



Artículo de investigación

Hongos biocontroladores frente a *Phytophthora* sp. aislados del cogollo de la palma de aceite en Chigorodó Antioquia

Biocontrol fungi against *Phytophthora* sp. isolated from the bud of the oil palm in Chigorodó Antioquia

Laura Camila Vélez-Ocampo¹, Pamela Berrio-Arias¹, Catalina Valencia-Martínez¹, Sergio Andres Buitrago-Arias¹,
Luisa María Múnera-Porras^{1*}

¹ Universidad de Antioquia, Calle 70 No. 52-2, Medellín, Antioquia, Colombia. laura.velez8@udea.edu.co, pamela.berrio@udea.edu.co, catalina.valencia@udea.edu.co, sergio.buitrago@udea.edu.co.

* Autor por correspondencia: luisam.munera@udea.edu.co

Recibido: 06 de octubre de 2024. **Revisado:** 14 de octubre de 2025. **Aceptado:** 21 de noviembre de 2025.

Editora: Angélica Plata Rueda

Citation/ citar este artículo como: Vélez-Ocampo, L. C., Berrio-Arias, P., Valencia-Martínez, C., Buitrago-Arias, S. A. y Múnera-Porras, L. M. (2025). Hongos biocontroladores frente a *Phytophthora* sp. aislados del cogollo de la palma de aceite en Chigorodó Antioquia. *Acta Biol. Colomb.*, 30(3), 147-157. <https://doi.org/10.15446/abc.v30n3.116904>

RESUMEN

La pudrición de cogollo (PC) es una enfermedad producida por *Phytophthora* sp., que ha afectado plantaciones enteras en distintos países siendo un limitante en la palmicultura. El uso de pesticidas afecta en gran medida el suelo, reduciendo la fertilidad y favoreciendo el deterioro ambiental. Los hongos endófitos producen compuestos que favorecen a las plantas ejerciendo control biológico. En este estudio se aislaron hongos del cogollo de la palma de aceite con potencial antagonístico, con el fin de determinar su capacidad de biocontrol e identificar su género. Para esto, se tomaron 44 muestras de cogollos de palma de aceite en régimen bimodal de lluvia y sequía. Se realizaron pruebas de antagonismo in vitro con los morfotipos aislados, se realizó un análisis estadístico, se calculó la capacidad inhibitoria de estos y posteriormente se realizó la identificación a nivel de género. Se identificó un total de seis cepas de hongos con capacidad antagonística con porcentajes eficientes de inhibición frente a *Phytophthora* sp. de las cuales se destaca la cepa M3E (96 % de inhibición) y M23E (92 %). Algunos hongos como *Aspergillus niger* y *Mucor hiemalis* se encontraron en lluvia y sequía, lo que sugiere que pueden ser usados para el biocontrol en estos dos periodos.

Palabras clave: Biocontrol, endófitos, fitopatógeno, pesticidas, pudrición de cogollo.

ABSTRACT

Bud rot (BR) is a disease caused by *Phytophthora* sp., which has affected entire plantations in various countries, limiting the oil palm industry. Pesticide use significantly impacts the soil, reducing fertility and contributing to environmental degradation. Endophytic fungi produce compounds that benefit plants by exerting biological control. Therefore, this research aims to isolate fungi from oil palm buds with antagonistic potential, determine their biocontrol capacity, and identify their genus. To this end, 44 oil palm bud samples were collected under bimodal rainy and dry conditions. Antagonism tests were performed with the isolated morphotypes, a statistical analysis was conducted, their inhibitory capacity was calculated, and subsequently, identification to the genus level was carried out. A total of six fungal strains with antagonistic capacity were identified, demonstrating efficient inhibition percentages against *Phytophthora* sp. Of these, the M3E strain (96 % inhibition) and M23E (92 %) stand out. Some fungi, such as *Aspergillus niger* and *Mucor hiemalis*, were found in both rainy and dry conditions, suggesting their potential use for biocontrol during these two periods.

Keywords: Biocontrol, bud rot, endophytes, pesticides, phytopathogen.

INTRODUCCIÓN

La palma aceitera es una planta monocotiledónea perenne perteneciente al género *Elaeis*. La especie *E. guineensis* es la más utilizada en las plantaciones a nivel mundial (Nair, 2021). La producción mundial de aceite de palma es un factor muy importante para la economía global. Para el año 2021 se contabilizó una producción de 72,86 millones de toneladas métricas (Rodríguez Cordero y Ávila Villalobos, 2023). Malasia e Indonesia han sido los principales exportadores con una producción de más del 85 % a nivel global, de los cuales Malasia contribuye con el 39 % mediante exportaciones con productos derivados del aceite de palma (Masitah *et al.*, 2023). Países como Nigeria, Tailandia, China, India y Colombia también son importantes productores de aceite de palma, representando el 92 % de aceite crudo producido a nivel mundial (Babu *et al.*, 2021).

El aceite de palma representa una amplia versatilidad que incluye un alto contenido de carotenos (vitamina A), que lo ha convertido en uno de los aceites con mayor demanda mundial. El 77 % del aceite de palma se consume como alimento y el 23 % se utiliza para la producción de biodiesel, elaboración de productos lácteos, polímeros, jabones, detergentes, pesticidas, herbicidas, medicamentos, cosméticos, abrillantadores, productos oleoquímicos como los ácidos grasos, ésteres grasos, alcoholes grasos, compuestos de nitrógeno graso y glicerol (MacArthur *et al.*, 2021). Dentro de las enfermedades letales que afectan al cultivo oleaginoso se encuentra la PC, enfermedad producida por el oomiceto *Phytophthora* sp. (Chepsergon *et al.*, 2020). El primer síntoma visible son lesiones en la base de los folíolos de la hoja de la lanza, la laminilla se cae cuando las lesiones se secan dejando un aspecto de hoyo en la mitad de la valva o al borde del folíolo, ocasionando la destrucción del tejido intervenal y la presencia de parches necróticos. En la etapa avanzada de la enfermedad, la parte externa de la hoja de la lanza se observa totalmente seca, mientras que los tejidos internos quedan destruidos. En la etapa final se evidencia la destrucción del tejido joven en desarrollo y del meristemo (Torres *et al.*, 2016).

La PC ha venido afectando la palmicultura en Colombia, país que presenta un área de siembra de aproximadamente 590.189 hectáreas (ha), de las cuales en las últimas tres décadas se han perdido más de 95.000 por causa de esta enfermedad (Tupaz-Vera *et al.*, 2021). Dichas hectáreas están distribuidas en 21 departamentos, entre los cuales se destaca Antioquia, que a su vez alberga la región de Urabá, donde se presentó la PC por primera vez en los años 60, devastando alrededor de 2000 plantas, lo que ocasionó pérdidas económicas (Núñez Polo, 2020). Esto significó el inicio de una problemática que se extendió a nivel nacional e internacional (Pinilla, 2017; Giraldo, 2018).

Para la prevención y el manejo de enfermedades que perjudican el cultivo de la palma de aceite, se han implementado estrategias convencionales como la

detección temprana de la enfermedad, la remoción inmediata del tejido afectado y el uso de pesticidas (Tupaz-Vera *et al.*, 2021). Estos compuestos pueden afectar en gran medida el ecosistema y la salud humana, degradando el suelo y formando nuevos compuestos perjudiciales para las plantas, de este modo propician el deterioro del ambiente natural reduciendo la fertilidad del suelo, la productividad de cultivos, cambios en la microbiota del suelo, inhibición de microorganismos fijadores de nitrógeno y alteraciones en la rizosfera (Gavrin *et al.*, 2020). Otro factor negativo es la resistencia a los fungicidas, que genera cada año el aumento de costos para el control de enfermedades fúngicas, la aplicación de dosis más altas y nuevos productos químicos, generando contaminación de alimentos, dispersión ambiental y el aumento de costos de producción (Méndez *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta que el uso masivo de fungicidas para el control de enfermedades podría ser una práctica insostenible en los diferentes cultivos con efectos adversos crecientes (Gavrin *et al.*, 2020), se ha propuesto el control biológico como una alternativa eficiente y económica que tiene una amplia difusión por su efecto positivo en el control de la PC y la posibilidad de producir una agricultura orgánica, la cual se enfoca en el uso de microorganismos con características antagonistas para disminuir la población de organismos fitopatógenos.

Diversos estudios indican el gran potencial que tienen los hongos endófitos en cultivos de interés comercial (Souza y Santos, 2017), debido a que proporcionan una amplia gama de usos mediante la producción de metabolitos secundarios, mejorando la salud y productividad de las plantas en actividades agrícolas, aun cuando las condiciones fisicoquímicas del ambiente son cambiantes, también pueden ser buenos competidores o presentar micoparasitismo (Fontana *et al.*, 2021). Además, tienen la capacidad de colonizar el tejido intracelular de las células sanas e incluso muertas y huecas de las plantas sin ocasionar ningún síntoma visible de enfermedad (Sare *et al.*, 2021). Así, estos se han convertido en una alternativa segura y sostenible con el medio ambiente en comparación con la aplicación de plaguicidas convencionales (Núñez Polo, 2020). A pesar del gran potencial que tienen los hongos endófitos, no se ha explorado a profundidad su uso para contrarrestar la PC en la palma de aceite. Esta investigación tuvo como objetivo aislar y evaluar hongos con posible potencial antagónico frente a *Phytophthora* sp. del cogollo de la palma de aceite e identificarlos hasta el nivel de género.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del lugar de muestreo

La zona de estudio está ubicada en la región del Urabá antioqueño específicamente en el municipio de Chigorodó.

La finca cuenta con un área de cultivo de 327 ha, de las cuales se seleccionó aleatoriamente un lote con antecedentes de la enfermedad. Se muestrearon 88 plantas aplicando el método de zigzag (Geisseler y Horwath, 2016), 44 en temporada de lluvia (octubre 2022) y 44 en sequía (febrero 2023), régimen bimodal que se presenta en la zona de estudio. Se muestreó el híbrido OXG Coari x LaMé, teniendo en cuenta el “Permiso marco de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial”.

Parámetros ambientales

La temperatura (°C) y la humedad (%) se midieron en campo con un termohigrómetro (Ref: HTC-2), mientras que los datos de precipitación por día (mm) fueron proporcionados por la finca en la que se realizó el muestreo.

Aislamiento de hongos del cogollo de palma de aceite

Las muestras se obtuvieron cortando el cogollo de la palma de aceite con la ayuda de un palín, el cual se desinfectó con amonio cuaternario por cada cogollo cortado. Las muestras se almacenaron en bolsas herméticas y se conservaron a 4 °C mientras se transportaban al laboratorio. El procesamiento de las muestras se realizó antes de 48 horas de la recolección.

En condiciones de asepsia se cortaron fragmentos de tejido vegetales, aproximadamente 5 cm, con ayuda de una cuchilla estéril hasta obtener un peso de diez gramos. La esterilización de la muestra se realizó de acuerdo con el protocolo descrito por Montoya (2019), mediante inmersión consecutiva durante un minuto en alcohol al 70 %, tres minutos en hipoclorito de sodio 0,8 %, un minuto en alcohol 70 %, y cinco lavados con agua destilada estéril por un minuto. Las muestras se maceraron y se agregaron en 90 mL de solución salina al 0,9 % en condiciones de esterilidad, posteriormente se agitó la muestra y se sembró con la técnica de superficie adicionando 0,1 mL en el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA - MERCK) suplementado con cloranfenicol (PanReac AppliChem) al 0,05 g·L⁻¹. Se selló con Parafilm y se incubó a temperatura ambiente para el régimen de lluvia y sequía con temperaturas aproximadas de 28 y 31 °C respectivamente durante siete días. Se seleccionaron los hongos tomando como referencia características macroscópicas diferenciales y la formación de halo de inhibición frente a los microorganismos que crecieron en la caja de Petri. Posteriormente, se repicaron utilizando un sacabocado en agar PDA para obtener cultivos axénicos que se revisaron a través de microscopía (Montoya, 2019).

Pruebas de antagonismo

El hongo fitopatógeno fue proporcionado por el banco de cepas de la Universidad de Antioquia, la prueba de antagonismo se realizó a partir del método de siembra de

cultivo dual (Montoya, 2019). Se sembró en PDA las parejas de los hongos fitopatógeno/potencial inhibidor a tres centímetros de distancia a cada extremo de la caja de Petri en forma horizontal. Se realizó el control de crecimiento individual del microorganismo fitopatógeno, para ello se tomó micelio del hongo que se ubicó en el centro de la caja de Petri con agar PDA. Finalmente, las cajas de Petri se incubaron a temperatura ambiente para el régimen de lluvia y sequía con temperaturas aproximadas de 28 y 31 °C respectivamente por siete días. Durante este tiempo se realizaron mediciones de los crecimientos radiales de ambos tratamientos cada dos días. Los resultados del porcentaje de inhibición se obtuvieron con la siguiente fórmula (Wang *et al.*, 2023).

$$\% \text{ de inhibición del crecimiento radial} = \frac{(R1-R2)}{(R1)} \times 100$$

Donde:

R1: Crecimiento radial del fitopatógeno en el control (cm).

R2: Crecimiento radial del fitopatógeno en enfrentamiento (cm).

Identificación del género de hongos antagonistas

Los hongos más eficientes en el biocontrol de *Phytophthora* sp. se identificaron hasta género, teniendo en cuenta claves taxonómicas según las pautas de Franco *et al.* (2005), y la descripción del color se realizó empleando el atlas de colores de Kornerup y Wanscher (1978). Se tuvo en cuenta las características morfológicas, tanto macroscópicas como microscópicas, estas últimas basadas en el tipo de hifas, coloración, la presencia de células conidiógenas y la forma y tamaño de las esporas. Las visualizaciones se realizaron haciendo montajes con coloraciones de rojo Congo y KOH.

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente aleatorizado, en donde la variable dependiente o de respuesta es el porcentaje de inhibición del crecimiento radial y la unidad experimental es la palma de aceite, se realizó el análisis de estadística descriptiva analizando la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación en el software Statgraphics® Centurion (Versión 18.1.08). Teniendo en cuenta los datos por triplicado obtenidos para cada hongo antagonista, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los datos que corresponden al porcentaje de inhibición del crecimiento radial. Además, se realizó la prueba post hoc Tukey usando el software libre RStudio (Versión 4.3.1). El nivel de significancia se fijó en $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Parámetros ambientales

Algunos factores ambientales pueden influir en la presencia de los hongos. En este estudio, durante la temporada lluviosa se registró una temperatura promedio de 25,7 °C, una humedad relativa del 92 % y una precipitación de 12 mm; mientras que en la temporada seca la temperatura fue de 32,5 °C, la humedad relativa del 78 % y no se registró precipitación.

Morfotipos aislados del cogollo de palma de aceite

De las 88 muestras que fueron sembradas en PDA suplementado con cloranfenicol en periodo de lluvia y sequía, se seleccionaron 20 cepas. En régimen de lluvia se encontraron las siguientes cepas: M1E, M3E, M4S, M9S, M10S, M11T, M32S, M38S, M39S, M44T. Mientras que en el régimen de sequía se encontraron las cepas M6S, M7S, M13T, M14T, M16S, M18S, M23E, M24T, M32T, M38T. Al comparar las características morfológicas se evidenció que M23E y M3E estaban presentes en los dos periodos con las siguientes características: colonia plana con apariencia granulosa, con borde irregular, de color negro y reverso de color ámbar. Lo mismo sucedió con la M44T y M18S, las cuales presentaron características como: colonia pulvinada

de apariencia algodonosa y densa, con borde circular, de color beige y reverso de color ámbar.

Antagonismo

De las 20 cepas seleccionadas, para evaluar la actividad de biocontrol se obtuvieron seis cepas de hongos aislados del cogollo de palma de aceite autóctonas de Chigorodó, que mostraron actividad biocontroladora frente a *Phytophthora* sp. Así, M3E y M23E, presentan un mayor porcentaje de inhibición, como se muestra en la (Fig. 1).

Identificación de microorganismos

Los hongos que presentaron actividad antagonica frente *Phytophthora* sp., fueron identificados teniendo en cuenta la morfología. El género y la especie se encuentra consignado en la (Tabla 1). Respecto al morfotipo M39S, su morfología macroscópica mostró colonias puntiformes elevadas con apariencia aterciopelada y polvorienta, de color verde oscuro y esporulación abundante, y por medio del microscopio se observaron hifas hialinas septadas, conidióforo con métula, filíde y conidios (S1). En cuanto a la M44T y M18S, se observó una colonia pulvinada de apariencia algodonosa, con borde circular y de color beige. Con relación a la microscopia se observaron hifas hialinas sin septos, esporangio con esporangiosporas elevado por una columella. M23E y M3E presentaron colonias

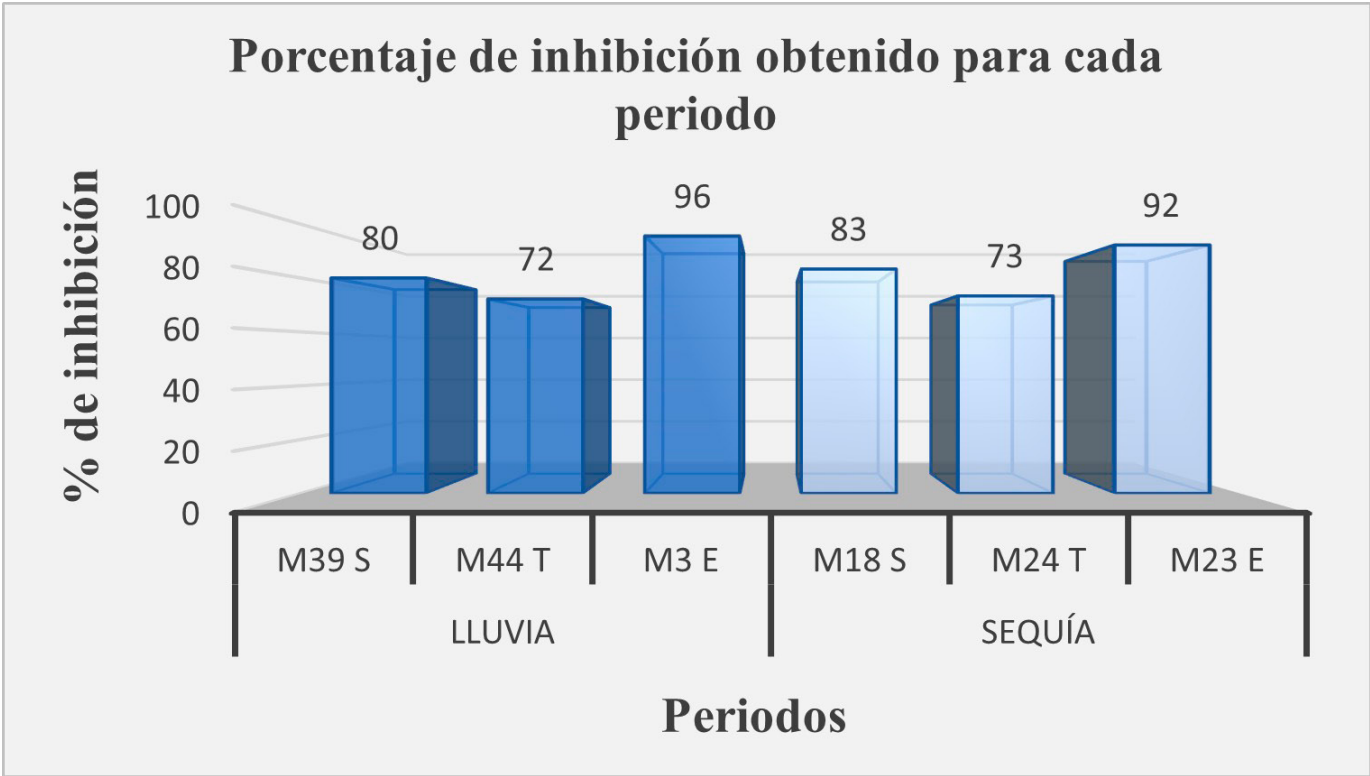


Fig. 1. Inhibición del crecimiento de *Phytophthora* sp. en porcentaje para el régimen o periodo de lluvia y sequía. M: muestra, E: aislado de palma enferma, S: aislado de palma sana, T: aislado de palma en tratamiento. Estos últimos indican el estado de la muestra.

planas con apariencia granulosa, con borde irregular de color negro. Con respecto a su morfología microscópica se observaron conidióforos lisos con fiálides y conidios globosos marrones (S1). Finalmente, la M24T presentó una colonia con apariencia algodonosa de color blanco que podía virar a verde oscuro; además, se pudo evidenciar una especie de anillos concéntricos y abundante esperulación. En la observación microscópica se evidenciaron hifas hialinas septadas, conidióforo ramificado con fiálides en forma de pera, globosas en la región central y delgadas en el ápice y conidios con forma circular.

Tabla 1. Identificación de hongos con actividad biocontroladora frente a *Phytophthora* sp. en régimen bimodal lluvia y sequía.

Régimen bimodal o periodo	Morfotipos aislados	Género y especie
Lluvia	M3E	<i>Aspergillus niger</i>
	M44T	<i>Mucor hiemalis</i>
	M39S	<i>Penicillium chrysogenum</i>
Sequía	M24T	<i>Trichoderma</i> sp.
	M23E	<i>Aspergillus niger</i>
	M18S	<i>Mucor hiemalis</i>

Análisis estadístico

A partir de los datos del porcentaje de inhibición del crecimiento radial se obtuvo un breve resumen estadístico, el cual presenta datos de medidas de posición central como el promedio (82.6), la desviación estándar (SD) con un valor de diez lo que indica que existe dispersión en algunos datos con respecto al promedio, teniendo en cuenta que una SD mayor a cero significa que los puntos de datos están alejados de la media (NIH, 2012)., y el coeficiente de variación (CV), que fue de 12,1 %. Estas medidas estadísticas indican que los datos tienen una precisión aceptable, teniendo en cuenta que un CV hasta del 10 % sugiere que existe precisión en los datos, entre diez y 20 % sugiere que la precisión es aceptable y entre 20 y 30 % significa que la precisión es regular (Ferreira *et al.*, 2019).

A partir del ANOVA se determinó que existen diferencias significativas entre las medias de la variable de respuesta (valor p : 2.328×10^{-4}), lo que indica que existe al menos un hongo con porcentaje de inhibición superior para contrarrestar a *Phytophthora* sp. Para la prueba Tukey se obtuvo lo evidenciado en la (Tabla 2).

Tabla 2. Prueba post hoc Tukey.

Hongo identificado	Media	Tukey HSD (Diferencia Honestamente Significativa)
<i>Mucor hiemalis</i> (M18S)	73,667	c
<i>Aspergillus niger</i> (M23E)	92,333	ab
<i>Trichoderma</i> sp. (M24T)	82,667	abc
<i>Penicillium chrysogenum</i> (M39S)	79,667	bc
<i>Aspergillus niger</i> (M3E)	95,667	a
<i>Mucor hiemalis</i> (M44T)	71,667	c

DISCUSIÓN

La PC se conoce como una enfermedad importante para la palma de aceite en la región de Urabá, siendo esta una zona muy productiva en cuanto a este cultivo. El conocimiento acerca de los hongos endófitos es una estrategia prometedora para contrarrestar los efectos de la PC (Alam *et al.*, 2021). Con el presente estudio se determinó la presencia de estos hongos en el cogollo de la palma de aceite (Tabla 1), se aislaron seis hongos con actividad biocontroladora, dentro de los que se evidencia el género *Trichoderma*, encontrado en el régimen de sequía. Este hongo ha sido descrito como promotor del crecimiento vegetal (PGPF), y se caracteriza por la capacidad de producir sideróforos, enzimas solubilizadoras de fosfato, enzimas promotoras de crecimiento vegetal, dentro de las que se encuentra la 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa (ACC-desaminasa) y fitohormonas como el ácido indol acético. *Trichoderma* sp. tiene la capacidad de contrarrestar las enfermedades de las plantas causadas por agentes patógenos mediante diferentes mecanismos de acción directos (micoparasitismo, antibiosis, competencia por espacio y/o nutrientes, y producción de enzimas líticas), o mediante mecanismos indirectos (inducción de defensas de las plantas). Debido a estos mecanismos, este microorganismo ha sido muy utilizado en los últimos años para una producción agrícola sostenible (Tyśkiewicz *et al.*, 2022).

En este estudio se determinó que *Trichoderma* sp. tiene una capacidad de inhibición del 83 % frente a *Phytophthora* sp., (Fig.1). Estos resultados son consistentes con los reportados por Sundram (2018), quienes evaluaron varias cepas de *Trichoderma virens* para conocer su capacidad de inhibición sobre *Phytophthora palmivora*. En ese estudio las cepas fueron cultivadas en medio PDA a una temperatura de 28 °C, obteniendo así una buena inhibición micelial que oscila entre 54 y 77 %. En otro estudio, Acosta y Redondo (2021) evaluaron *in vitro* la acción antagonista de nueve cepas de hongos filamentosos, entre ellos *Trichoderma* sp. aislado del suelo contra *Phytophthora* sp. aislado del cogollo de la palma de aceite, las cepas fueron incubadas en condiciones

de oscuridad, a temperatura de 27-29 °C y con una humedad relativa de 85 %. Los datos de crecimiento radial se recolectaron a los cuatro días y se observó que el aislado de *Trichoderma* sp. presentó mayor poder antagónico de 79 %. Se ha demostrado que *Trichoderma* tiene la capacidad de efectuar control biológico frente a *Phytophthora* sp. mediante el micoparasitismo, donde el microorganismo enrolla o estrangula al patógeno, colonizando y perforando las hifas para finalmente utilizarlas como sustrato (Sarria *et al.*, 2021). Este antagonista también produce compuestos antifúngicos volátiles como el 6-n-pentil-2H-pirano-2-ona (6-PAP), que es tóxico para muchos patógenos de las plantas. Se ha reportado que este compuesto es eficaz en la inhibición de la germinación de esporangios de *P. palmivora*. El hongo *Trichoderma* sp. se ha reportado como el microorganismo más importante para el control biológico en palma de aceite, en este estudio el hongo fue encontrado en una palma en tratamiento, lo que confirma que se está utilizando el microorganismo con el fin de que aporte al proceso de recuperación de la planta, gracias a la diversidad de metabolitos que secreta (Promwee *et al.*, 2017).

También se destaca el hongo *Penicillium chrysogenum*, encontrado en el régimen de lluvia. Se ha clasificado como un PGPF, ya que tiene la capacidad de estimular la respuesta inmune de las plantas ante el ataque de organismos fitopatógenos y promueve el crecimiento de diferentes cultivos (Sikandar *et al.*, 2020). En este estudio se determinó que *P. chrysogenum* tiene capacidad antagónica frente a *Phytophthora* sp. con un porcentaje de inhibición de 80 % (Fig. 1). El poder de contrarrestar el efecto del fitopatógeno de palma de aceite se atribuye a que *P. chrysogenum* secreta proteínas antifúngicas denominadas PAF, que son un péptido con masa molecular pequeña, catiónico y rico en cisteína lo que le otorga propiedades para inhibir el crecimiento de una gran variedad de hongos filamentosos. Se ha demostrado que la proteína causa una rápida hiperpolarización de la membrana plasmática en las puntas de las hifas, un aumento del flujo de salida de potasio, inducción de estrés oxidativo y muerte celular apoptótica. Además, interfiere con al menos dos cascadas de señalización de la proteína quinasa activada por mitógenos (MAP) y las vías del AMP cíclico (AMPC)/proteína quinasa A, que realizan un papel en la mediación de la toxicidad de la proteína PAF (Binder *et al.*, 2010). En los últimos años se ha informado del efecto de biocontrol contra diferentes plagas y patógenos en presencia de *P. chrysogenum* en cultivos de tomate y pepino (Jogaiah *et al.*, 2013). Sin embargo, no se ha reportado como hongo antagonista para contrarrestar fitopatógenos en palma aceitera. Es importante mencionar que, en este estudio, el hongo fue encontrado en el cogollo de una palma sana, teniendo en cuenta que hace parte del grupo de los PGPF probablemente le aporta diferentes beneficios a la planta.

Por otra parte, *Aspergillus niger* es un hongo Ascomycota productor de ácido indol acético (AIA), importante

hormona vegetal involucrada en la división celular, desarrollo vascular, germinación y crecimiento radicular (Suman *et al.*, 2022). También produce giberelinas, que tienen diferentes funciones, principalmente mejora el crecimiento de los cultivos y alivia los efectos perjudiciales del estrés abiótico (Lubna *et al.*, 2018). *A. niger* se ha reportado como un hongo fitopatógeno para una gran variedad de cultivos, debido a que causa la enfermedad del moho negro en las cebollas y en ciertas frutas como uvas, cacahuates y en la mayoría de las verduras (Özdemi'r and Arici, 2023). Actualmente, causa una enfermedad devastadora denominada la pudrición del fuste del sisal en Brasil. Aunque en este estudio el hongo fue encontrado en una palma enferma con la PC, no se ha reportado que *A. niger* sea fitopatógeno en la palma de aceite (Barbosa *et al.*, 2018). A pesar de que dicho hongo produce fitohormonas que benefician a las plantas, también es bien conocido por ser un potencial productor de ocratoxina A (OTA), que es una micotoxina nefrotóxica que se ha encontrado en una amplia gama de productos alimenticios (Goudarzi *et al.*, 2022). Su acción tóxica posiblemente está involucrada en la inhibición de la síntesis de proteínas, la inducción del estrés oxidativo, la formación de aductos de ADN, la apoptosis/ necrosis y la detección del ciclo celular. Además, se ha reportado que la OTA se une de manera muy fuerte a la albúmina humana y animal, en este sentido cuando el hongo es inhalado puede causar aspergilosis invasiva en individuos inmunodeprimidos afectando principalmente el sistema respiratorio (Kőszegi y Poór, 2016). No obstante, *A. niger* es una especie que ha sido ampliamente usada en la industria alimentaria para la producción de diversas enzimas y metabolitos, entre estos el más utilizado es el ácido cítrico. Los procesos industriales que involucran la extracción de dicho metabolito son reconocidos como seguros (GRAS) por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA), por lo cual su uso en la producción agrícola está recibiendo una mayor importancia en los últimos años (Vargas Manotas *et al.*, 2021).

En una investigación se reportó un porcentaje de inhibición de 70 % al realizar un ensayo de antagonismo entre *A. niger* y *Phytophthora* sp. Se encontró que la inhibición antagónica ejercida por *A. niger* se debió a la competencia por nutrientes y espacio (Acosta y Redondo, 2021). Por otro lado, en este estudio el porcentaje de inhibición obtenido en el régimen de lluvia fue de 96 % y en el régimen de sequía de 92 %, resultados que indican que el efecto biocontrolador sobre el fitopatógeno, puede estar mediado por la competencia de nutrientes y por la producción de los diferentes compuestos como el ácido cítrico. Se ha reportado que este microorganismo puede acidificar el medio por debajo de pH dos, razón por la que evita el crecimiento del fitopatógeno (Behera *et al.*, 2021). Es fundamental resaltar que la temperatura óptima para el crecimiento de *A. niger* está entre 24-26 °C y humedad 93 %

(Bonner, 2018). El mayor porcentaje de inhibición con este hongo fue obtenido en el régimen de lluvia, con temperatura de 25,7 °C, humedad relativa de 92 % y precipitación por día de 12 mm, lo que refleja las condiciones óptimas para el crecimiento del hongo.

Las investigaciones sobre *A. niger* como antagonista de microorganismos patógenos han sido escasas, y una gran cantidad se han enfocado en evaluar el riesgo que representan estas especies sobre la inocuidad de alimentos y la salud humana. Por lo tanto, la utilización de *A. niger* como potencial antagonista en la actividad agrícola está sujeta al desarrollo de investigaciones que demuestren su seguridad para el proceso productivo.

Por otra parte, para el hongo *Mucor hiemalis* se obtuvo un porcentaje de inhibición de 72 % y 73 % en el régimen de lluvia y de sequía respectivamente, lo que sugiere que los valores de temperatura, humedad y precipitación no influyen en la capacidad que tiene este hongo de evitar el crecimiento del fitopatógeno. *M. hiemalis*, se caracteriza por ser filamentoso, dimórfico y saprófito (Ferreira *et al.*, 2020). Se ha destacado por su potencial biotecnológico, especialmente en la producción de bioetanol y de enzimas como lipasas y proteasas (Erabi y Goshadrour, 2020). Se reportó por primera vez como agente de biocontrol frente a *Thielaviopsis paradoxa* que ocasiona la enfermedad de la pudrición parda de la inflorescencia de la palma datilera en Egipto. *M. hiemalis* inhibió el crecimiento del patógeno mediante ocupación. Se desconoce el mecanismo implicado (Ziedan *et al.*, 2013). Además, se ha informado que es un hongo entomopatógeno que proporciona una fuerte patogenicidad para *Bradysia odoriphaga* permitiendo un control de campo satisfactorio (Zhu *et al.*, 2023). En otras investigaciones no se ha reportado como agente biocontrolador de *Phytophthora* sp. para contrarrestar la PC, ni como fitopatógeno en palma aceitera. Es importante mencionar que *M. hiemalis* tiene la capacidad de producir fitoalexinas que son compuestos antimicrobianos de bajo peso molecular, el mecanismo de acción de este compuesto sobre los hongos incluye desorganización del contenido celular, ruptura de la membrana plasmática y la inhibición de las enzimas fúngicas. Es relevante mencionar que esta sustancia también es producida por las plantas en porcentajes bastante pequeños (Bizuneh, 2021). En este sentido, la palma de aceite tiene la capacidad de producir dicho compuesto, pero no es suficiente para contrarrestar el ataque del fitopatógeno. *Mucor hiemalis* fue encontrado en una palma de aceite en tratamiento de la PC, lo que sugiere que es capaz de resistir a la enfermedad, habitar en la planta y a su vez actuar positivamente ayudando en la producción de fitoalexinas.

Es importante mencionar que se determinó estadísticamente diferencias en las medias de los porcentajes de inhibición entre los hongos aislados del régimen de lluvia y sequía; sin embargo, algunas cepas se encontraron en los

dos periodos, como es el caso de *A. niger* y *M. hiemalis* (Fig. 1), lo que sugiere que son organismos que probablemente pueden ser utilizados como agentes de control biológico frente a *Phytophthora* sp. en estos dos periodos en cultivos de palma de aceite. La supervivencia de los hongos a los dos períodos está relacionada con la estructura que tienen las esporas, en el caso de *A. niger* presenta un contenido de pigmentos (melanina), de polisacáridos (quitina y glucanos) lo que da lugar a que la pared sea bastante gruesa y tiene la capacidad de mantener una actividad metabólica baja (Cortês *et al.*, 2020). Con respecto a *M. hiemalis* las esporas contienen diferentes pigmentos de color amarillo que se tornan a gris oscuro, característica que permite que la pared sea gruesa (Cortês *et al.*, 2020). Además, los hongos reportados en este estudio son cosmopolitas lo que significa que tiene la capacidad de crecer en muchas condiciones ambientales y ubicaciones geográficas diferentes. Por otra parte, se realizó estadísticamente a través de la prueba de Tukey una comparación múltiple de medias para determinar las diferencias específicas entre las cepas (Tabla 2). Se obtuvo que las cepas más eficientes en el biocontrol frente a *Phytophthora* sp son *A. niger* (M3E), *A. niger* (M23E) y *Trichoderma* sp (M24T); estas diferencias pueden deberse a que las cepas al encontrarse en una palma sana, enferma y en tratamiento pueden sufrir adaptaciones epigenéticas, que puede incluir la metilación del ADN, la remodelación de la cromatina y la interferencia del ARN que desempeñan un papel fundamental en la sobreexpresión de genes para la producción de metabolitos secundarios los cuales son importantes para la actividad antagonista proporcionando resistencia y una mayor distribución de las esporas de las cepas de hongos (Bind *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Con el incremento del uso de pesticidas para el control de enfermedades y plagas en los cultivos, se han generado consecuencias negativas que repercuten sobre el ambiente, lo cual ha dado lugar a la búsqueda de nuevas alternativas enfocadas en una agricultura sostenible. Este estudio permitió determinar que *Trichoderma* sp., *P. chrysogenum*, *A. niger* y *M. hiemalis* presentan actividad biocontroladora frente a *Phytophthora* sp. con altos porcentajes de inhibición, lo que indica que pueden ser una buena estrategia para el control del fitopatógeno y evitar la PC en la palma de aceite desde una perspectiva amigable con el ambiente, pesar de que estadísticamente se evidenció que existen diferencias entre los porcentajes de inhibición del crecimiento radial. Además, algunos hongos como *A. niger* y *M. hiemalis* se encontraron en los regímenes de lluvia y sequía, lo que sugiere que probablemente pueden ser utilizados para el biocontrol en estos dos periodos, debido a que las características que presentan las esporas permiten que estos hongos sobrevivan aun cuando las condiciones son cambiantes. Sin embargo, se requieren más estudios para determinar si *A. niger* es

seguro para la producción agrícola, se debe indagar sobre los efectos que pueden causar estos microorganismos cuando se encuentran en concentraciones altas en la palma aceitera. Además, se debe explorar más a fondo los mecanismos de acción de cada uno de los microorganismos, los diferentes metabolitos que secretan y se debe experimentar en campo para determinar si las cepas encontradas en este estudio tienen el mismo poder antagónico que se evidencio en el ensayo *in vitro*. Finalmente, este estudio sirve como base para futuras investigaciones enfocadas a la producción de bioinsumos para el control de *Phytophthora* sp., potencial causante de la PC, teniendo en cuenta que estos cada vez toman mayor relevancia por ser producidos a base de organismos vivos y sus derivados, siendo una alternativa viable para disminuir el uso de compuestos químicos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigación y Extensión de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia por financiar este proyecto a través de la “Convocatoria para apoyar trabajos de grado en los programas de pregrado – Regiones en el año 2022”.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

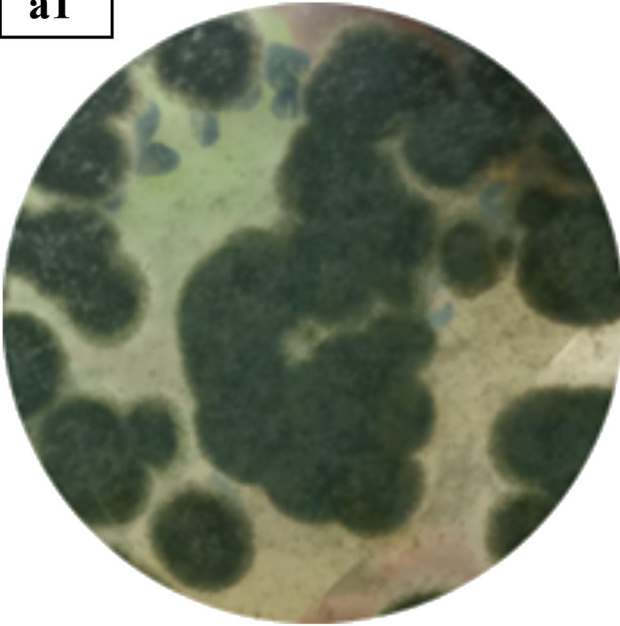
- Acosta, G. E. S. y Redondo, A. R. P. (2021). Antagonismo *in vitro* de nueve hongos aislados del Caribe colombiano sobre *Phytophthora* sp. Asociado a palma aceitera. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(2), 205-220. <https://doi.org/10.14482/inde.39.2.579.546>
- Alam, B., Li, J., Gě, Q., Khan, M. A., Gōng, J., Mehmood, S., Yuán, Y. and Gōng, W. (2021). Endophytic Fungi: From Symbiosis to Secondary Metabolite Communications or Vice Versa? *Frontiers in Plant Science*, 12, 791033. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791033>
- Babu, B. K., Mathur, R. K., Anitha, P., Ravichandran, G. and Bhagya, H. P. (2021). Phenomics, genomics of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.): Way forward for making sustainable and high yielding quality oil palm. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(3), 587-604. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00964-w>
- Barbosa, L. O., Lima, J. S., Magalhães, V. C., Gava, C. A. T., Soares, A. C. F., Marbach, P. A. S. and de Souza, J. T. (2018). Compatibility and combination of selected bacterial antagonists in the biocontrol of sisal bole rot disease. *BioControl*, 63(4), 595-605. <https://doi.org/10.1007/s10526-018-9872-x>
- Behera, B. C., Mishra, R. and Mohapatra, S. (2021). Microbial citric acid: Production, properties, application, and future perspectives. *Food Frontiers*, 2(1), 62-76. <https://doi.org/10.1002/fft2.66>
- Bind, S., Bind, S., Sharma, A. K. and Chaturvedi, P. (2022). Epigenetic Modification: A Key Tool for Secondary Metabolite Production in Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.784109>
- Binder, U., Chu, M., Read, N. D. and Marx, F. (2010). The Antifungal Activity of the *Penicillium chrysogenum* Protein PAF Disrupts Calcium Homeostasis in *Neurospora crassa*. *Eukaryotic Cell*, 9(9), 1374-1382. <https://doi.org/10.1128/EC.00050-10>
- Bizuneh, G. K. (2021). The chemical diversity and biological activities of phytoalexins. *Advances in Traditional Medicine*, 21(1), 31-43. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00442-w>
- Bonner, J. T. (2018). A Study of the Temperature and Humidity Requirements of *Aspergillus niger*. *Mycologia*, 40(6), 728-738. <https://doi.org/10.1080/00275514.1948.12017741>
- Chepsergon, J., Motaung, T. E., Bellieny-Rabelo, D. and Moleleki, L. N. (2020). Organize, Don't Agonize: Strategic Success of *Phytophthora* Species. *Microorganisms*, 8(6), 917. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060917>
- Cortese, M., de Haas, A., Unterbusch, R., Fujimori, A., Schütze, T., Meyer, V. and Moeller, R. (2020). *Aspergillus niger* Spores Are Highly Resistant to Space Radiation. *Frontiers in Microbiology*, 11, 560. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00560>
- Gavrin, A., Rey, T., Torode, T. A., Toulotte, J., Chatterjee, A., Kaplan, J. L., Evangelista, E., Takagi, H., Charoensawan, V., Rengel, D., Journet, E. P., Debelle, F., de Carvalho-Niebel, F., Terauchi, R., Braybrook, S. and Schornack, S. (2021). Developmental Modulation of Root Cell Wall Architecture Confers Resistance to an Oomycete Pathogen. *Current Biology*, 30(21), 4165-4176.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.08.011>
- Erabi, M. and Goshadrou, A. (2020). Bioconversion of *Glycyrrhiza glabra* residue to ethanol by sodium carbonate pretreatment and separate hydrolysis and fermentation using *Mucor hiemalis*. *Industrial Crops and Products*, 152, 112537. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112537>
- Ferreira, A. A. S. N. D. C., Dourado, L. R. B., Biagiotti, D., Santos, N. P. D. S., Nascimento, D. C. N. and Sousa, K. R. S. (2019). Methods for classifying coefficients of variation in experimentation with poultrys. *Comunicata Scientiae*, 9(4), 565-574. <https://doi.org/10.14295/cs.v9i4.2619>
- Ferreira, I. N. S., Rodríguez, D. M., Campos-Takaki, G. M. and Andrade, R. F. da S. (2020). Biosurfactant and

- bioemulsifier as promising molecules produced by *Mucor hiemalis* isolated from Caatinga soil. *Electronic Journal of Biotechnology*, 47, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2020.06.006>
- Fontana, D. C., de Paula, S., Torres, A. G., de Souza, V. H. M., Pascholati, S. F., Schmidt, D. and Dourado Neto, D. (2021). Endophytic Fungi: Biological Control and Induced Resistance to Phytopathogens and Abiotic Stresses. *Pathogens*, 10(5), 570. <https://doi.org/10.3390/pathogens10050570>
- Franco, A., Vasco, A., López C. y Boekhout, T. (2005). Macrohongos de la región de medio Caquetá-Colombia. 47, 112.
- Geisseler, D. and Horwath, W. R. (2016). Muestreo de Prueba de Suelo. http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/Muestreo_de_prueba_de_suelo_PK.pdf
- Giraldo, V. S. (2018). Agroindustria del cultivo de palma de aceite: Fenómeno en la estructura agraria del Urabá Antioqueño. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15750/1/SierraVanessa_2018_AgroindustriaCultivoPalma.pdf
- Goudarzi, A., Bagheri, A. and Hajebi, A. (2022). *Aspergillus niger* causes black mould disease on Piarom dates, the most economically valuable export date cultivar in southern Iran. *Crop Protection*, 160, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106047>
- Jogaiah, S., Abdelrahman, M., Tran, L.-S. P. and Shinichi, I. (2013). Characterization of rhizosphere fungi that mediate resistance in tomato against bacterial wilt disease. *Journal of Experimental Botany*, 64(12), 3829-3842. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert212>
- Kornerup, A. and Wanscher, J. H. (1978). Methuen Handbook of Colour. E. Methuen. https://books.google.com.co/books/about/Methuen_Handbook_of_Colour.html?id=hI2hQgAACAAJ&redir_esc=y
- Kőszegi, T. and Poór, M. (2016). Ochratoxin A: Molecular Interactions, Mechanisms of Toxicity and Prevention at the Molecular Level. *Toxins*, 8(4), 111. <https://doi.org/10.3390/toxins8040111>
- Lubna, Asaf, S., Hamayun, M., Gul, H., Lee, I.-J. and Hussain, A. (2018). *Aspergillus niger* CSR3 regulates plant endogenous hormones and secondary metabolites by producing gibberellins and indoleacetic acid. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 100-111. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1436199>
- MacArthur, R. L., Teye, E. and Darkwa, S. (2021). Microbial contamination in palm oil selected from markets in major cities of Ghana. *Heliyon*, 7(7), e07681. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07681>
- Masitah, T. H., Setiawan, M., Indiatuti, R. and Wardhana, A. (2023). Determinants of the palm oil industry productivity in Indonesia. *Cogent Economics & Finance*, 11(1), 2154002. <https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2154002>
- Méndez, K. Á., Ortiz, G. P., Díaz-Granados, R. Á., Villa, G. A. S. y Angulo, H. M. R. (2018). Identificación de estructuras de infección de *Phytophthora palmivora* en hojas de clones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas*, 39(1), Article 1.
- Montoya, S. H. (2019). Evaluación *in vitro* de la capacidad antagónica de hongos endófitos aislados de moringa oleífera (l) en el control de *Pestalotia palmarum* (Q). <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/777e10d0-2b6b-4a32-a862-2294cffba7ca>
- Nair, K. P. (2021). Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacquin). En K. P. Nair (Ed.), *Tree Crops: Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops* (pp. 249-285). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7_7
- NIH. (2012). Encontrar y utilizar estadísticas de salud. <https://www.nlm.nih.gov/oet/ed/stats/02-900.html>
- Özdemir, F. G. G. and Arici, Ş. E. (2023). Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker (Ascomycota: Hypocreales) and *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Nemata: Meloidogynidae) with *Aspergillus niger* Tiegh. (Ascomycota: Eurotiales) culture filtrate on tomato. *Turkish Journal of Entomology*.
- Pinilla, A. M. G. (2017). Evaluación de aislamientos de *Trichoderma* ssp. Para el control de *Phytophthora palmivora* agente causante de la producción del cogollo de la palma de aceite. https://repositorio.uniminuto.edu/bitstream/10656/4882/1/T.AIG_GarciaPinillaAlejandraMilena_2017.pdf
- Núñez Polo, A. (2020). La palmicultura en la subzona de Urabá. *Boletín El Palmicultor*; 583, 31-34. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141090>
- Promwee, A., Yenjit, P., Issarakraisila, M., Intana, W. and Chamswarng, C. (2017). Efficacy of indigenous *Trichoderma harzianum* in controlling *Phytophthora* leaf fall (*Phytophthora palmivora*) in Thai rubber trees. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 124(1), 41-50. <https://doi.org/10.1007/s41348-016-0051-y>
- Rodríguez Cordero, T. A. y Ávila Villalobos, D. A. (2023). Estudio comparativo de indicadores físicos, químicos y microbiológicos de calidad de suelo en plantaciones de palma aceitera con uso de enmiendas orgánicas y manejo convencional en Quepos, Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/19248>

- Sare, A. R., Jijakli, M. H. and Massart, S. (2021). Microbial ecology to support integrative efficacy improvement of biocontrol agents for postharvest diseases management. *Postharvest Biology and Technology*, 179, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111572>
- Sarria, G., García, A., Mestizo, Y., Medina, C., Varón, F., Mesa, E. and Hernández, S. (2021). Antagonistic interactions between *Trichoderma* spp. And *Phytophthora palmivora* (Blutler) from oil palm in Colombia. *European Journal of Plant Pathology*, 161(4), 751-768. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02363-z>
- Sikandar, A., Zhang, M., Wang, Y., Zhu, X., Liu, X., Fan, H., Xuan, Y., Chen, L. and Duan, Y. (2020). In vitro evaluation of *Penicillium chrysogenum* Snef1216 against *Meloidogyne incognita* (root-knot nematode). *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65262-z>
- Souza, B. dos S. and Santos, T. T. dos. (2017). Endophytic fungi in economically important plants: Ecological aspects, diversity and potential biotechnological applications. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i2.121>
- Suman, J., Rakshit, A., Ogireddy, S. D., Singh, S., Gupta, C. and Chandrakala, J. (2022). Microbiome as a Key Player in Sustainable Agriculture and Human Health. *Frontiers in Soil Science*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsoil.2022.821589>
- Sundram, S. (2018). The Use of Indigenous *Trichoderma* in Controlling *Phytophthora palmivora* – An In Vitro Investigation. <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/OPB/opb76-sundram.pdf>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Martinez, G., Varon, F., Drenth, A. and Guest, D. I. (2016). Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora*: A Destructive Emerging Disease of Oil Palm. *Phytopathology*, 106(4), 320-329. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0243-RVW>
- Tupaz-Vera, A., Ayala-Diaz, I. M., Rincon, V., Sarria, G. and Romero, H. M. (2021). An Integrated Disease Management of Oil Palms Affected by Bud Rot Results in Shorter Recovery Times. *Agronomy*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101995>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E. and Jaroszek-Ścisł, J. (2022). Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vargas Manotas, J. E., Vélez Ascanio, J. F. y Chalela Blanco, N. A. (2021). *Aspergillus*, un asesino desconocido. *Acta Neurológica Colombiana*, 37(1), 112-116. <https://doi.org/10.22379/24224022342>
- Wang, J.-L., Chen, Y.-C., Deng, J.-J., Mo, Z.-Q., Zhang, M.-S., Yang, Z.-D., Zhang, J.-R., Li, Y.-W., Dan, X.-M. and Luo, X.-C. (2023). Synergic chitin degradation by *Streptomyces* sp. SCUT-3 chitinases and their applications in chitinous waste recycling and pathogenic fungi biocontrol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 225, 987-996. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.161>
- Zhu, G., Ding, W., Zhao, H., Xue, M., Chu, P. and Jiang, L. (2023). Effects of the Entomopathogenic Fungus *Mucor hiemalis* BO-1 on the Physical Functions and Transcriptional Signatures of *Bradysia odoriphaga* Larvae. *Insects*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/insects14020162>
- Ziedan, E.-S. H. E., Farrag, E. S. H. and Sahab, A. F. (2013). First record and preliminary evaluation of *Mucor hiemalis* as biocontrol agent on inflorescence brown rot incidence of date palm. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46(5), 617-626. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.749695>

MATERIAL SUPLEMENTARIO.

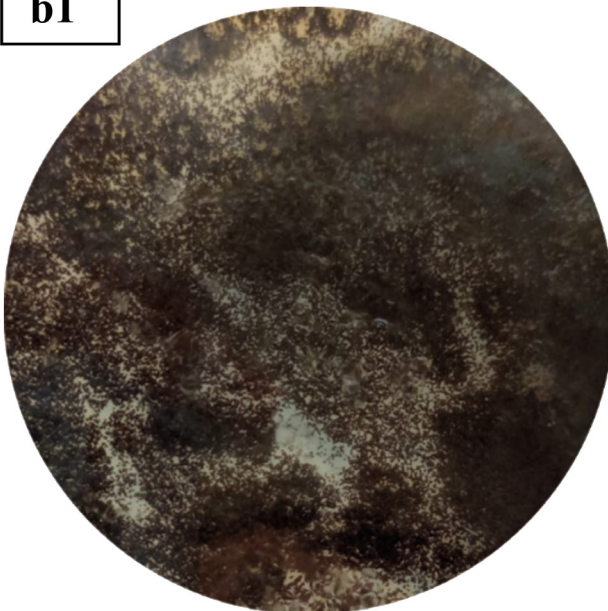
a1



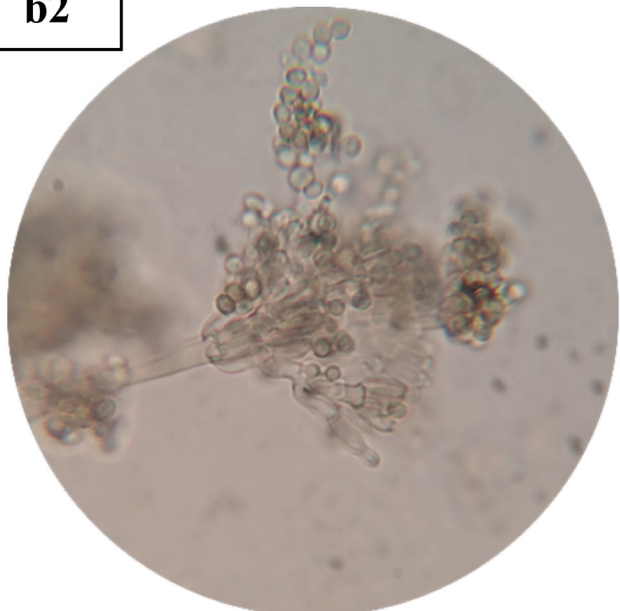
a2



b1



b2



S1. Observación macroscópica y microscópica de M39S y M23E (*Aspergillus niger* en temporada seca) o M3E (*Aspergillus niger* en temporada lluviosa). a1. Observación macroscópica de *Penicillium chrysogenum*: colonias puntiformes elevadas con apariencia aterciopelada y polvorienta, esporulación abundante y coloración verde. a2. Morfología microscópica: hifas hialinas septadas, conidioforo con metula, fialide y conidios. b1. Observación macroscópica: colonias planas con apariencia granulosa y borde irregular de color negro. b2. Morfología microscópica: conidioforos lisos con fialides y conidios globosos con coloración marrón. y al final la figura.