islam, R.; Pauls, K.P. 2011. Integration of biotechnologies: disease resistance pathology *Fusarium*. In: Moo-Young M. (ed.). *Comprehensive Biotechnology*, second edition, Elsevier, Amsterdam. p.729-743.
- Kirkegaard J. 2009. Biofumigation for plant disease control – from the fundamentals to the farming system. IN: Walters D. (ed.) *Disease control in crops: Biological and environmentally friendly approaches*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. pp 172-195.
- Larkin, R. P., & Fravel, D. R. (1998). Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Plant disease*, 82(9), 1022-1028.
- 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. *J. Agric. Food Chem.*
- Lecomte, C, Claude Alabouvette, Véronique Edel-Hermann, Fabien Robert, Christian Steinberg, 2016. Biological control of ornamental plant diseases caused by *Fusarium oxysporum*: A review, *Biological Control*, Volume 101, Pages 17-30, ISSN 1049-9644, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.06.004>.
- Lewis, J. A., & Papavizas, G.C. (1991). Biocontrol de las enfermedades de las plantas: el enfoque para el mañana. *Protección de cultivos*, 10(2), 95-105.
- Lucas-Bautista Jesús Armando; Bautista Banos Silvia; Ventura Aguilar Rosa Isela y Hernandez López Mónica. 2022. Quitinasas en plantas y posible uso como biomarcadores para el diseño de biosensores en la detección de hongos fitopatógenos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Vol. 13, n.4 pp. 701-713. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2717>.
- Luna-Rivero MS, Hernández-Zepeda C, Villanueva-Alonzo H, Minero-García Y, Castell-González SE, Moreno-Valenzuela OA. Expression of genes involved in the salicylic acid pathway in type h1 thioredoxin transiently silenced pepper plants during a

- begomovirus compatible interaction. *Molecular Genetics and Genomics*. 2016;291(2):819–830
- 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>
- Martínez-Rodríguez, O. G., Can-Chulim, Á. G., Cruz-Crespo, E. G., & García-Paredes, J. D. (2017). Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 51-63. ISSN: 2007-0934. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149891005>
- Martínez, R. E., López, G. M.; Ormeño, O. E., & Moles, A. C. (Eds.). (2013). Manual teórico práctico. Los biofertilizantes y su uso en la agricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, A. C., & Universidad Nacional Autónoma de México. <https://studylib.es/doc/6148735/manual.-los-biofertilizantes-y-su-uso>
- Mc Govern, R.J.; Datnoff, L.E., 1992. Fusarium crown and root rot of tomato:reevaluation of management strategies. In: Vavrina, C.S. (Ed.), Fla. Tom. Instit. Proc., Vegetable Crops Special Series, SS HOS 1 University of Florida-IFAS, p.75-82.
- Melo, P.C. de, Collela, C.F., Sousa, T., Pacheco, D., Cotas, J., Gonçalves, A.M.M., Bahcevandziev, K., Pereira, L., 2020. Seaweed-Based Products and Mushroom β -Glucan as Tomato Plant Immunological Inducers. *Vaccines* 8, 524. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030524>
- Monge, J., 2016. Liro 42: Generalidades del híbrido. Informe técnico. Alajuela, Costa Rica. Almatropic S.A. 1 p.
- Morgado-González, A.,. "Bioestimulantes Y Nutrientos Foliare En La Producción De Higo (Ficus Carica L.) 'Cafe De Turquía'." *Agroproductividad*, Vol. 11, No. 9, Sept. 2018, Pp. 15+. *Gale Onefile: Informe Académico*.
- Morra, M. J., & 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)
- Muñoz Jáuregui, Ana María, Ramos-Escudero, D. Fernando, Alvarado-Ortiz Ureta, Carlos, & Castañeda Castañeda, Benjamín. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 142-149. Recuperado

en 16 de noviembre de 2022, de
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300003&lng=es&tlng=pt.

- Muñoz-Jáuregui, A., Ramos-Escudero, M.D., Alvarado-Ortiz, F., Ureta, C., & Castañeda-Castañeda, B. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and phenolic compound content in promising plant resources. *Journal of the Chemical Society of Peru*, 73(3), 142-149. Retrieved November 16, 2022, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300003&lng=es&tlng=pt.
- Nelson, P.E. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*. p. 51-80. En M.E. Mace, A.A. Bell and e.H. Beckman (eds.). *Fungal wilt diseases of plants*. Academic Press. New York. 1981.
- Neubauer C., Heitmann B., Müller C. 2014. Biofumigation potential of Brassicaceae cultivars to *Verticillium dahliae*. *Eur. J. Plant Pathol.* 140, 341-352
- Oamah, B. D. & Mazza, G. (1996). Flavonoids and antioxidative activities in Buckwheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, no. 7, p. 1746-1750.
- Ojito-Ramos, K., & Portal, O. (2010). Introducción al sistema inmune en plantas. *Biotecnología vegetal*, 10(1).
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J. D., Ocampo-Mendoza, J. D., Sandoval-Castro, E. D., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. A. (2010). Efecto De Diferentes Sustratos En Crecimiento Y Rendimiento De Tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) Bajo Condiciones De Invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3),339-346. Issn: 1665-0441. Recuperado De: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46116015002>
- Ortiz-Enríquez, E, J., Peñuelas-Rubio, Ofelda, Argente-Martínez, Leandris, Félix Valencia, Pedro, & Padilla Valenzuela, Isidoro. (2022). La aplicación de bioestimulantes incrementa los componentes del rendimiento de frijol Pinto Bill Z en el sur de Sonora. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 371-376. Epub 01 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2846>
- Parrado, C.2004. Buenas prácticas agrícolas en un sistema d producción e tomate bajo invernadero. En C. y. Parrado, Buenas prácticas agrícolas en un sistema de producción e tomate bajo invernadero (pág. 34). Bogotá: Universidad De Bogotá Jorge Táo Lozano, Pronata. 2004.

- Prior, R., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods For The Determination Of Antioxidant Capacity And Phenolics In Foods And Dietary Supplements. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 53: 4290-302
- Pulido, R.; Bravo, L.; Saura-Calixto, F. 2000. Antioxid
- PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor) 2020. Jitomate, versatil y nutritivo. En: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/jitomate-versatil-y-nutritivo?state=published>. Consultado en Septiembre del 2022.
- Quian, H. F., X. F. Peng, X. Han, J. Ren, K. Y. Zhan and M. Zhu. 2014. "The stress factor, exogenous ascorbic acid, affects plant growth and the antioxidant system in *Arabidopsis thaliana*." *Russian Journal of Plant Physiology*. 61(4): 467-475.
- Ramirez-Villapudua, J. y Saínz-Rodríguez, R.,A. 2010. Manejo Integrado de las Enfermedades del Tomate. Segunda Edición. ISBN 03-2010-012113150200-01.
- Rincón-Pérez, A. 2014. Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Rios-Hernández, Tania Ameyally, Uc-Varguez, Alberto, & Evangelista-Martínez, Zahaed. (2021). Control biológico de *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición del cormo en gladiolo, mediante estreptomycetos. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(3), 391-413. Epub 13 de diciembre de 2021. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2105-3>
- Rivera-Solís LL, Rodríguez Jasso RM, Flores-López ML, Robledo Olivo A, Sandoval-Rangel A, Sariñana Aldaco O, González-Morales S (2021) Extractos de *Sargassum* spp. como inductores de tolerancia a *Fusarium oxysporum* en plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(1): e2826. DOI: 10.19136/era.a8n1.282
- Rodríguez Araujo, E. A., Bolaños Benavides, M. M., & 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., & 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.

- Rodríguez, D. A., & Montilla, J. O. (2002). Disminución de la marchitez causada por *Fusarium* en tomate con extracto de *Citrus paradisi*.
- Rodríguez, M. K. A.; Monreal. C. T.; Huerta, D. J.; Soria, C. J. C. y Jarquín, G. R. 2013. Aporte de microorganismos benéficos por la incorporación al suelo de residuos deshidratados de col (*Brassica oleraceavar capitata*) y su Efecto en el pH. *Rev. Mex. Fitopatol.* 31(1):29-44.
- Rodríguez Pedroso, A.T., Ramírez arrebato, N.Á., Cárdenas travieso, R.M., 2006. Efecto de la Quitosana en la Inducción de la Actividad de Enzimas Relacionadas con la Defensa y Protección de Plántulas de Arroz (*Oryza sativa* L.) contra *Pyricularia* grisea Sacc. *Rev. Mex. Fitopatol.* 24, 1–7.
- Rosa, E. A. S. (1997.) Daily variation in glucosinolates concentrations in the leaves and roots of cabbage seedlings in two constant temperature regimes. *J. Sci. Food Agric.*
- Ruiz-Sánchez E, Mejía-Bautista MA, Serrato-Díaz A, Reyes-Ramírez A, Estrada-Girón Y, Valencia-Botín AJ. 2016. Antifungal activity and molecular identification of native strains of *Bacillus subtilis*. *Agrociencia.*;50(2):133-148.
- SAGARPA, (2020). El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial.
- SAGARPA. (2018). Potencial del jitomate.
- Salisbury, F. y Ross, C., 1994. *Plant Physiology, Fourth Edition.* USA. Wadsworth publishing.
- Samaniego-Gómez, Blanca Y., Reyes-Ramírez, Arturo, Moreno-Valenzuela, Oscar A., & Tun-Suárez, José M.. (2017). Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp.. *Revista de Protección Vegetal*, 32(1), 10-22. Recuperado en 25 de octubre de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522017000100002&lng=es&tlng=pt.
- Sanchez, A. D. (2018). Biocontrol de *Fusarium oxysporum* f. sp. cepae, patógeno de suelo en cebolla con aislamientos nativos de *Trichoderma* de la región Patagónica Norte.
- Sandoval-Rangel (2021). Report of the World Chili Congress.
- Sandoval-Rangel A. 2019. Biocontrol de patógenos del suelo. Conferencia. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 20 de febrero del 2020.

- Santiago, J., & Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana*, 59-65.
- Sarwar, M., Kirkegaard, J. A., Wong, P. T. W., & Desmarchelier, J. M. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil*, 201(1), 103–112. <https://doi.org/10.1023/A:1004381129991>
- Segura, Á. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Dado que el acceso y el flujo de la información sobre investigaciones recientes en el área agrícola es restringida o de alto costo, el laboratorio periódicamente realiza seminarios, cursos de capacitación y talleres, que sean de acceso a estudiantes, productores, profesionales y público general, para actualizarlos en temas de interés mutuo y difundir información específica y de interés para el sector agrícola., 18.
- Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525-532. ISSN: 0325-2957. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53541410>
- Shanmugam, V., Kanoujia, N., 2011. Biological management of vascular wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* by plant growth-promoting rhizobacterial mixture. *Biol. Control* 57, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.02.001>
- Sh -Sadak, Mervat, Abdelhamid, Magdi T, & Schmidhalter, Urs. (2015). Effect Of Foliar Application Of Aminoacids On Plant Yield And Some Physiological Parameters In Bean Plants Irrigated With Seawater. *Acta Biológica Colombiana*, 20(1), 141-152. <https://doi.org/10.15446/Abc.V20n1.42865>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. En: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado en octubre del 2022.
- SIAP., 2021. Panorama agroalimentario 2021. Mexico. Pp 92 y 93.
- Smirnoff, N. and G. L. Wheeler. 2000. "Ascorbic acids in plants: biosynthesis and function. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*." 35(4): 291-314.

- Stefanova, M., Leiva, A., Larrinaga, L., & Coronado, M. F. (1999). Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp. para el control de hongos Fitopatógenos Del Suelo. *Revista Facultad De Agronomía*, 16, 509-516.
- Swiader, K. & Lamer-Zarawska, E. (1996). Flavonoids of rose artemisia species and their antifungal properties. *Phytotherapy*, vol. 57, no. 1.
- Symborg., 2022. Productos de control biológico. Disponible en: <https://symborg.com/mx/biocontrol/>
- Tamayo, M. J. M.; Cruz C. C. y Munguía, G. A. 2016. Los Conocimientos Tradicionales y la Agricultura Moderna: Caso Dzidzantún, Yucatán y Huatusco, Veracruz. El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad. (Ed.). 1a. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. México.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85-86.
- Terralia (2019). Ediciones Agrotécnicas S.L. [En línea]. Listado de materias Fumigantes: en Agroquímicos de México [Consultado 27/09/2019]. Disponible en URL: https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_trademark?trademark_id=9834
- Torres, G. A. (2000). Algunos aspectos de los hongos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. *Agronomía colombiana*, 17(1-3), 11-16.
- Turlier, M. F., Eparvier, A., & Alabouvette, C. (1994). Early dynamic interactions between *Fusarium oxysporum* f.sp. *lini* and the roots of *Linum usitatissimum* as revealed by transgenic GUS-marked hyphae. *Canadian Journal of Botany*, 72(11), 1605–1612. <https://doi.org/10.1139/b94-198>
- Valencia-Guerrero, María Fernanda, Quevedo-Hidalgo, Balkys, Franco-Correa, Marcela, Díez-Ortega, Hugo, Parra-Giraldo, Claudia Marcela, & Rodríguez-Bocanegra, María Ximena. (2011). Evaluación de actividades enzimáticas de *Fusarium* spp., aislados de lesiones en humanos, animales y plantas. *Universitas Scientiarum*, 16(2), 147-159. Retrieved November 09, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-74832011000200004&lng=en&tlng=es.

- Valenzuela-Martínez, C.; Romano-Casas, G.; Cuadras-Berrelleza, A. A. y Ortega-Martínez, L. D. 2019. Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en Sinaloa (México): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. Trayectorias humanas transcontinentales. 4:103-122. <https://doi.org/10.25965/trahs.1615>.
- Vásquez-Ramírez, L. M., & Castaño-Zapata, J. (2017). Integrated Disease Management Of Fusarium Wilt Of Tomato [Fusarium Oxysporum F. Sp. Lycopersici (Sacc.) Wc Snyder & Hn Hansen]: A Review. *Udea Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 363-374.
- Vellsam. 2017. Evaluación de Brixtoner en el contenido de azúcares en Tomate Cherry en Invernadero. Disponible en: <https://www.vellsam.com/es/blog/brixtoner-y-contenido-azucars-en-tomatecherry>
- 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.
- Villapudua J. R. y Sainz R. R. A., 2010. Manejo Integrado de las Enfermedades del Tomate. Agrobiológica Sa de CV. Culiacán, Sinaloa, México. Pp 127.
- Villela, O.,D., Castillo, D.,E., Cantallopts, A., J. 2017. Potencial de la turba en la minería no metálica en Chile. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de minería.
- Villota-Burbano, E. & Vazquez-Ochoa, O. Y. (2020) *In vitro* evaluation of ethanolic extract of borage (*Borago officinalis*) leaves against fungistatic activity. Universidad Central, Colombia. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i2.47764>
- Vinchira-Villarraga y Moreno-Sarmiento., 2019. Control biológico: Camino a la agricultura moderna. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v21n1/0123-3475-biote-21-01-2.pdf>

- Vuelta-Lorenzo, D., 2014. Biofumigation and solarization as alternatives to soil pest management. Cuba. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311724873_la_biofumigacion_y_la_solarizacion_como_alternativas_al_manejo_de_plagas_del_suelo_biofumigation_and_solarization_as_alternatives_to_soil_pest_management_autor
- Yadeta, K. A., & Thomma, B. P. (2013). The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. *Frontiers in plant science*, 4, 97.
- Zavaleta-Mejía, E. (1999). Management Alternatives for Plant Diseases. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 201–207.