

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSGRADO



MANEJO DE LA PUDRICIÓN BASAL DEL AJO MEDIANTE PRINCIPIOS
ACTIVOS DE ORIGEN BOTÁNICO Y QUÍMICO

Tesis

Que presenta ROCÍO DE JESÚS DÍAZ AGUILAR

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSGRADO



MANEJO DE LA PUDRICIÓN BASAL DEL AJO MEDIANTE PRINCIPIOS
ACTIVOS DE ORIGEN BOTÁNICO Y QUÍMICO

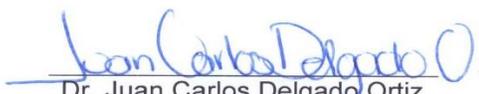
Tesis

Que presenta ROCÍO DE JESÚS DÍAZ AGUILAR

Como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA



Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Director (UAAAN)



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Director externo

Saltillo, Coahuila

Junio 2022

MANEJO DE LA PUDRICIÓN BASAL DEL AJO MEDIANTE PRINCIPIOS
ACTIVOS DE ORIGEN BOTÁNICO Y QUÍMICO

Tesis

Elaborada por ROCÍO DE JESÚS DÍAZ AGUILAR como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.

Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Asesor principal

Dr. Ernesto Cerna Chávez
Asesor

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Asesor

Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Asesor

Dr. Omegar Hernández Bautista
Asesor

Dr. Víctor Olalde Portugal
Asesor

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Julio 2022

Agradecimientos

A Dios:

Por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro:

Por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios de postgrado.

Al comité de asesoría:

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes, por confiar en mí y permitirme desarrollar este proyecto y por cada una de sus palabras que me alentaron a seguir adelante.

Al Dr. Ernesto Cerna Chávez por compartir sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz por su apoyo en las diferentes actividades para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Jerónimo Landeros Flores por su apoyo y motivación para culminar esta etapa.

Al Dr. Omegar Hernández Bautista por todas las atenciones brindadas y por su colaboración en el trabajo.

Al Dr. Víctor Olalde Portugal por aceptar formar parte del comité de asesoría y por todas las atenciones brindadas.

A Alberto Roque por acompañarme y apoyarme en el transcurso de esta etapa.

A mis amigos, que durante este trayecto alegraron mis días, gracias.

Dedicatoria

Hasta el cielo:

Para mis abuelos Enriqueta y Herminio

A mi familia:

Por ser el impulso que me ayuda a seguir adelante

Carta de aceptación de artículo

Completed Messages Photos Documents Related search: Plant Disease

Inbox 457

Unread Starred Drafts 260 Sent Archive Spam Trash ~ Less Views Hide Photos Documents Subscriptions Deals Groceries Receipts Travel Folders Hide + New Folder jabaly1@yaho...

Today

Ad Codere (La precisión en el aire te pre... (Las ganancias están en el aire E...

ResearchGate 10:10 AM 1 Isabel López-Arroyo added a... (Article Apr 2018 · Plant Diseas...

Last week

APS Research U... Jan 26 New research from six journ... (led with resistance to certain L...

Earlier in January

Plant Disease Jan 22 Plant Disease - Accept with ... (you submitted to Plant Dis...

Dr Efraín de la Cr... Jan 21 [ERA] Decisión del editor/a (2016), afecta numerosas p...

Berenice GC Jan 18 Carta y artículo para la revis... (lity for growth promotion ...)

article@journal... Jan 18 Call for Manuscript (Medicines & Medicinal Plants ...)

Plant Disease Jan 14 Plant Disease - Decisión on ... (you submitted to Plant Dis...

Jazmín Guerrero Jan 12 Publicación de Artículos (de café Evaluation of plant...

Carlos A. SANDO... Jan 12 [TSAES] Article Review Request (fungi that affect plants and fr...

Plant Disease Jan 11 Plant Disease - Manuscript ID P... (for publicación in Plant Diseas...

me 2 Jan 11 tercera parte Tercera parte de informació...

me 2 Jan 11 segunda parte de proyect... segunda parte de informaci...

me 2 Jan 11 proyectos investigación

Plant Disease - Accept with revision on Note ID PDIS-12-21-2658-PDN.R1 Yahoo/Inbox

Plant Disease <onbehalf... Sat, Jan 22 at 8:33 AM

To: rociodiazag@hotmail.com, jabaly1@yahoo.com, moe_788@hotmail.com, jazzguerrero@hotmail.com, roque_doko@hotmail.com and 1 more...

22-Jan-2022

Dear Dr. Ochoa:

Note ID PDIS-12-21-2658-PDN.R1 entitled "First report of *Clonostachys rosea* causing root rot in garlic in Mexico", which you submitted to Plant Disease, has been reviewed. The comments of the reviewers are included at the bottom of this letter.

The reviewers have recommended publication, but also suggest some revisions to your note. Therefore, I invite you to respond to the reviewers' comments and revise your note.

To revise your note, log in to <https://mc.manuscriptcentral.com/plantdisease> and enter your Author Center, where you will find your note listed under "Manuscripts with Decisions." Under "Actions," click on "Create a Revision." Your note number has been appended to denote a revision.

You will be unable to make your revisions on the originally submitted version of the note. Instead, revise your note using a word processing program and save it on your computer. Please also highlight the changes to your note within the document by using the track changes mode in MS Word or by using highlighting or colored text.

Once the revised note is prepared, you can upload it and submit it through your Author Center.

When submitting your revised note, you will be able to respond to the comments made by the reviewers in the space provided. You can use this space to document any changes you make to the original note. In order to expedite the processing of the revised note, please be as specific as possible in your response to the reviewers.

IMPORTANT: Your original files are available to you when you upload your revised note. Please delete the original files before completing the submission.

Because we are trying to facilitate timely publication of notes submitted to Plant Disease, your revised note should be uploaded as soon as possible. If it is not possible for you to submit your revision in a reasonable length of time, we may have to consider your paper as a new submission.

Once again, thank you for submitting your note to Plant Disease and I look forward to receiving your revision.

Sincerely,
Dr. Neil McRoberts
Senior Editor, Plant Disease
nmcroberts@ucdavis.edu

Reviewers' Comments to Author:
Reviewer: 1

Comments to the Author

... causing root rot in garlic in Mexico". From the previous comments that I made, authors did address them with clearer explanation. However, there are still some comments that I made to the authors. Please see additional comments below.

Recibí
Ochoa
31/ene/2022
1/2

<https://mail.yahoo.com/d/search/keyword=plant%2520disease>

Carta de envío de artículo

De: [Plant Disease](#)

Enviado: miércoles, 13 de abril de 2022 08:07 a. m.

Para: rociodiazag@hotmail.com; jabaly1@yahoo.com; moe_788@hotmail.com; jazzguerrero@hotmail.com; roque_doko@hotmail.com; ypagaza@hotmail.com; visa8a@yahoo.com

Asunto: Plant Disease - Manuscript ID PDIS-04-22-0823-PDN

13-Apr-2022

Dear Dr. Ochoa:

Your manuscript entitled "First report of *Fusarium incarnatum*-*equiseti* species complex causing garlic bulb rot in Mexico" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in *Plant Disease*.

Your manuscript ID is PDIS-04-22-0823-PDN. Please mention the manuscript ID in all future correspondence or when calling the office with questions.

If you are not the corresponding author, you are receiving this message because you have been listed as a co-author on this manuscript.

You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fmc.manuscriptcentral.com%2Fplantdisease&data=04%7C01%7C%7C0df8e6f9ee2c488f9c2108da1d4e87a0%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637854520379847199%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLjBjIi6k1haWwiLCJXVCi6Mn0%3D%7C3000&reserved=0>.

If there are any changes in your contact information, please log in to Manuscript Central at <https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fmc.manuscriptcentral.com%2Fplantdisease&data=04%7C01%7C%7C0df8e6f9ee2c488f9c2108da1d4e87a0%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637854520379847199%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLjBjIi6k1haWwiLCJXVCi6Mn0%3D%7C3000&reserved=0> and edit your user information as appropriate.

APS recommends authors create or associate their existing ORCID record with their profile in Manuscript Central. If you do, we will automatically link your online article to your ORCID record.

Publication in *Plant Disease* requires payment of Article Publication Charges. Please refer to the online Information for Authors: <https://nam12.safelinks.protection.outlook.com/?url=http%3A%2F%2Fapsjournals.apsnet.org%2Fpage%2Fauthorinformation&data=04%7C01%7C%7C0df8e6f9ee2c488f9c2108da1d4e87a0%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637854520379847199%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLjBjIi6k1haWwiLCJXVCi6Mn0%3D%7C3>

s://outlook.live.com/mail/0/inbox/id/AQQkADAwATY3ZmYAZS05MTQ1LWU3NwA0LTAwAi0wMAoAEABPwNUgAnFHQJOiMI2JPahI

1/2



INTRODUCCIÓN

El centro de origen del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) es Asia Central según lo reportado por Etoh y Watanabe, (2001); esta hortaliza está distribuida en todo el mundo y es consumida ya contiene diversos fitoconstituyentes que le otorgan diferentes propiedades tanto alimenticias, como medicinales (El-Saber Batiha *et al.*, 2020), desde la antigüedad este cultivo se ha utilizado con diferentes propósitos ya que ayuda a prevenir y tratar enfermedades cardiovasculares, actúa como fungicida, bactericida, tiene propiedades antioxidantes, entre otros (Torija *et al.*, 2013). Los principales países productores de este cultivo son asiáticos, México ocupa el cuarto lugar de producción en América Latina (Velarde-Mendivil *et al.*, 2021), en nuestro país, los principales estados productores en el año 2021 fueron Zacatecas, Guanajuato y Puebla (SIAP, 2021).

El cultivo de ajo es atacado por diversas enfermedades fúngicas, teniendo como agentes causales a hongos de diferentes géneros como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Jiménez *et al.*, 2009), la enfermedad conocida como pudrición basal del ajo tiene como agente causal a *Fusarium* spp. (Velásquez y Medina, 2004). Cabe mencionar que *Fusarium* también ataca al ajo en postcosecha provocando pudrición en los bulbos almacenados (Mondani *et al.*, 2021). El control de las enfermedades fúngicas se basa principalmente en el control químico, esto genera un costo elevado en la producción de los alimentos, además de ocasionar problemas ambientales (Rampersad, 2020); otra problemática es el desarrollo de resistencia que generan los hongos ante el uso indiscriminado de los fungicidas químicos, dificultando así su control (Fernández-Ortuño *et al.*, 2008). Ante esta situación se buscan alternativas de menor impacto ambiental, pero con alta eficiencia en el control de los hongos (Rongai, *et al.*, 2015), los extractos vegetales contienen compuestos que inhiben el crecimiento de los hongos, la esporulación y la germinación de las esporas, teniendo así un efecto fungicida (Lauzardo *et al.*, 2007), el uso de productos naturales con metabolitos secundarios derivados de plantas son una alternativa ya que reducen los daños

provocados por los patógenos de forma amigable con el medio ambiente (Gwinn, 2018).

Justificación

La pudrición basal del ajo se encuentra distribuida en las diferentes zonas productoras de ajo de México, para su control se utilizan ingredientes químicos sintéticos que pueden generar diversos problemas; por lo cual se buscan alternativas que sean de menor impacto ambiental, pero con alta efectividad.

Hipótesis

Al menos uno de los principios activos utilizados será efectivo en el control de la pudrición basal del ajo causada por *Fusarium* spp.

Objetivo general

Evaluar el efecto de principios activos botánicos 1-8 cineol, β -citronelol, D-limoneno, alil isotiocianato y el activo químico ácido salicílico sobre el control de *Fusarium* spp. causantes de la pudrición basal del ajo.

Objetivos específicos

1. Aislar e identificar las especies de *Fusarium* causantes de la pudrición basal del ajo.
2. Determinar *in vitro* el efecto antifúngico de los principios activos sobre el crecimiento micelial de *Fusarium* spp.

REVISIÓN DE LITERATURA

Ajo (*Allium sativum* L.)

Centro de origen del cultivo

El ajo pertenece a la familia Alliaceae y al género *Allium* de acuerdo con la reciente clasificación de las monocotiledoneas (Fritsch y Friesen, 2002), el centro de origen de este cultivo es Asia central y la especie endémica *Allium longicuspis* Regel se conoce como ancestro de las diferentes especies de ajo (Valadez, 1989; Reveles-Hernández *et al.*, 2009), este cultivo es un alimento básico antiguo ya que su uso se reporta desde hace más de 2,000 años a. c. (Schwartz y Mohan, 2008); de las especies del género *Allium* esta es la segunda más cultivada después de la cebolla y está distribuida por todo el mundo debido a que se adapta a diferentes condiciones ambientales (Hirata *et al.*, 2015).

Importancia del cultivo

El cultivo del ajo tiene diferentes finalidades, el principal es culinario ya que es utilizado en la preparación de diversos platillos tradicionales, aportando diferentes valores nutricionales a los consumidores (Causapé, 2012); por otro lado, es utilizado como medicamento natural debido a los compuestos organosulfurados que contiene, teniendo efectos antibacterianos, antiinflamatorios, reducción de presión arterial, entre otros (Yue-Yue *et al.*, 2020), en los últimos años se han realizado investigaciones para su uso en la agricultura, debido a su potencial antifúngico (Aguirre *et al.*, 2012), además de ser una alternativa para el control de plagas ya que el extracto de ajo tiene propiedades insecticidas y repelentes (Monteon-Ojeda *et al.*, 2020; Miranda-Ramírez *et al.*, 2021). En México en el año 2021 se sembraron más de 7,000 hectáreas de este cultivo, generando empleos de mano de obra que va desde preparación del suelo, manejo de los cultivos, hasta cosecha (SIAP, 2021).

Producción mundial y nacional del ajo

En el mercado mundial para el año 2020 se produjo un total de 28,054,318 toneladas de ajo, siendo China el principal productor obteniendo total de 20,757,034 ton cosechadas, seguido de India con 2,917,00 ton y Bangladesh 485,447 ton; en este mismo año México exportó 15,880 toneladas de ajo con un valor de exportación de 423,837,200 USD (FAOSTAT, 2022).

Durante los años 2015 y 2019 nuestro país se posicionó en el noveno lugar en la exportación de ajos a nivel mundial, exportando principalmente a los países Estados Unidos, Austria y Francia. En el año 2021 nuestro país produjo un total de 90,652.45 ton, los principales estados productores fueron Zacatecas (44,657.15 ton), Guanajuato (15,196.96 ton) y Puebla (5,801.95 ton) (SIAP, 2021).

Principales problemas fúngicos

El ajo es atacado por diversos hongos que se manifiestan en los diferentes estados fenológicos del cultivo, ocasionando pérdidas en la producción y rendimiento, además de afectar la calidad del producto para su comercialización (Mishra *et al.*, 2014). Algunas enfermedades afectan el bulbo del ajo como el hongo *Sclerotium cepivorum* Berk es considerado como el agente causal de la podredumbre blanca afectando al cultivo de cebolla y ajo, esta enfermedad se presenta en las diferentes etapas del cultivo reduciendo su producción (Thangavel *et al.*, 2014), las plantas infectadas carecen de sistema radicular, las hojas presentan amarillamiento y la planta pierde vigor, además se puede observar abundante micelio blanco-algodonoso con esclerocios alrededor del bulbo y en ocasiones en la base de la planta (Shewakena y Desta, 2020).

La podredumbre verde es causada por *Penicillium* spp. que afecta a los bulbos en campo y poscosecha, generando lesiones que impiden su germinación, además afecta la calidad de los bulbos para su venta (Astorga-Quirós *et al.*, 2014), los síntomas identificados en los bulbos son manchas amarillentas de forma irregular y presencia de micelio de coloración verde-azul y hojas cloróticas (Gálvez y Palmero, 2021), se han reportado algunas especies patogénicas de este hongo como *P. allii*, *P. hirsutum* Dierckx y *P. citrinum* Thom agentes

causantes de esta enfermedad (Hernández-Anguiano *et al.*, 2006; Valdez *et al.*, 2006).

La enfermedad conocida como podredumbre del cuello afecta a los cultivos de cebolla y ajo principalmente, se conocen como agentes causales a *Botrytis aclada*, *B. allii*, y *B. porri* (Maude *et al.*, 1982; Cedeño *et al.*, 2003; Özer y Köycü, 2004), los síntomas de la podredumbre son coloraciones marrones en el cuello de la planta, pudrición acuosa, marchitamiento y muerte de las plantas (Nischwitz *et al.*, 2021); sin embargo *B. porri* también es reportado como el agente causal del tizón de la hoja en ajo (Zhang y Jiang, 2009). Otra de las limitantes para la producción de ajo en campo es *Alternaria porri* (Ellis) Cif. agente causal de la enfermedad conocida como mancha purpura (Prajapati *et al.*, 2019), los primeros síntomas son manchas blancas en las hojas más longevas a continuación se forman lesiones hundidas con coloraciones moradas, cuando la enfermedad está más avanzada las lesiones son más grandes y se pueden observar lesiones necróticas, coloraciones marrones-purpuras, marchitez y retardo en el desarrollo del cultivo (Suheri y Price, 2001a; Dar *et al.*, 2020).

El género *Fusarium* está distribuido a nivel mundial, este fitopatógeno es de gran importancia ya que afecta a diversos cultivos tanto hortícolas, frutales y ornamentales (Ma *et al.*, 2013) los cultivos afectados presentan diversos síntomas como enanismo, clorosis, marchitez, coloraciones rojizas, pudrición de raíces y tallos (Okungbowa y Shittu, 2012).

Pudrición basal

La pudrición basal del ajo fue detectada por primera vez en California, Estados Unidos en el año 1976, teniendo como agente causal a *Fusarium culmorum*, las pérdidas por esta enfermedad pueden llegar hasta el 40% en campo además de las pérdidas que se generan en postcosecha (Schwartz y Mohan, 2016), esta enfermedad está distribuida en todo el mundo, en el año 2001 se reportó por primera vez a *F. proliferatum* provocando pudrición de bulbos en almacenamiento en América del Norte (Dugan *et al.*, 2003); la podredumbre basal del ajo es una problemática en las zonas productoras de Vietnam donde *F. oxysporum* obtuvo

mayor incidencia en muestras de ajo en comparación con *F. solani* y *F. proliferatum* que afectaron mayormente a bulbos de cebolla (Stankovic *et al.*, 2007), en Serbia se aisló a *F. proliferatum* provocando marchitez en cultivos de ajo y cebolla, además se detectaron micotoxinas en los bulbos contaminados con este hongo (Stankovic *et al.*, 2007); en el año 2008 en zonas productoras de España se identificaron bulbos con síntomas de podredumbre durante el almacenamiento y en 2009 esta enfermedad fue detectada en campo reportando como agente causal de la enfermedad a *F. proliferatum* (Gálvez-Patón *et al.*, 2011). En Italia se localizaron bulbos de ajo vacíos y suaves, estos se encontraban almacenados y aproximadamente el 30% de los bulbos estaban afectados, al identificar el patógeno se caracterizó como agente causal a *F. proliferatum* (Tonti *et al.*, 2012), otros reportes de este hongo afectando a bulbos de ajo almacenados se han realizado en países como Egipto y Eslovaquia (Moharam *et al.*, 2013; Horáková *et al.*, 2021).

En México se reportaron afectaciones en el cultivo de ajo en campos agrícolas de los estados Aguascalientes y Zacatecas, las plantas presentaban enanismo, bulbos pequeños y hojas con coloraciones púrpuras, aislando a *Fusarium* spp. como causante de la pudrición basal del ajo (Velásquez-Valle y Medina-Aguilar, 2004), sin embargo, además de afectar las plantas en el campo también se reporta la presencia de *Fusarium* spp. en semillas de ajo provocando lesiones cafés y rojizas (Velásquez-Valle *et al.*, 2017).

Para corroborar la identidad de las especies de *Fusarium* que afectan a la semilla de ajo (dientes) de los estados Aguascalientes y Zacatecas, se identificaron los aislamientos morfológica y molecularmente teniendo como resultado la presencia de *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. verticilloides* y *F. acuminatum* (Ochoa-Fuentes *et al.*, 2012), sin embargo, en un estudio realizado en campo se reportó la presencia de *F. proliferatum* y se corroboró su patogenicidad, confirmando con ello el primer reporte de esta especie en México (Fuentes *et al.*, 2013), en otro estudio realizado se identificaron las especies anteriormente mencionadas, siendo *F. oxysporum* la cepa más patogénica en plantas de ajo (Delgado-Ortiz *et al.*, 2016).

El género *Allium* en general es atacado por diferentes especies de *Fusarium*, en México se realizó el primer reporte a nivel mundial de pudrición basal en cebolla causada por *F. falciforme* y *F. brachygibbosum* en zonas productoras de Sinaloa (Tirado-Ramírez *et al.*, 2018; 2019), se estudió la patogenicidad de estas nuevas cepas, comparando los síntomas con los provocados por *F. oxysporum*, cabe mencionar que causaron daños similares como amarillamiento y tejidos oscuros en los bulbos de cebolla (Tirado-Ramírez *et al.*, 2021).

Control químico de *Fusarium* spp.

El control de las diversas especies de *Fusarium* se basa en la utilización de productos químicos comerciales con ingredientes activos como dimethomorph, fluopyram, pyraclostrobin, prochloraz, propiconazole y tebuconazole entre otros, los tratamientos son aplicados en las diferentes etapas del cultivo, así como en el manejo de postcosecha (Patón *et al.*, 2016; Mondani *et al.*, 2022).

En México el control de *Fusarium* spp. se realiza principalmente con los ingredientes activos benomyl, tebuconazol o thiabendazol (Reveles-Hernández *et al.*, 2009), sin embargo, su utilización desmedida y el manejo inadecuado de los productos pueden generar resistencia de los hongos a los ingredientes activos, tal es el caso de *F. oxysporum*, *F. coeruleum* y *F. sambucinum* resistentes a benomyl, fludioxonil, tiofanato-metilo, tiabendazol y benzimidazol, disminuyendo las opciones de control para el agricultor (Magie, 1975; Peters *et al.*, 2008). El uso irracional de pesticidas ocasiona daños al medio ambiente contaminado suelo, aire y agua, además disminuye la diversidad de agentes benéficos que se encuentran en el suelo y adicionalmente genera daños a la salud humana debido a la exposición a las sustancias (Yengle *et al.*, 2008; Gan y Wickings, 2017).

Principios activos botánicos

En los últimos años se ha incrementado la búsqueda de nuevas estrategias para el control de diversos fitopatógenos, con la finalidad de producir alimentos de forma ecológica, generando menor impacto ambiental (Shahid *et al.*, 2017). Una

alternativa para disminuir el uso excesivo de productos químicos sintéticos son los extractos vegetales ya que contienen metabolitos secundarios que actúan como fungicidas para el control de hongos fitopatógenos (Guédez *et al.*, 2014), sin embargo, la eficacia de los extractos depende de los compuestos que contiene la planta, ya que, aunque correspondan al mismo género la cantidad de metabolitos varía con relación a la especie a la que pertenecen, además su concentración depende de las fechas de muestreo y partes de la planta utilizadas (Mejía-Garibay *et al.*, 2011).

Los extractos vegetales contienen diversos compuestos, estudios han generado información relevante respecto a la separación de los principios activos y su eficiencia en el control de hongos, se evaluaron *in vitro* diferentes monoterpenos de aceites esenciales contra *Rhizoctonia solani* donde 1-8 cineol inhibió más del 60% del crecimiento micelial del hongo a una concentración de 0.5% (Vaillant *et al.*, 2009), en otro estudio para controlar a *R. solani* se utilizó 1-8 cineol en combinación con timol obteniendo el 100% del control en el crecimiento del hongo, utilizando dosis bajas de 0.03% (Vaillant *et al.*, 2015); se determinaron los principales aceites esenciales que contienen diferentes especies de eucalipto, dentro de ellos se determinó la presencia de 1-8 cineol y se evaluó su actividad antifúngica contra *F. oxysporum* cabe mencionar que este compuesto inhibió al hongo a una concentración del 1.5% del producto (Kottearachchi *et al.*, 2012), este compuesto también se utilizó para examinar su efecto *in vitro* para el control de diferentes especies del género *Fusarium* (*F. subglutinans*, *F. cerealis*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum* y *F. sporotrichioides*) de acuerdo a los resultados las concentraciones de 1% redujeron significativamente el crecimiento de los hongos al 100% (Morcia *et al.*, 2011). Dentro de los componentes del aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) se determinó la presencia de 1-8 cineol al 53.48% y se determinó su potencial antifúngico en ensayos *in vitro* contra *F. verticillioides*, el crecimiento radial únicamente se redujo a menos del 25%, cabe mencionar que inhibió la producción de conidias alcanzando hasta el 73.3%, por lo que es necesario continuar investigando las funciones antifúngicas de este compuesto (Achimón *et al.*, 2021).

Otro monoterpeno natural estudiado por su capacidad inhibitoria es D-limoneno, este se encuentra de forma natural en las cascarras de cítricos y es el compuesto con mayor presencia (Castañeda-Antonio *et al.*, 2018), se han realizado investigaciones para conocer su actividad antifúngica en el crecimiento del hongo *Corynespora cassiicola* y se estimó la geminación de conidios, los resultados mostraron que a una concentración de 5000 ppm se redujo la germinación al 60% y 100% en el crecimiento del micelio (Romero *et al.*, 2013), el aceite esencial de naranja se utilizó en pruebas *in vitro* contra *F. solani*, la concentración de 2.5% inhibió el 100% del crecimiento, debido a estos resultados, el aceite se utilizó como recubrimiento en frutos de papaya para el control de enfermedades postcosecha, logrando evitar daños en un 100% a la concentración antes mencionada (Guédez *et al.*, 2014); se utilizó a D-limoneno contra aislados de *Alternaria tenuissima*, sin embargo, no inhibió la germinación de esporas, respecto al crecimiento del micelio se logró inhibir al hongo a una concentración de 10,000 ppm (Quintana-Obregón *et al.*, 2017).

Las plantas de mostaza (*Brassica juncea*) contienen diversos compuestos, dentro de ellos destacan vitaminas, minerales, isotiocianato de alilo e isotiocianato de 3 butilo entre otros, todos ellos le confieren a la planta propiedades antivirales y bactericidas (Tian y Deng, 2020); la aplicación *in vivo* de isotiocianato de alilo se realizó en frutos de *Pyrus communis*, dicha aplicación se realizó en forma de vapor en frutos inoculados con *Penicillium expansum* utilizando alil sintético y alil extraído de *B. juncea*, la mayor actividad fungicida fue del segundo compuesto ya que únicamente el 10% de las heridas inoculadas presentaron síntomas en comparación con el testigo que obtuvo más del 80%, cabe mencionar que este producto controló la infección de una cepa resistente a benzimidazol (Mari *et al.*, 2002), también se ha evaluado *in vitro* al compuesto para el control de *Rhizoctonia solani* Kühn, los resultados mostraron el potencial fungicida a una concentración del 10% del compuesto (Molina-Vargas *et al.*, 2010); debido al gran potencial de alil isotiosanato para controlar enfermedades se empleó para el control de *F. graminearum*, las pruebas se realizaron *in vitro* evaluando el crecimiento radial del hongo así como la germinación de esporas, para la

evaluación del crecimiento micelial y germinación de esporas existió una inhibición del 100% con dosis de 1250 mg/L, siendo este compuesto una alternativa para el control de *Fusarium* (Ashiq *et al.*, 2022).

El monoterpeno β -citronelol está presente de forma abundante en el aceite esencial de la planta citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt), dicho aceite se utiliza para diversos propósitos en la industria cosmética, farmacéutica y como repelente de insectos (Wany *et al.*, 2013); para conocer el efecto antifúngico del compuesto se realizaron bioensayos *in vitro* determinando el crecimiento micelial y la germinación de esporas de los hongos *Botrytis cinerea* y *Monilinia fructicola*, los resultados demostraron que se redujo más del 70% del crecimiento de *B. cinerea* y la germinación a una dosis de 250 μ g/mL se inhibió al 100%, para el caso de *M. fructicola* el micelio se inhibió un 97% a una concentración de 100 μ g/mL y la germinación de esporas en un 100% a la misma concentración que *Botrytis* (Tsao y Zhou, 2000); el hongo *F. oxysporum* también se ha utilizado para conocer el potencial de citronelol, a una concentración de 3 g/L la tasa de crecimiento se redujo a cero, en cuanto a las estructuras existió una disminución en el número de conidias y clamidosporas, además las hifas presentaron daños en su morfología, con gránulos citoplasmáticos atípicos y decoloración (Arango *et al.*, 2011), el monoterpeno β -citronelol se utilizó para el control *in vitro* de *Botryosphaeria dothidea*, el efecto del compuesto se observó a una concentración de 400 μ g/mL alcanzando más del 70% de inhibición (Zhang *et al.*, 2018).

De los cuatro principios activos antes mencionados se determinó su efecto en el control de diferentes hongos *A. solani*, *F. oxysporum* y *R. solani*, el experimento se realizó en bioensayos utilizando la técnica de medios envenenados, como resultado de esta investigación se puede destacar que el compuesto más eficaz con menor concentración inhibitoria es β -citronelol con 6.8, 5.44 y 6.5 ppm respectivamente, el compuesto con menor control fue eucaliptol ya que la concentración requerida fue 1173, 3565 y 3168 ppm respectivamente, este

hallazgo es importante ya que estos compuestos son una alternativa a la utilización de productos sintéticos (Cerna-Chávez *et al.*, 2019).

Ácido salicílico

El ácido salicílico (AS) es un ácido orgánico (beta-hidroxiácido), este tiene diversas propiedades como antiinflamatorio, antiséptico, bacteriostático, fungicida, entre otras para la salud humana (Cuéllar *et al.*, 2008), el uso del AS en la agricultura en los últimos años ha sido importante ya que se considera una fitohormona que promueve la reacción de las plantas a los ataques de patógenos (Sánchez *et al.*, 2010), sin embargo, este ácido también tiene propiedades antifúngicas, se utilizó una concentración de 0.30 g/100mL del producto en medios de cultivo papa-dextrosa-agar y se colocaron explantes de *Colletotrichum musae*, la inhibición fue del 22% en comparación con el testigo químico (Oliveira *et al.*, 2016); Se ha evaluado el ácido salicílico en frutos de melón para conocer sus efectos sobre el desarrollo de pudrición por *Fusarium*, los frutos se trataron con soluciones de ASA (0, 1.6, 3.2, 6.4 mg/mL), transcurridos 48 hrs se inocularon con una suspensión de conidias de *F. sulphureum*, el tratamiento redujo el desarrollo de la pudrición gracias a sus efectos inhibitorios hacia el crecimiento del hongo a una concentración de 3.2 mg/ml (Huali *et al.*, 2019); además de inhibir el crecimiento de los hongos, el ácido salicílico genera daños en la estructura de la pared del micelio, alteraciones en las mitocondrias y acumulación de especies reactivas de oxígeno pudiendo causar la muerte de la célula (Dieryckx *et al.*, 2015).

REFERENCIAS

- ACHIMÓN, F., et al. Chemical composition and antifungal properties of commercial essential oils against the maize phytopathogenic fungus *Fusarium verticillioides*. *Revista Argentina de Microbiología* [online]. 2021, vol. 53(4), 292-303 [Viewed 10 March 2022]. Available from: doi:10.1016/j.ram.2020.12.001
- AGUIRRE, V., DELGADO, V., ANRANGO, M., and DÍAZ, N. (2012). Obtención y evaluación in vitro de la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto (*eucalyptus globulus*), ajo (*allium sativum*) y crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) como fungicidas naturales para el control de *Botrytis cinerea*, phra. *Centro de Investigaciones Científicas (ESPE)* 2012,1(3), 1-17.
- ARANGO, W. M., J. M. A. RUÍZ. and C. A. P. JARAMILLO. Fungicidal activity of *Eucalyptus tereticornis* essential oil on the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Revista Cubana de Farmacia* 2011, 45(2), 264-274.
- ASHIQ, S., et al. In vitro activity of isothiocyanates against *Fusarium graminearum*. *Plant Pathology* [online]. 2022, vol. 71(3). 594-601 [viewed 23 January 2022]. Available from: <https://doi.org/10.1111/ppa.13505>
- ASTORGA-QUIRÓS, K., C. ZÚÑIGA-VEGA and W. RIVERA-MÉNDEZ. Aislamiento e identificación de patógenos de la estirpe silvestre del ajo (*Allium sativum* L.). *Tecnología en Marcha* 2014, 27(1). 77-84.
- CASTAÑEDA-ANTONIO, D., RIVERA-TAPIA, A., CHOY-FLORES, E., MUNGUÍA-PÉREZ, R., PORTILLO-REYES, R., & MUÑOZ, J. (2018). Actividad antimicrobiana del aceite de naranja residual. *Cuadernos de Investigación UNED* 2018, 10(2), 469-474.
- CAUSAPÉ, M. D. C. F. Aspectos culinarios y farmacéuticos del ajo. *Botanica Complutensis* [online]. 2012, vol. 36, 131. [viewed 23 March 2022]. Available from: http://dx.doi.org/10.5209/rev_BOCM.2012.v36.39451
- Cedeño, L., K. Quintero, Segovia, S. Pedro and C. Carrero. *Botrytis porri*, causante de pudrición en el cuello del ajo en Mérida, Venezuela. *Interciencia* 2003, 28(5), 273-275.
- Cerna-Chávez, E., et al. Evaluación in vitro de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia fungorum* [online]. 2019, vol. 49. [viewed 25 January 2022]. Available from: <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1245>
- Cuéllar, L., A. Sehtman, L. Donatti and M. Allevato. Ácido salicílico. *Acta Terapéutica Dermatológica* 2008, 31, 108-112.
- DAR, A. A., et al. Overview of purple blotch disease and understanding its management through chemical, biological and genetic approaches [online]. *Journal of*

- Integrative Agriculture. 2020, vol 19(12), 3013-3024 [Viewed 14 January 2022]. Available from: 10.1016/s2095-3119(20)63285-3
- DELGADO-ORTIZ, J. C., et al. Patogenicidad de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición basal del ajo en el centro norte de México [online]. Revista argentina de microbiología. 2016, vol. 48(3) 222-228. [Viewed 07 January 2022]. Available from: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2016.04.003>
- DIERYCKX C., et al. Beyond plant defense: insights on the potential of salicylic and methylsalicylic acid to contain growth of the phytopathogen *Botrytis cinerea*. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2015, vol. 6, 859. [viewed 09 April 2022]. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00859>
- DUGAN, F. M., et al. First report of *Fusarium proliferatum* causing rot of garlic bulbs in North America. *Plant Pathology* [online]. 2003, vol. 52(3), 426-426. [Viewed 10 January 2022]. Available from: 10.1046/j.1365-3059.2003.00852.x
- EL-SABER BATIHA, G., et al. Chemical Constituents and Pharmacological Activities of Garlic (*Allium sativum* L.): A Review. *Nutrients* [online]. 2020, vol. 12, 872. [viewed 09 April 2022]. <https://doi.org/10.3390/nu12030872>
- ETOH, T., H. WATANABE AND S. IWAI. RAPD variation of garlic clones in the center of origin and the western-most area of distribution. *Mem Fac Agric* 2001, 37:21-27
- FAO (2022). FAOSTAT. Consulta 16 de abril del 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D., et al. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. *International Microbiology* [online]. 2008, vol.11(1). 1 [viewed 23 March 2022]. Available from: doi: 10.2436/20.1501.01.38
- FRITSCH, R.M. and N. FRIESEN. Evolution, Domestication and Taxonomy. In: *Allium Crop Science: Recent Advances*, CABI Publishing, Wallingford. 2002, 5-30.
- FUENTES, Y. M. O., et al. The first report of *Fusarium proliferatum* causing garlic bulb rots in Mexico. *African Journal of Agricultural Research* [online]. 2013, vol. 8(6), 570-573. [Viewed 07 January 2022]. Available from: <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1726>
- GÁLVEZ, L., et al. Incidence and Etiology of Postharvest Fungal Diseases Associated with Bulb Rot in Garlic (*Allium sativum*) in Spain. *Foods* [online]. 2021, 10(5), 1063. [viewed 18 February 2022]. Available from: Doi:<https://doi.org/10.3390/foods10051063>
- GÁLVEZ-PATÓN, L., J. GIL-SERNA, D. BANGO and D. PALMERO. La podredumbre del ajo causada por *Fusarium proliferatum*. *Horticultura revista de frutas hortalizas flores y plantas ornamentales* 2011, 297, 48-51.

- GAN, H., et al. Soil ecological responses to pest management in golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 2017, vol. 246, 66-77. [Viewed 12 March 2022]. Available from: doi:10.1016/j.agee.2017.05.014
- GUÉDEZ, C., L. CAÑIZALEZ, L. AVENDAÑO, J. SCORZA, C. CASTILLO, R. OLIVAR and L. SÁNCHEZ. Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 2014, 34, 81-85.
- GUÉDEZ, C., L. CAÑIZALEZ., L. AVENDAÑO., J. SCORZA., C. CASTILLO., R. OLIVAR and L. SÁNCHEZ. Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 2014, 34(2), 81-85.
- Gwinn, K. D. Bioactive natural products in plant disease control. *Studies in natural products chemistry* [online]. 2018, vol. 56, 229-246. [viewed 23 March 2022]. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00007-8>
- HERNÁNDEZ-ANGUIANO, A. M., G. JUÁREZ LÓPEZ, L. FUCIKOVSKY-ZAK, E. ZAVALETA-MEJÍA AND V. A. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ. Impacto del almacenamiento en la brotación de bulbos de ajo y especies patogénicas de *Penicillium* y *Erwinia* asociadas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2006, 29(4), 283-290.
- HIRATA, S., et al. Characteristics of chemical components in genetic resources of garlic *Allium sativum* collected from all over the world. *Genetic Resources and Crop Evolution* [online]. 2015, vol. 63(1). 35-45 [viewed 18 March 2022]. Available from: doi:10.1007/s10722-015-0233-7
- HORÁKOVÁ, M. K., et al. (2021). *Fusarium proliferatum* causing dry rot of stored garlic in Slovakia. *Journal of Plant Pathology* [online]. 2021, vol. 103(3). 997-1002. [Viewed 22 January 2022]. Available from: 10.1007/s42161-021-00883-5
- HUALI, X, et al. Acetylsalicylic acid treatment reduce *Fusarium* rot development and neosolaniol accumulation in muskmelon fruit. *Food Chemistry* [online]. 2019, vol. 289 278-284 [viewed 09 April 2022]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.122>
- JIMÉNEZ, M. A., D. ULACIO, W. PERDOMO AND E. BRICEÑO. Micobiota y nematodos asociados con la rizósfera y raíz en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.). *Bioagro* 2009, 21(3), 209-216.
- KOTTEARACHCHI, N. S., et al. Anti-fungal activity of essential oils of Ceylon Eucalyptus species for the control of *Fusarium solani* and *Sclerotium rolfsii*. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection* [online]. 2012, vol 45(17). 2026-2035. [Viewed 10 March 2022]. Available from: doi:10.1080/03235408.2012.720469

- LAUZARDO, A. N. H., S. B. BAÑOS and M. G. V. DEL VALLE. Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2007, 30(2), 119-123.
- MA, L. J., et al. *Fusarium Pathogenomics* [online]. *Annual Review of Microbiology*. 2013 67(1), 399-416 [Viewed 10 January 2022]. Available from: 10.1146/annurev-micro-092412-155650
- MAGIE, R. O. Tolerance of *Fusarium oxysporum* f.sp.*gladioli* to benzimidazole fungicides. *Acta Horticulturae* [online]. 1975, vol. (47), 107-112. [Viewed 10 March 2022]. Available from: doi:10.17660/actahortic.1975.47.16
- MARI, M., et al. Antifungal vapour-phase activity of allyl-isothiocyanate against *Penicillium expansum* on pears. *Plant pathology* [online]. 2002, vol. 51(2). 231-236. [viewed 23 January 2022]. Available from: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00667.x>
- MEJÍA-GARIBAY, B., A. LÓPEZ-MALO, J. A. GUERRERO-BELTRÁN. Mostaza: características químicas, botánicas y sus aplicaciones en el área de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 2011, 5(1) 32-40.
- MIRANDA-RAMÍREZ, J. M., C. PERALES-SEGOVIA, M. A. MIRANDA-SALCEDO and D. MIRANDA-MEDINA. Insecticidas de bajo impacto ambiental para el control de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) en limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle). *Revista Chilena De Entomología* 2021, 47(4).
- MISHRA, R. K., et al. (2014). Management of major diseases and insect pests of onion and garlic: A comprehensive review. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* [online], 6(11), 160-170. [viewed 24 March 2022]. Available from: <https://doi.org/10.5897/JPBCS2014.0467>
- MOHARAM, M. H., et al. Pathogenic fungi in garlic seed cloves and first report of *Fusarium proliferatum* causing cloves rot of stored bulbs in upper Egypt. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection* [online]. 2013, vol. 46(17). 2096-2103. [Viewed 19 January 2022]. Available from:10.1080/03235408.2013.785122
- MOLINA-VARGAS, L. F. AND S. E. MELO-MARTÍNEZ. Importancia del método estadístico para el cálculo de la CE50 y CE95 de algunos isotiocianatos evaluados contra *Rhizoctonia solani* Kühn. *Agronomía Colombiana*. 2010, 28(2), 235-244.
- MONDANI, L. et al. Efficacy of chemical and biological spray seed treatments in preventing garlic dry rot. *Phytopathologia Mediterranea* [online]. 2022, vol. 61(1): 27-37 [Viewed 10 January 2022]. Available from: doi: 10.36253/phyto-13103
- MONDANI, L., G. CHIUSA and P. BATTILANI. Chemical and biological control of *Fusarium* species involved in garlic dry rot at early crop stages. *European Journal of Plant Pathology* 2021, 160(3), 575-587.

- MONTEON-OJEDA, A., et al. Efficacy of botanical and biorational insecticides for thrips control (Thysanoptera: Thripidae) in mango trees in Veracruz, Mexico. *Revista Bio Ciencias* [online]. 2020, vol. 7, 1031. [viewed 24 March 2022]. Available from: doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e1031>
- MORCIA, C., et al. In vitro antifungal activity of terpinen-4-ol, eugenol, carvone, 1,8-cineole (eucalyptol) and thymol against mycotoxigenic plant pathogens. *Food Additives & Contaminants: Part A* [online]. 2011, vol. 1-8. [Viewed 10 March 2022]. Available from: doi:10.1080/19440049.2011.643458
- NISCHWITZ, C., C. DHIMAN, D. DROST, and C. WILLE. "Podredumbre del cuello de la cebolla por Botrytis". Utah State University Extension, 2021.
- OCHOA-FUENTES, Y. M., E. CERNA-CHÁVEZ, G. GALLEGOS-MORALES, J. LANDEROS-FLORES, J. C. DELGADO-ORTIZ, S. HERNÁNDEZ-CAMACHO, R. RODRÍGUEZ-GUERRA and V. OLALDE-PORTUGAL. Identificación de especies de *Fusarium* en semilla de ajo en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de micología* 2012, 36, 27-32.
- Okungbowa, F. I. and H. O. Shittu. *Fusarium* wilts: An overview. *Environ. Res. Jurnal.* 2012, 6(2), 83-102.
- OLIVEIRA, E. S. et al. Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. *Summa Phytopathologica* [online]. 2016, vol. 42(4). 340-350. [viewed 09 April 2022]. Available from: doi:10.1590/0100-5405/2000
- ÖZER, Nuray., et al. Seed-borne Fungal Diseases of Onion, and their control. In: Mukerji, K.G. (eds) *Fruit and Vegetable Diseases. Disease Management of Fruits and Vegetables*. Springer [online]. 2004, Vol 1. [Viewed 14 January 2022]. Available from: Doi: https://doi.org/10.1007/0-306-48575-3_8.
- PATÓN, L. G., et al. (2016). In vitro and field efficacy of three fungicides against *Fusarium* bulb rot of garlic. *European Journal of Plant Pathology* [online]. 2016, vol. 148(2), 321-328. [Viewed 10 March 2022]. Available from: doi:10.1007/s10658-016-1091-7
- PATÓN, L.G., et al. Eficacia in vitro y de campo de tres fungicidas contra la pudrición del bulbo de *Fusarium* del ajo [online]. *European Journal Plant Pathology*. 2017, vol. 148, 321-328 [Viewed 10 January 2022]. Available from: doi:10.1094/PDIS-04-18-0710-PDN.<https://doi.org/10.1007/s10658-016-1091-7>
- PETERS, R. D., et al. First Report of Fludioxonil-Resistant Isolates of *Fusarium* spp. Causing Potato Seed-Piece Decay. *Plant Disease* [online]. January 2008, vol. 92 (1). 172 [Viewed 10 March 2022]. Available from: Doi: 10.1094 / PDIS-92-1-0172A.

- PRAJAPATI, M. K., S. SIMON, and K. Z. KHAN. Efficacy of organic amendments against the purple blotch of garlic caused by *Alternaria porri* (Ellis) Cif. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2019, 8(1), 08-10.
- QUINTANA-OBREGÓN, E. A., R. I. SÁNCHEZ-MARIÑEZ., M. O. CORTEZ-ROCHA and G. A. GONZÁLEZ-AGUILAR. Actividad antifúngica in vitro de mezcla de terpenos de naranja contra *Alternaria tenuissima*. *Revista mexicana de micología* 2017, 45, 7-12.
- RAMPERSAD, S. N. Pathogenomics and management of *Fusarium* diseases in plants. *Pathogens* [online]. 2020, vol. 9(5), 340. [viewed 23 March 2022]. Available from: <https://doi.org/10.3390/pathogens9050340>
- REVELES-HERNÁNDEZ, M., R. VELÁSQUEZ-VALLE and A. BRAVO-LOZANO. *Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas* 2009, 11.
- REVELES-HERNÁNDEZ, M., R. VELÁSQUEZ-VALLE y A. G. BRAVO-LOZANO. (2009). *Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro técnico* 2009
- ROMERO, A. L., R. R. DE OLIVEIRA., R. B. ROMERO., A. L. DE ALMEIDA and S. P. DE SOUZA DINIZ. Efeito de monoterpenos naturais no crescimento micelial e germinação de conídios de *Corynespora cassiicola*. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana* 2013, 18(1), 3-7.
- RONGAI, D., et al. Antifungal activity of some botanical extracts on *Fusarium oxysporum*. *Open Life Sciences* [online]. 2015, vol. 10(1). [viewed 23 March 2022]. Available from: [doi:https://doi.org/10.1515/biol-2015-0040](https://doi.org/10.1515/biol-2015-0040)
- SÁNCHEZ, G. R., E. C. MERCADO, E. B. PEÑA, H. R. DE LA CRUZ and E. G. PINEDA. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas* 2010, 12(2), 90-95.
- SCHWARTZ, H. F., et al. *Compendium of Onion and Garlic Diseases and Pests. Second Edition* [online]. 2018, vol. 1-7. [viewed 24 March 2022]. Available from: [doi:https://doi.org/10.1094/9780890545003.fm](https://doi.org/10.1094/9780890545003.fm)
- SCHWARTZ, H. F., et al. PART I: Infectious/Biotic Diseases. *Compendium of Onion and Garlic Diseases and Pests* [online]. 2016, 2 8-86. [Viewed 10 January 2022]. Available from: [10.1094/9780890545003.002](https://doi.org/10.1094/9780890545003.002)
- SHAHID, M., et al. Recent Advances in Management Strategies of Vegetable Diseases. *Microbial Strategies for Vegetable Production* [online]., 197-226. [Viewed 12 March 2022]. Available from: [doi:10.1007/978-3-319-54401-4_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_9)
- SHEWAKENA, Z., et al. Assessment on Incidence and Severity of White Rote Associated with Agronomic Practice and Environmental Factors at North Shewa, Central Highlands of Ethiopia. *Assessment* [online]. 2020, vol. 62. [viewed 04 February 2022]. Available from: [doi:10.7176/JAAS/62-02](https://doi.org/10.7176/JAAS/62-02)

- SIAP (2021) Panorama agroalimentario 2020. Consulta: 06 abril 2022. Disponible en: Panorama-Agroalimentario-2020 (pubhtml5.com)
- SIAP (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consulta 16 de abril del 2022. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- STANKOVIC, S., et al. Pathogenicity and mycotoxin production by *Fusarium proliferatum* isolated from onion and garlic in Serbia. *European Journal of Plant Pathology* [online]. 2007, vol. 118(2). 165-172. [Viewed 10 January 2022]. Available from: 10.1007/s10658-007-9126-8
- STANKOVIC, S., et al. Pathogenicity and mycotoxin production by *Fusarium proliferatum* isolated from onion and garlic in Serbia. *European Journal of Plant Pathology* [online]., 2007, vol. 118(2), 165-172. [Viewed 07 January 2022]. Available from:10.1007/s10658-007-9126-8
- SUHERI, H., et al. The Epidemiology of Purple Leaf Blotch on Leeks in Victoria, Australia [online]. *European Journal of Plant Pathology*. 2001, vol. 107(5). 503–510 [Viewed 14 January 2022]. Available from: 10.1023/a:1011244104920
- THANGAVEL, S., et al. White rot (*Sclerotium cepivorum* Berk) an aggressive pest of onion and garlic in Ethiopia: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* [online]. Vol. 6(1). 6-15. [viewed 24 March 2022]. Available from: doi:10.5897/jabsd2013.0210
- TIAN, Y., et al. Phytochemistry and biological activity of mustard (*Brassica juncea*): a review. *CyTA - Journal of Food* [online]. 2020, vol.18(1), 704–718. [viewed 23 January 2022]. Available from: doi:10.1080/19476337.2020.1833988
- TIRADO-RAMÍREZ, M. A., et al. First report of basal rot of onion caused by *Fusarium brachygibbosum* in Sinaloa, Mexico [online]. *Plant Disease*. 2019, vol 103(3) 582 [Viewed 10 January 2022]. Available from: doi:10.1094/PDIS-04-18-0710-PDN.
- TIRADO-RAMÍREZ, M. A., et al. First report of onion basal rot caused by *Fusarium falciforme* in Mexico [online]. *Plant Disease*. 2018, [Viewed 10 January 2022]. Available from: 10.1094/pdis-05-18-0757-pdn
- TIRADO-RAMIREZ, M. A., et al. Identification and virulence of *Fusarium falciforme* and *Fusarium brachygibbosum* as causal agents of basal rot on onion in Mexico [online]. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021, 1-12. [Viewed 10 January 2022]. Available from: 10.1080/07060661.2021.1894241
- TONTI, S., et al. First Report of *Fusarium proliferatum* Causing Rot of Stored Garlic Bulbs (*Allium sativum*L.) in Italy. *Journal of Phytopathology* [online]. 2012, vol. 160(11-12), 761-763. [Viewed 15 January 2022]. Available from: 10.1111/jph.12018

- TORIJA, M. E., M. C. MATAALLANA and N. CHALUP. El ajo y la cebolla: de las medicinas antiguas al interés actual. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biología* 2013, 107, 29-37.
- TSAO, R., et al. Antifungal Activity of Monoterpenoids against Postharvest Pathogens *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructicola*. *Journal of Essential Oil Research* [online]., 2000, vol. 12(1). 113-121 [viewed 23 January 2022]. Available from: doi:10.1080/10412905.2000.9712057
- VAILLANT F, D., et al., Efecto antifúngico de cuatro mezclas de monoterpenos como alternativa para el control de *Rhizoctonia solani* Kün. *Boletín Micológico* [online]. 2015, vol. 30(1). [Viewed 10 March 2022]. Available from: <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2015.30.1.861>
- VAILLANT, F. D., C. C. ROMEU, R. E. RAMOS, M. G. GONZÁLEZ, R. O. RAMÍREZ AND J. P. GONZÁLEZ. Efecto inhibitorio in vitro de cinco monoterpenos de aceites esenciales sobre un aislado de *Rhizoctonia solani* en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Fitosanidad* 2009, 13-3, 197-200.
- Valadez López, A. *Producción de hortalizas*. Editorial LIMUSA, México. DF, 1996.
- VALDEZ, Jorge G., et al. First report of *Penicillium allii* as a field pathogen of garlic (*Allium sativum*); Wiley Blackwell Publishing, Inc. *Plant Pathology* [online]. 2006, vol. 55 (4), 583-583. [viewed 18 February 2022]. Available from: 10.1111/j.1365-3059.2006.01411.
- VELARDE-MENDÍVIL, A. T., D. M. CAMARENA-GÓMEZ and L. SALGADO-BELTRÁN. Preferencias hacia la marca y origen del ajo (*Allium sativum* L.). *Rev La. Fac. Agron* 2021, 38, 732-749.
- VELÁSQUEZ, R. and M. M. MEDINA. (2004). Características Vegetativas y Susceptibilidad de Variedades de Ajo (*Allium sativum* L.) Infectadas por *Fusarium* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología* 2004, 22(3), 435-438.
- VELÁSQUEZ-VALLE, R., et al. Patógenos comunes de semilla de ajo en Aguascalientes y Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* [online]. 2017, vol. 8(8), 1881-1885. [Viewed 22 January 2022]. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.710>
- WANY, A., et al. (2013). Extraction and characterization of essential oil components based on geraniol and citronellol from Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). *Plant Growth Regulation* [online]. 2013, vol. 73(2). 133-145. [viewed 23 January 2022]. Available from: doi:10.1007/s10725-013-9875-7
- Yengle, M., R. Palhua., P. Lescano., E. Villanueva., E. Chachi., E. Yana., R. Zaravia., J. Ambrosio., J. Clemente., J. Cornejo and C. Gutiérrez *Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores en el distrito de Huaral - Perú*, *Revista Peruana de Epidemiología* 2008,12:1, 1-6.

- YUE-YUE, S., et al. [Research progress on protective effects and mechanisms of garlic organosulfur compounds on respiratory diseases]. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi* [online]. 2020, vol. 45(18):4324-4331. [viewed 24 March 2022]. Available from: doi: 10.19540/j.cnki.cjcmm.20200622.601.
- ZHANG, J., et al. First Report of Garlic Leaf Blight Caused by *Botrytis porri* in China [online]. *Plant Disease*. 2009, vol 93(11). 1216-1216. [Viewed 14 January 2022]. Available from: <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-11-1216B>
- ZHANG, Z., et al. Antifungal activity of monoterpenes against *Botryosphaeria dothidea*. *Natural Product Communications* [online]. 2018, vol. 13(12), [viewed 23 January 2022]. Available from: doi:1934578X1801301234.

ARTÍCULOS

Page 1 of 5

1 de 5

Rocío de Jesús Díaz Aguilar
Plant disease

1 **First report of *Clonostachys rosea* causing root rot on garlic in Mexico.**

2 Rocío de Jesús Díaz Aguilar¹, Ernesto Cerna Chávez², Juan Carlos Delgado-Ortiz³,
3 Jazmín Janeth Velázquez Guerrero⁴, Alberto Roque Enriquez¹, Yisa María Ochoa
4 Fuentes^{2*}.

5 ¹PHD student. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de
6 Parasitología Agrícola (Agricultural Parasitology Division) CP 25315, Buenavista,
7 Saltillo, Coahuila, Mexico.

8 ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología
9 Agrícola (Agricultural Parasitology Division), CP 25315, Buenavista, Saltillo,
10 Coahuila, Mexico.

11 ³CONACYT-UAAAN Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento
12 de Parasitología Agrícola (Agricultural Parasitology Division), CP 25315,
13 Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

14 ⁴CULTA S.A. de C.V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez No. 1700, Col. Altavista, CP.
15 89880, CD. Mante, Tamaulipas, Mexico.

16 Corresponding author: Yisa María Ochoa Fuentes yisa8@yahoo.com

17 Key words: *Clonostachys rosea*, garlic, rot

18

19 Garlic (*Allium sativum*) is an important crop worldwide and it is widely grown and
20 used in different industries to manufacture food, pharmaceutical, and insecticidal
21 products. (Shang *et al.*, 2019, Velsankar *et al.*, 2020). According to what was
22 reported by SIAP in 2020, more than 87 ha of the crop were lost in Mexico due to

2 de 5

Rocío de Jesús Díaz Aguilar
Plant disease

23 various problems, including the diseases that attack this crop such as basal rot, white
24 rot and root rot, among others. During the 2019 fall/winter season, garlic plants of
25 Perla and Piedra Blanca cultivars were collected from Aguascalientes and
26 Zacatecas states in San Antonio Tepezala, Rincon de Romos, and Calera
27 municipalities. The commercial fields encompassed 10 ha with 20% disease
28 incidence and 35% severity, approximately. The sampling focused on diseased
29 plants with symptoms of root rot, foliar wilt, stunting, and small bulbs. The roots of
30 25 plants were cleaned, and portions of the diseased tissue were cut and disinfected
31 in sodium hypochlorite at 1% for three minutes. They were rinsed twice with sterile
32 water and dried with paper towels. The plant tissue was plated onto potato dextrose
33 agar (PDA) and incubated at 25°C in the dark for 72 hours. Pure cultures were
34 obtained after observing mycelial growth using monospore culture. We obtained 16
35 isolates including three identified as *Fusarium oxysporum*, one as *Fusarium solani*
36 and another 12 as *Clonostachys rosea*. The latter isolates were white at the
37 beginning before turning yellow.

38 The mycelia had a felt-like cotton texture. The conidia formed verticillate and
39 penicillate conidiophores. The primary conidia were abundant, hyaline, smooth, and
40 sub-globous. They were 5.1-7.7 X 8.3-8.9 µm (n=50) long and 2.0-2.9 X 3.2-3.5 µm
41 wide (n=50). The conidiophore stipe length ranged from 70 to 180 µm, and the base
42 width was 3.3-5.4 µm. Secondary conidiophores were penicillate and stiped with a
43 length of 58 to 106 µm; the base measured 3.3-6.1µm. The secondary conidia
44 measured 4.1-5 X 5.3-5.6 µm long and 2-2.3 X 2.6-2.9 µm wide (n=50) (Sun *et al.*,
45 2020). The identity of six isolates was molecularly confirmed by DNA extraction and

46 PCR reactions using ITS1/ITS4 primers and gene TEF 1 α EF1-728F/TEF 1 α EF1-
47 986R. The resulting products were sequenced and compared with the National
48 Center for Biotechnology Information (NCBI) database using BLAST. The results
49 showed *Clonostachys rosea* at 99.56 and 100% with access numbers MN548399
50 and KX185000. The sequences were deposited at Genbank database under access
51 number OK263088 and OL700031.

52 Pathogenicity tests were carried out with the following procedure. A conidial
53 suspension of five isolates (5×10^5 conidia/ml) in sterilized water was prepared from
54 1-week-old colonies. The garlic cloves were planted after being disinfected with
55 sodium hypochlorite at 1% in sterilized soil. When the healthy garlic plants were 30
56 days old, we inoculated a spore suspension in soil through irrigation, to 10 plants.
57 Likewise, 10 control plants were inoculated with sterile distilled water. After 25 days,
58 the plants were wilted and had dry leaves; their root system showed light-brown
59 lesions and rot. These plants were stunted versus the control healthy plants. The
60 inoculated strain was recovered and was morphologically and molecularly identified
61 as *C. rosea*, thus confirming its pathogenicity towards garlic. There are reports of *C.*
62 *rosea* causing root rot to Fabaceae crops such as *Glycine max* L. and *Vicia faba* L.,
63 (Bienapfl *et al.*, 2012; Afshari and Hemmati, 2017) in addition to affecting orchid
64 crops (*Gastrodia elata*) in Korea (Lee *et al.*, 2020). This is the first report of *C. rosea*
65 causing root rot on garlic (*Allium Sativum*) in Mexico, thus presenting a potential risk
66 to this crop.

67

68 **References**

- 69 Afshari, N. y Hemmati, R. 2017. First report of the occurrence and pathogenicity of
70 *Clonostachys rosea* on faba bean. **Australasian Plant Pathology**. 46(3):231-234.
71 <http://dx.doi.org/10.1007/s13313-017-0482-3>
- 72 Bienapfl, J. C., Floyd, C. M., Percich, J. A. y Malvick, D. K. 2012. First Report of
73 *Clonostachys rosea* Causing Root Rot of Soybean in the United States. **Plant**
74 **Disease**. 96(11):1588-1707. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-12-0550-PDN>
- 75 Lee, S. A., Kang, M. J., Kim, T. D. Y Park, E. J. 2020. First Report of *Clonostachys*
76 *rosea* Causing Root Rot of *Gastrodia elata* in Korea. **Plant Disease**. 104(11):3069.
77 <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-20-0148-PDN>
- 78 Shang, A., Shi-yu, C., Xiao-Yu, X., Ren-You, G., Guo-yi, T., Harold, C., Vuyo, M. y
79 Hua-Bin, L. 2019. Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium*
80 *sativum* L.) **Foods**. 8:7-246. <https://doi.org/10.3390/foods8070246>
- 81 SIAP. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
82 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- 83 Sun, Z. -B., Li, S. -D., Ren, Q., Xu, J. -L., Lu, X. y Sun, M. -H. 2020. Biology and
84 applications of *Clonostachys rosea*. **Journal of Applied Microbiology**. 129:486-
85 495. <https://doi.org/10.1111/jam.14625>
- 86 Velsankar, K., Aswin kumar, R. M., Preethi, R., Muthulakshmi, V. y Sudhahar, S.
87 2020. Green synthesis of CuO nanoparticles via *Allium sativum* extract and its
88 characterizations on antimicrobial, antioxidant, antilarvicidal activities. **Journal of**

89 **Environmental Chemical Engineering.** 8(5):104123.

90 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104123>

91

92

First report of *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex causing garlic bulb rot in Mexico

Rocío de Jesús Díaz Aguilar^{1*}, Ernesto Cerna Chávez², Juan Carlos Delgado Ortiz³, Jazmín Janeth Velázquez Guerrero⁴, Alberto Roque Enriquez¹, Yolanda Rodríguez Pagaza², Yisa María Ochoa Fuentes².

¹PhD student at Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola (Agricultural Parasitology Division), CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola (Agricultural Parasitology Division), CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

³CONACYT-UAAAN Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola (Agricultural Parasitology Division), CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

⁴CULTA S.A. de C.V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez No. 1700, Col. Altavista, CP. 89880, CD. Mante, Tamaulipas, Mexico.

Corresponding author: Yisa María Ochoa Fuentes yisa8@yahoo.com

Key words: *Fusarium incarnatum-equiseti*, Garlic Basal Rot.

In Mexico, the main states for garlic (*Allium sativum* L.) production are Zacatecas, Guanajuato, and Puebla. In the 2020 crop season, garlic cultivation encompassed 6,794 ha yielding 85,505 tons (SIAP, 2021). Although this crop is widely affected by different pathogenic fungi, *Fusarium* spp. particularly decreases garlic quality

and yield (Velásquez-Valle *et al*, 2004). In February 2020, garlic plants showing basal rot symptoms were collected from the garlic-growing regions in the states of Zacatecas and Aguascalientes in the municipalities of San Antonio Tepezala 22°13'13.5"N 102°15'55.3"W, Rincón de Romos 22°17'44.9"N 102°13'06.8"W and Calera 22°58'39.4"N 102°41'29.9W respectively. The infected plants were stunted, with reddish dying leaves. The stalks and bulbs were soft, and their root system was poorly developed. The diseased tissue were cut into 0.5 cm pieces and disinfected in sodium hypochlorite at 1% for 3 minutes. The samples were rinsed twice with sterile distilled water and dried in sterile paper towels. The tissues were plated in Potato Dextrose Agar (PDA) culture medium and incubated in the dark at 25°C. Pure cultures were obtained five days after isolation, we obtained 22 isolates including seven identified as *Fusarium oxysporum*, five as *Fusarium solani*, ten isolates were obtained that grew slowly showing a white coloration at first and then turning yellow with abundant aerial mycelia. Microscopic traits of 30 characterized spores included macro-conidia with five to seven thin, elongated septa. The septa had conically elongated apical cells, foot-shaped basal cells, and measuring 36.38–56.62 × 4.00–4.88 µm in size and abundant chlamydospores were produced intercalary, hyaline and measured 8.80-4.48 µm in diameter. The isolated morphological traits matched with the description of *Fusarium equiseti* (Leslie and Sumerell, 2006). To confirm the strain's identity, DNA extraction of six monoconidial cultures was performed before an amplified polymerase chain reaction analysis (PCR) using RNA polymerase largest subunit (RPB1), and RNA polymerase second largest subunit (RPB2), and translation elongation factor gene TEF 1 α Ef1 and Ef2 (O'Donnell *et al*, 2010).

The products were sequenced and compared against. The sequences of isolates was deposited in the GenBank with access numbers ON209360, OM640008 and OM640009. Koch postulates were prepared to confirm the strain's pathogenicity. Variegated garlic cloves were planted after being disinfected with sodium hypochlorite at 3% w/v in 2-kg pots under greenhouse conditions. When the garlic plants developed 4 or 5 true leaves, their basal stalks were inoculated with a spore suspension at 10^8 conidia/mL. Twenty-four (24) plants were inoculated with six isolates, and four (4) control plants were treated with sterile distilled water. The symptoms appeared 20 days post-inoculation. The leaves were reddish, and the stalks were soft. The leaves eventually developed foliar dieback disease symptoms. Isolations were made on the diseased plants and the inoculated pathogen was recovered and morphologically identified. There are reports in Mexico of basal rot caused by *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *F. acuminatum*, and *F. verticillioides* (Delgado-Ortiz *et al*, 2016). While *Fusarium* spp. is found worldwide and is known to affect garlic crops (Dugan *et al*, 2007), this is the first report of *F. incarnatum-equiseti* species complex causing basal rot in garlic crops in Mexico.

References

[Delgado-Ortiz, J. C., et al. 2016.](#) Revista Argentina de Microbiología. 48:22-28.

Dugan, F. M., et al. 2007. Revista Mexicana de fitopatología. 22:435-438

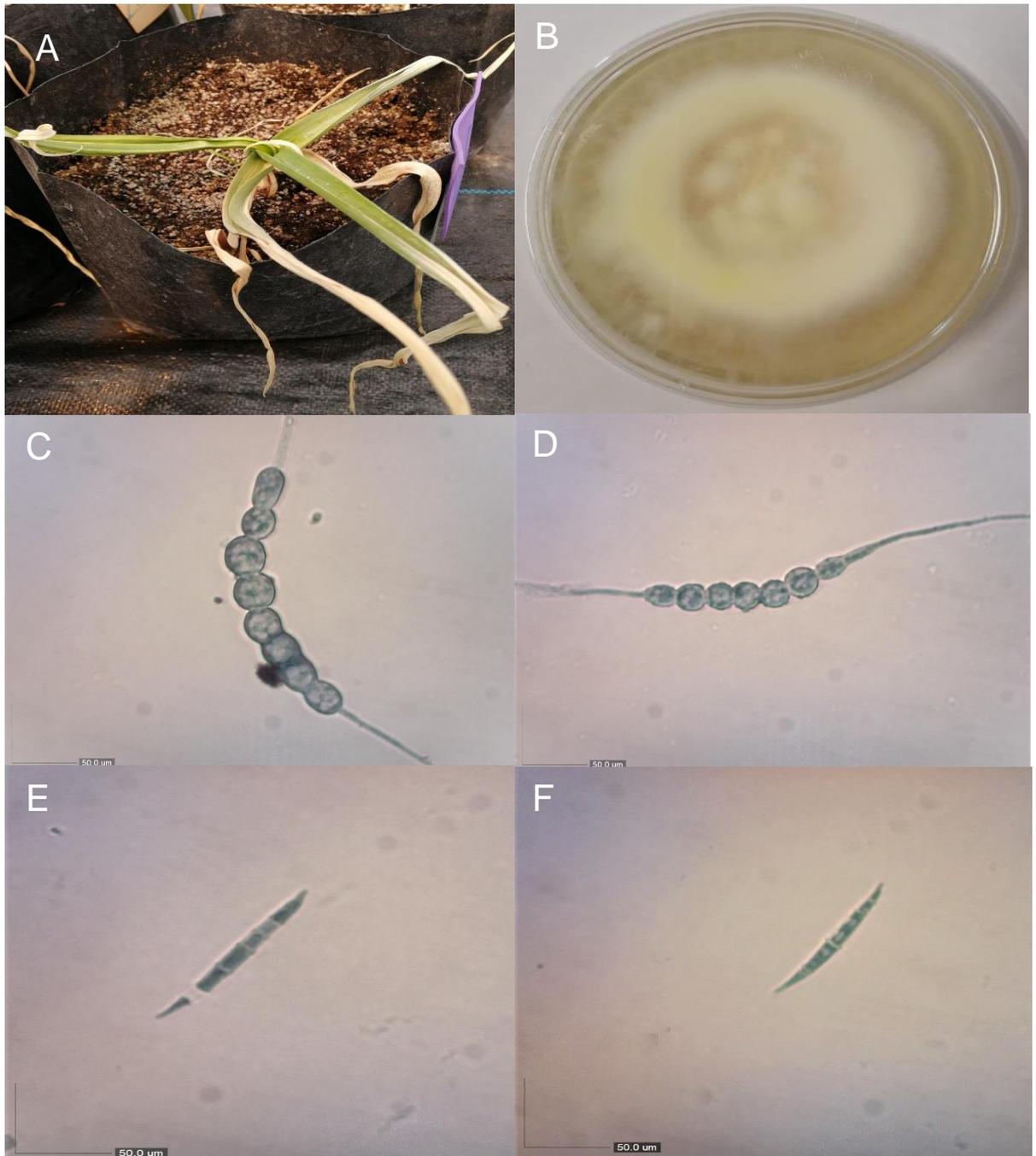
Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Iowa, USA.

O'Donnell, K., et al. 2010. J. Clin. Microbiol. 48:3708.

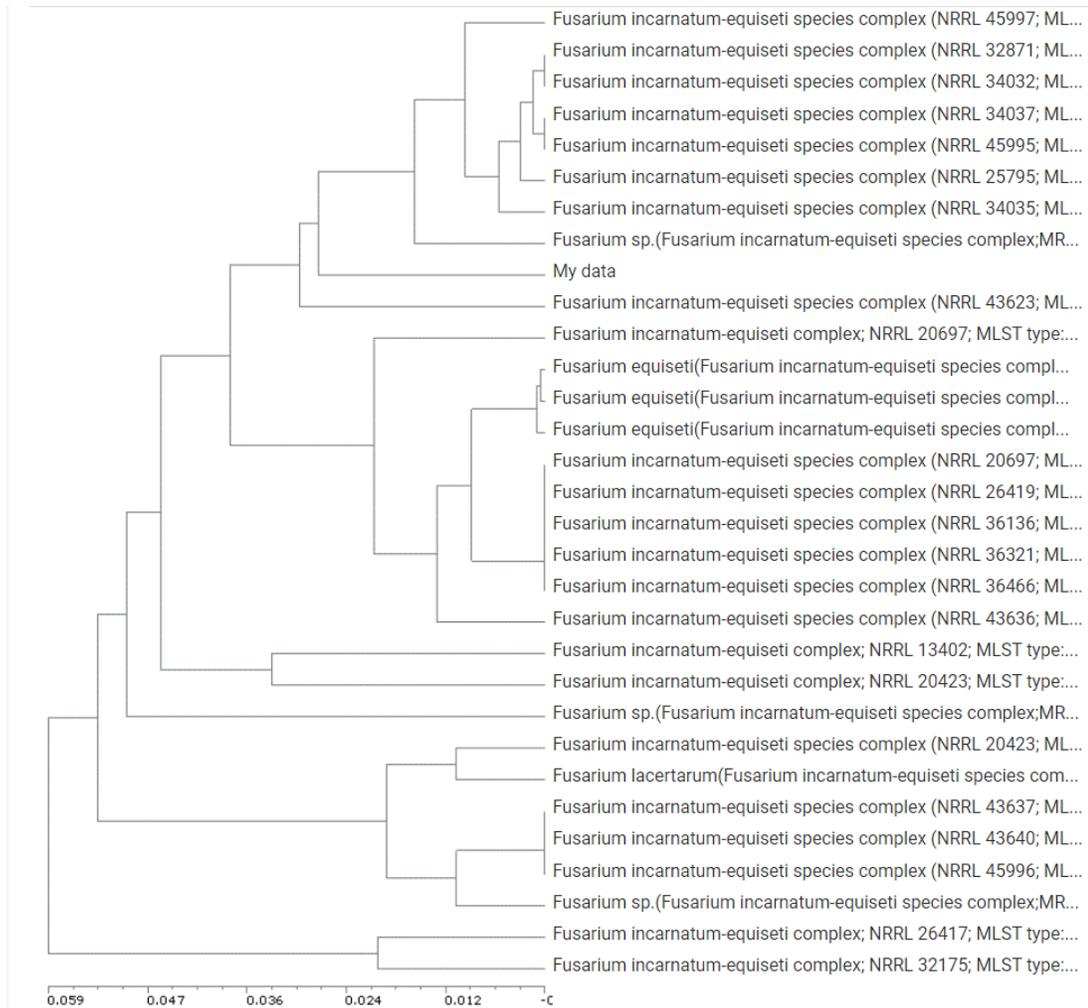
SIAP, 2020. Available at:

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. Accedido 18 marzo 2021. (Accessed: March 18, 2021)

Velásquez-Valle, R., et al. 2004. Revista Mexicana de Fitopatología. 22:435-43



Supplementary Figure S1. *Fusarium incarnatum-equiseti* Symptoms in garlic plants and morphological traits. (A) *F. incarnatum-equiseti*-inoculated plants; (B) PDA-plated colony; (C-D); Clamydospores; and (E-F) *F. incarnatum-equiseti* macronidia. Scale var:40x



Appendix 1. Multigenic tree in *Fusarium* MLST by using the sequence translation elongation factor (TEF 1 α Ef1 and Ef2), RNA polymerase (RPB1) and RNA polymerase II (RPB2).

Eficacia *in vitro* de principios activos de origen botánico y químico en el control de pudrición basal del ajo

Rocío de Jesús Díaz Aguilar^{1*}, Ernesto Cerna Chávez², Juan Carlos Delgado Ortiz³, Jerónimo Landeros Flores², Omega Hernández Bautista⁴, Víctor Olalde Portugal², Yisa María Ochoa Fuentes^{2*}.

¹Estudiante de Postgrado en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola, CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

³UAAAN-CONACYT Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola, CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

⁴Culta S.A. de C.V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez 1700, C.P. 89880 Col. Altavista, Cd Mante, Tamaulipas, México.

⁵Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Cinvestav, Unidad Irapuato, Libramiento Norte Carretera Irapuato-León km 9.6, CP. 36824. Irapuato Guanajuato, México

*Autor de correspondencia: yisa8a@yahoo.com

RESUMEN

Uno de los factores limitantes para la producción de ajo (*Allium sativum*) es la enfermedad conocida como pudrición basal, esta enfermedad tiene como agentes causales a diferentes especies del género *Fusarium*, el control de esta enfermedad se basa en el uso de diferentes productos químicos sintéticos, afectando así al medio ambiente, por lo cual se buscan alternativas amigables, como el uso de principios activos con actividad antifúngica; se identificaron tres especies de *Fusarium* que afectan al cultivo de ajo en los estados Aguascalientes y Zacatecas, posteriormente se realizaron evaluaciones *in vitro*, el principio activo

con mayor inhibición fue β -Citronelol ante la cepa de *F. oxysporum* con una CL_{50} de 435 ppm, sin embargo, el principio activo alil y ácido salicílico inhibieron la esporulación de todos los aislados evaluados, pudiendo considerarlos como agentes de control.

Palabras clave: *Fusarium* spp., *Allium sativum*, pudrición basal, principios activos.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de ajo (*Allium sativum*) es atacado por la enfermedad conocida como pudrición basal del ajo, teniendo como agente causal a *Fusarium acuminatum*, *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. verticilloides*, siendo esta enfermedad una limitante para la producción del cultivo (Delgado-Ortiz *et al.*, 2016), las plantas enfermas presentan enanismo, bulbos pequeños y coloraciones púrpuras o cafés en el follaje (Velásquez-Valle y Medina-Aguilar, 2004); además de afectar el cultivo en campo también se reportan pérdidas en postcosecha ocasionadas por *Fusarium proliferatum* (Gálvez-Patón *et al.*, 2011). Para el control de esta enfermedad en México se utilizan ingredientes químicos sintéticos como benomyl, tebuconazol o thiabendazol, entre otros (Reveles-Hernández *et al.*, 2009); el uso desmedido de estos productos genera problemas al medio ambiente, disminuyen la fauna benéfica, tienen alta persistencia en el ambiente y afectan gravemente la salud humana (Díaz y Betancourt, 2018); otra problemática a la que se enfrentan los agricultores es la resistencia de los hongos a los ingredientes activos, ya que se reduce la disponibilidad de ingredientes y con ello se dificulta el manejo de los patógenos (Carmona y Sautua, 2017). Una alternativa para el control de las enfermedades ocasionadas por hongos son los extractos o aceites esenciales de plantas (Castillo-Reyes *et al.*, 2018), estos poseen metabolitos secundarios (alcaloides, flavonoides, taninos, terpenoides, saponinas, entre otros) con propiedades antifúngicas (Ribera y Zúñiga, 2012), el principio activo 1-8 cineol además de poseer propiedades inhibitorias en el micelio, también disminuye la producción de conidias en diversos géneros de hongos (Achimón *et al.*, 2021); el monoterpeno D-Limoneno tiene propiedades antifúngicas pudiendo inhibir hasta

el 100% del crecimiento de los hongos, este compuesto está presente en cascarras de diversos cítricos (Castañeda-Antonio *et al.*, 2018); en estudios realizados en manejo de postcosecha de cebada se determinó que alil isotiocianato a 50 $\mu\text{L/L}$ disminuyó el crecimiento y la producción de micotoxinas del hongo *Penicillium verrucosum*, siendo alil una alternativa para el manejo de este cereal (De Melo *et al.*, 2019), para el caso de ácido salicílico además de inhibir el crecimiento y la germinación de esporas *in vitro* tiene potencial para reducir daños en frutos de mango inoculados con *Colletotrichum* sp. (Quiróz-López *et al.*, 2021); por ello el uso de extractos naturales son una opción para reducir el impacto que genera el uso de productos químicos (Gwinn, 2018). El objetivo del presente trabajo fue aislar e identificar las especies de *Fusarium* causantes de la pudrición basal del ajo, así como determinar *in vitro* el efecto antifúngico de los principios activos 1-8 cineol, D-limoneno, Alil isotiocianato, β -citronelol y ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de los hongos.

MATERIALES Y METODOS

Obtención del material vegetal

Se realizaron muestreos en los estados Aguascalientes y Zacatecas en los municipios San Antonio Tepezala, Rincón de Romos y Calera respectivamente; durante el ciclo otoño-invierno 2020, la colecta fue dirigida a plantas con síntomas de pudrición basal, las muestras fueron procesadas en el laboratorio de toxicología del departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Aislamiento e identificación taxonómica de *Fusarium* spp.

Se realizaron cortes en la raíz donde se observaron lesiones cafés o rojizas, las muestras se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 1% por un minuto, posteriormente se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril y se colocaron en toallas de papel para eliminar el exceso de humedad, a continuación, se sembraron en cajas Petri que contenían medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) y se incubaron a una temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas, una vez

aislados los hongos fitopatógenos se obtuvieron cultivos monoconidiales en medio de cultivo Spezieller Nährstoffmarmmer agar (SNA); la identificación a nivel especie se realizó utilizando el manual de laboratorio de Leslie y Summerell (2006).

Identificación molecular

La extracción de ADN de las cepas se realizó utilizando la metodología de Doyle y Doyle (1990) modificado, para las reacciones de PCR se utilizaron los iniciadores ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC), los productos amplificados se observaron a través de un gel de agarosa al 1% mediante electroforesis y posteriormente se mandaron secuenciar al Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), San Luis Potosí, México.

Bioensayos *in vitro*

Las pruebas de inhibición *in vitro* se realizaron utilizando los principios activos 1-8 cineol (2000-6000ppm), D-limoneno (2000-6000ppm), Alil isotiocianato (10-300 ppm), β -citronelol (1-20 ppm) y ácido salicílico (10-300 ppm); las concentraciones utilizadas fueron determinadas a través de ventanas biológicas, el bioensayo se realizó con la técnica de medio de cultivo envenenado (Ochoa-Fuentes *et al*, 2012) se utilizaron seis aislados de *Fusarium* previamente identificadas, colocando un explante de 0.5 cm en cada una de las cajas Petri, se utilizaron cultivos testigo que únicamente contenían PDA. Posteriormente las cajas fueron incubadas a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ en la obscuridad, se midió el crecimiento del micelio cada 24 horas con la ayuda de un vernier, una vez que las cajas testigo se cubrieron completamente se concluyó con la evaluación; se determinó el porcentaje de inhibición de crecimiento con la formula: % inhibición = [(crecimiento micelial del testigo – crecimiento del tratamiento) / crecimiento del testigo] x 100.

Inhibición de producción de esporas

Para el conteo de esporas se utilizó la metodología propuesta por González-Estrada *et al.*, (2020) con ligeras modificaciones, se colocaron 10 ml de agua destilada en tubos falcon, se esterilizaron y se agregaron cinco explantes de 0.5 cm tomados de las cajas con los tratamientos anteriormente mencionados, la suspensión de esporas se llevó al vortex y con la ayuda de una cámara de Neubauer se cuantificaron las esporas en un microscopio óptico.

Análisis de resultados

Los datos obtenidos del porcentaje de inhibición y conteo de esporas se analizaron mediante regresión Probit ($p \leq 0.05$), para determinar la CL_{50} y los límites fiduciales, mediante el programa R. versión 4.1.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento e identificación de *Fusarium* spp.

Se obtuvieron un total de 66 aislados para el estado de Aguascalientes y 41 para Zacatecas, todos con características del género *Fusarium*, para el presente trabajo se seleccionaron 6 cepas y se identificaron como C03, C08, C13 para Aguascalientes, para el estado de Zacatecas la clave otorgada fue C17, C23 y C28; los aislados de *F. oxysporum* (C03 y C17) presentaron abundantes macroconidias, ligeramente curvadas, con 3 a 4 septos, con células basales en forma de pie, microconidias abundantes, de forma elíptica, sin septos, clamidosporas solas y en racimos, con micelio algodonoso y blanco. Para el caso de *F. solani* (C08, C13 y C28) las macroconidias eran anchas, robustas, con ligera curvatura, células basales cilíndricas, con tres a cinco septos, microconidias ovales, regularmente sin septos y en ocasiones con un septo, abundantes clamidosporas, micelio algodonoso y blanco; en cuanto a *F. acuminatum* (C23) las macroconidias presentaron curvatura ligera, con células basales con forma de pie, células apicales estrechas y alargadas, con cuatro a cinco septos, microconidias escasas, sin septos, micelio blanco, algodonoso con pigmentación rojiza; las características macroscópicas y microscópicas de los

aislados previamente mencionados coincidieron con lo descrito por el manual de laboratorio de Leslie y Summerell (2006).

Identificación molecular

Se corroboró la identidad de las especies con productos amplificados que contenían más de 500 pb (Tabla1), los índices de similitud eran superiores al 98% al realizar la comparación con las secuencias registradas en el banco de genes del Nacional Center for Biotechnology Information (NCBI), estos resultados concuerdan con lo reportado por Delgado-Ortiz *et al.*, (2016) quienes reportan estas especies como agentes causales de la pudrición basal del ajo, en los estados de Aguascalientes y Zacatecas, México; estas especies se han reportado afectando al género *Allium* en diversos países como China, España, India, Serbia y Estados unidos (Le *et al.*, 2021).

Tabla 1. Identificación molecular de los aislados de *Fusarium* spp. con los iniciadores ITS1 e ITS4.

Aislado	Especie identificada	Nucleótidos	Número de acceso	Índice de similaridad
C03	<i>Fusarium oxysporum</i>	459	KF381081	100%
C08	<i>Fusarium solani</i>	567	MK990182	98.11%
C13	<i>Fusarium solani</i>	533	ON242173	99.81%
C17	<i>Fusarium oxysporum</i>	510	MF667966	100%
C23	<i>Fusarium acuminatum</i>	506	MT974004	100%
C28	<i>Fusarium solani</i>	533	MZ532589	99.62%

Bioensayos *in vitro*

Los datos de los bioensayos *in vitro* se muestran en la Tabla 2, el principio activo con mayor inhibición fue β -Citronelol ante la cepa de *F. oxysporum* con una CL₅₀ de 435.39 ppm, estos resultados concuerdan con Cerna-Chávez *et al.*, (2019), quienes reportan que β -Citronelol fue el mejor principio activo que inhibió el crecimiento de *F. oxysporum*, sin embargo obtuvieron una CL₅₀ más baja a una

concentración de 5.44 ppm; otra investigación para el control del crecimiento de *F. oxysporum* demostró que citronelol inhibió hasta el 100% del crecimiento del hongo a una concentración de 500 ppm (Praveen *et al.*, 2021); un trabajo realizado para el control de *Candida albicans* utilizando citronelol evidenció que este principio activo altera la composición de los ácidos grasos además de inhibir la formación y síntesis de fosfolípidos en las hifas del hongo, demostrando con ello su método de acción (Lim y Shin, 2009).

Para el caso de Limoneno en el control de *F. oxysporum* la CL₅₀ (16,756 ppm) fue alta para su uso; Du Plooy *et al.*, (2009) reportan que inhibieron el 50% del crecimiento de *Penicillium digitatum* utilizando una concentración de 3000 ppm de Limoneno; Dambolena *et al.*, (2008), reporta que al utilizar la concentración de 1000 ppm inhibieron el 100% del crecimiento de *F. verticillioides*; este monoterpeno tiene un efecto inhibitorio sobre la pectina metil esterasa y celulasa de los hongos, teniendo así potencial para su uso como fungicida (Marei *et al.*, 2012).

El principio activo Alil logró inhibir un 50% a las cepas C103, C08, C13 y C23, sin embargo, las dosis fueron altas 38711.85 ppm, 18577.23 ppm, 18577.23 ppm y 3168.325 ppm respectivamente, cabe mencionar que el aislado más susceptible fue C23 que corresponde a *F. acuminatum*; estos datos concuerdan con lo reportado por Ramos-García *et al.*, (2011) quienes encontraron que la efectividad de los isotiocianatos para inhibir a *F. oxysporum* dependía de la etapa de desarrollo del hongo, así como el origen del aislamiento ya que las cepas se aislaron de diferentes especies de plantas; los isotiocianatos son una alternativa para la protección de los cultivos por ello se evaluó su capacidad inhibitoria en *F. graminearum*, de acuerdo con los resultados se obtuvo un 100% del control del crecimiento del hongo con 1250 ppm y 5000 ppm (Ashiq *et al.*, 2022). El modo de acción de Alil isotiocianato esta reportado en algunas bacterias (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*), estas disminuyen su propiedad hidrofílica, presentan daños en la membrana citoplasmática, así como liberación intracelular de potasio (Borges *et al.*, 2014).

El ácido salicílico inhibió el crecimiento de *F. solani* con una CL₅₀ de 13959 ppm, siendo esta cepa la única susceptible a este producto, en los últimos años se ha utilizado el ácido salicílico como un inhibidor de hongos, Oliveira *et al.*, (2016) mencionan que al realizar ensayos *in vitro* para el control de *Colletotrichum musae*, se inhibió el 22% del crecimiento del hongo a 3000 ppm, estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio; Dieryckx *et al.*, (2015) evaluaron el crecimiento *in vitro* del hongo *Botrytis cinérea* a una concentración de 5 mM con una tasa de crecimiento de 23.4% a los seis días después del establecimiento del ensayo; Amborabé *et al.*, (2002) mencionan que el ácido salicílico además de reducir el crecimiento del hongo *Eutipa lata*, se observaron afectaciones en la estructura de las paredes del micelio, así como las mitocondrias, vacuolas y núcleo.

Tabla 2. Concentraciones inhibitorias (ppm) de los principios activos utilizados para la inhibición de *Fusarium* spp.

CEPA	P. A.	N	Df	Ppm					Ec. Predicción	P-valor
				CL ₅₀	LFI	LFS	CL05	CL ₉₅		
C17	β-Citronelol	100	24	435.49	170.36	2604.10	3.44	55050.41	Y=-2.065+0.783	7.189e-10
C17	D-Limoneno	100	29	16756.32	11278.67	37789.02	926.68	30298.7	Y= -5.526+1.308	3.366e-08
C03	Alil	100	23	38711.85	6279.96	15988.17	3.57	41918.6231	Y=-1.87+0.408	3.118e-08
C08	Alil	100	23	18577.23	3311.02	74742.33	1.97	17521.5809	Y=-1.767 +0.414	1.972e-07
C13	Alil	100	23	15237.67	2635.288	78988.16	1.527	15203.8509	Y=-1.72 +0.411	9.218e-07
C23	Alil	100	23	3168.325	1317.183	12830.31	3.177	31599.31	Y-1.92 +0.548	1.672e-15
C13	Ácido salicílico	100	24	13959.42	3583.096	17688.28	7.208	27035.295	Y=-2.074+0.5	4.733e-10

Inhibición en la producción de esporas

De acuerdo con los resultados de la tabla 3, únicamente dos principios activos inhibieron la esporulación de los hongos, para el caso de Alil la única cepa inhibida fue la C17 con una CL₅₀ de 544.69 ppm, según lo reportado por (Ashiq *et al.*, 2022) la esporulación de *F. graminearum* se redujo en un 100% utilizando

una concentración de 5000 ppm de Alil isotiocianato; en ensayos realizados *in vivo* la germinación de las esporas de *Penicillium expansum* fue determinada por la concentración de esporas utilizadas, ya que a mayor concentración de esporas menor fue la inhibición de estas (Mari *et al.*, 2002). Se estudiaron las respuestas transcripcionales del hongo *Alternaria brassicicola* ante el compuesto Alil, teniendo como resultado expresiones de bombas eflujo y genes expresados de protección celular contra daño oxidativo (Sellam *et al.*, 2007).

Tabla 3. Efecto de los principios activos en la inhibición de la esporulación de *Fusarium* spp.

CEPA	Principio activo	Df	Ppm				Ec. Predicción	P-valor	
			CL ₅₀	LFI	LFS	CL ₀₅			CL ₉₅
C17	Alil	3	544.695	206.005	30740.09	4.687	63306.23	Y=-2.179+0.796	0.003448
C08	Ácido salicílico	3	2.71	0.398	6.196	0.092	79.698	Y=-0.485+1.12	5.989e-06
C13	Ácido salicílico	3	11.683	7.252	16.204	2.007	67.999	Y=-2.296+2.15	2e-09
C17	Ácido salicílico	3	2.07	0.345	4.983	0.019	223.748	Y=-0.256+0.809	8.876e-08
C03	Ácido salicílico	3	3.912	0.374	9.056	0.178	86.146	Y= -0.726+1.225	0.0001888
C23	Ácido salicílico	3	0.056	0.039	0.078	0.008	0.416	Y= 2.368+1.897	3.36e-197
C28	Ácido salicílico	3	0.116	0	1.364	0.002	7.917	Y= 0.839+0.897	0.01991

El ácido salicílico fue eficaz en el control de la producción de esporas, de todos los aislados evaluados, el aislado C17 fue el único que presentó inhibición de micelio, así como inhibición de esporas con una CL₉₅ de 223.7 ppm, sin embargo, las esporas más susceptibles fueron las del aislado C23; el ácido salicílico se ha utilizado para el control de *Colletotrichum* sp. reduciendo el crecimiento del micelio así como la producción esporas a dosis de 2, 3 y 5 mM, cabe mencionar que las tres dosis antes mencionadas inhibieron la germinación de las esporas en un 100% (Varela *et al.*, 2015); para el caso de *F. sulphureum* Xue *et al.*, (2019) reportaron que además de provocar cambios morfológicos en el hongo e inhibir la germinación de esporas, el ácido salicílico también reduce la producción de la

micotoxina neosolaniol; para el control de *Penicillium expansum* se registró inhibición del 90% de la germinación de esporas, además se determinaron los mecanismos de acción del ácido salicílico identificando que genera daños en la membrana plasmática del hongo y con ello provoca fuga de proteínas (Da Rocha Neto *et al.*, 2015).

Los principios activos Alil, β -Citronelol y ácido salicílico inhibieron el crecimiento y esporulación de las especies de *Fusarium*, pudiendo ser una alternativa para el control de enfermedades de origen fúngico.

Referencias

- Achimón, F., Brito, V. D., Pizzolitto, R. P., Sanchez, A. R., Gómez, E. A., y Zygadlo, J. A. (2021). Chemical composition and antifungal properties of commercial essential oils against the maize phytopathogenic fungus *Fusarium verticillioides*. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 292-303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.12.001>
- Amborabé, B. E., Fleurat-Lessard, P., Chollet, J. F. y Roblin, G. (2002). Antifungal effects of salicylic acid and other benzoic acid derivatives towards *Eutypa lata*: structure–activity relationship. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(12), 1051-1060. Doi:10.1016/s0981-9428(02)01470-5
- Ashiq, S., Edwards, S. G., Fatukasi, O., Watson, A., y Back, M. A. (2022). *In vitro* activity of isothiocyanates against *Fusarium graminearum*. *Plant Pathology*, 71(3), 594-601. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13505>
- Borges, A., Abreu, A. C., Ferreira, C., Saavedra, M. J., Simões, L. C. y Simões, M. (2014). Antibacterial activity and mode of action of selected glucosinolate hydrolysis products against bacterial pathogens. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 4737-4748. DOI:10.1007/s13197-014-1533-1
- Carmona, M. y Sautua F. (2017). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. Causas y efectos en cultivos extensivos. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 37(1), 1-19.
- Castañeda-Antonio, D., Rivera-Tapia, A., Choy-Flores, E., Munguía-Pérez, R., Portillo-Reyes, R., y Muñoz, J. (2018). Actividad antimicrobiana del aceite de naranja residual. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 469-474.
- Castillo-Reyes, F., Castillo-Quiroz, D., Muñoz-Flores, H. J. y Sánchez, A. R. (2018). Uso de bio-pesticidas de origen vegetal en el manejo de enfermedades de cultivos en México. *Rev. Mitigación del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México*, 4(5), 107-121.
- Cerna-Chávez, E., Alejandro-Rojas, G., Ochoa-Fuentes, Y. M., Aguirre-Uribe, L., Landeros-Flores, J. y Hernández-Bautista, O. (2019). Evaluación *in vitro* de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia fungorum*, 49.
- Da Rocha Neto, A. C., Maraschin, M. y Di Piero, R. M. (2015). Antifungal activity of salicylic acid against *Penicillium expansum* and its possible mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology*, 215, 64–70. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08

- Dambolena, J. S., López, A. G., Cánepa, M. C., Theumer, M. G., Zygadlo, J. A. y Rubinstein, H. R. (2008). Inhibitory effect of cyclic terpenes (limonene, menthol, menthone and thymol) on *Fusarium verticillioides* MRC 826 growth and fumonisin B1 biosynthesis. *Toxicon*, 51(1),37-44. DOI:10.1016/j.toxicon.2007.07.005
- De Melo N., T., Quiles, J. M., Torrijos, R., Luciano, F. B., Manes, J., y Meca, G. (2019). Antifungal and antimycotoxigenic activity of allyl isothiocyanate on barley under different storage conditions. *LWT*, 112, 108237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.06.004>
- Delgado-Ortiz, J. C., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Beltrán-Beache, M., Rodríguez-Guerra, R., Aguirre-Uribe, L. A. y Vázquez-Martínez, O. (2016). Patogenicidad de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición basal del ajo en el centro norte de México. *Revista argentina de microbiología*, 48(3), 222-228. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2016.04.003>
- Díaz, O. y Betancourt Aguilar, C. R. (2018). Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 14-30.
- Dieryckx C., Gaudin V., Dupuy J., Bonneu M., Girard V. y Job D. (2015). Beyond plant defense: insights on the potential of salicylic and methylsalicylic acid to contain growth of the phytopathogen *Botrytis cinerea*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 859. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00859>
- Doyle, J. J. y Doyle J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12:13-15.
- Du Plooy, W., Regnier, T. y Combrinck, S. (2009). Essential oil amended coatings as alternatives to synthetic fungicides in citrus postharvest management. *Postharvest. Biology and Technology*, 53(3), 117-122. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2009.04
- Gálvez-Patón, L., Gil-Serna, J., Bango, D. y Palmero, D. (2011). La podredumbre del ajo causada por *Fusarium proliferatum*. *Horticultura revista de frutas hortalizas flores y plantas ornamentales*. 297, 48-51.
- González-Estrada, R. R., Vega-Arreguín, J., Villanueva, R., Velázquez-Estrada, R. M., Ramos-Guerrero, A. y Gutiérrez-Martínez, P. (2020). Evaluación *in vitro* de productos químicos no convencionales para el control de *Penicillium citrinum*. *Polibotánica*, (49), 161-172. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.11>

- Gwinn, K. D. (2018). Bioactive natural products in plant disease control. *Studies in natural products chemistry*, 56, 229-246. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00007-8>
- Le, D., Audenaert, K. y Haesaert, G. (2021). *Fusarium* podredumbre basal: perfil de una enfermedad cada vez más importante en *Allium* spp.. *Trop. planta pathol.* 46, 241-253. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00421-9>
- Leslie, J. F. y Summerell, B. A. (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. Iowa, USA. pp:122-250.
- Lim, S. y Shin, S. W. (2009). Effects of citronellol and thymol on cell membrane composition of *Candida albicans*. *Korean Journal of Pharmacognosy*, 40(4), 357-364.
- Marei, G. I. K., Rasoul, M. A. A. y Abdelgaleil, S. A. (2012). Comparative antifungal activities and biochemical effects of monoterpenes on plant pathogenic fungi. *Pesticide biochemistry and physiology*, 103(1), 56-61.
- Mari, M., Leoni, O., Iori, R. y Cembali, T. (2002). Antifungal vapour phase activity of allyl-isothiocyanate against *Penicillium expansum* on pears. *Plant pathology*, 51(2), 231-236. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00667.x>
- Ochoa Fuentes, Y. M., Cerna Chávez, E., Gallegos Morales, G., Landeros Flores, J., Delgado Ortiz, J.C., Hernández Camacho, S., Rodríguez Guerra, R. y Olalde Portugal, V. (2012). Identificación de especies de *Fusarium* en semilla de ajo en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Micología*. 36, 27-32.
- Oliveira, E. S., Viana, F. M. P. y Martins, M. V. V. (2016). Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. *Summa Phytopathologica*, 42(4), 340-350. DOI:10.1590/0100-5405/2000
- Praveen, T., Krishnamoorthy, A. S., Nakkeeran, S., Sivakumar, U. y Amirtham, D. (2021). Antifungal volatiles from medicinal herbs suppress *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 9(2), 1083-1093.
- Quiróz-López, E. P., Rentería-Martínez, M. E., Ramírez-Bustos, I. I., Moreno-Salazar, S. F., Martínez-Ruíz, F. E., Villar-Luna, E. y Fernández-Herrera, E. (2021). Efecto Del Ácido Salicílico Y Metil Jasmonato Sobre *Colletotrichum* sp. En Frutos De Mango. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2).
- Ramos-García, M., Hernández-López, M., Barrera-Necha, L. L., Bautista Baños, S., Troncoso Rojas, R. y Bosquez Molina, E. (2012). *In vitro* response of

Fusarium oxysporum isolates to isothiocyanates application. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(1), 1-10.

Revelés-Hernández, M., Velásquez-Valle, R. y Bravo-Lozano, A. G. (2009). Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro técnico 11.

Ribera, A. E, y Zuñiga, G. (2012). Induced plant secondary metabolites for phytopatogenic fungi control: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(4), 893-911. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000040>

Sellam, A., Dongo, A., Guillemette, T., Hudhomme, P. y Simoneau, P. (2007). Transcriptional responses to exposure to the brassicaceous defence metabolites camalexin and allyl-isothiocyanate in the necrotrophic fungus *Alternaria brassicicola*. *Molecular Plant Pathology*, 8(2), 195-208. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00387.x>

Varela, G. B., Jiménez, V. A. O., Sañudo, R. B. y Martínez, P. G. (2015). Efecto del ácido salicílico en la inducción de resistencia a *Colletotrichum* sp. en frutos de plátano durante postcosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 27-34.

Velásquez, R. y Medina, M, M. (2004). Características Vegetativas y Susceptibilidad de Variedades de Ajo (*Allium sativum* L.) Infechadas por *Fusarium* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22 (3), 435-438.

Xue, H., Bi Y., Sun Y., Hussain R., Wang H., Zhang S., Zhang R., Long H., Nan M., Cheng X. y A. Calderón-Urrea. 2019. Acetylsalicylic acid treatment reduce *Fusarium* rot development and neosolaniol accumulation in Musk melon fruit. *Food Chemistry*, 289 278-284

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se identificaron las especies de *F. acuminatum*, *F. oxysporum* y *F. solani*, agentes causales de la pudrición basal del ajo.
2. Se identificó a *Clonostachys rosea*, como agente causal de la pudrición de raíz en ajo y se realizó el primer reporte de este patógeno.
3. Se identificó a *F. incarnatum-equiseti* causante de la pudrición basal del bulbo del ajo.
4. Se evaluaron diferentes principios activos para el control de *Fusarium* spp., siendo β -Citronelol el activo con mayor eficiencia de inhibición.
5. Los principios activos Alil y ácido salicílico inhibieron la producción de esporas de las especies de *Fusarium*.