



Control *in vitro* e *in vivo* de *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* con biofungicidas en frutos de banano orgánico

In vitro and *in vivo* control of *Thielaviopsis paradoxa* and *Colletotrichum musae* with biofungicides on organic banana fruits

René Aguilar-Ancota^{1*}; Silverio Apaza-Apaza²; Edgar Maldonado D.¹; Yuri H. Calle-Cheje³; Robert Rafael-Rutte⁴; Kenny R. Montalvo M.⁵; Mercedes M. More-Yarleque¹; Ricardo Chávez C.¹; Pierina L. Chuquicusma C.¹; Arturo Morales-Pizarro¹

1 Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura, Perú.

2 Universidad Nacional del Altiplano. Av. Floral 1153. Puno. Perú.

3 Universidad Católica Sedes Sapientiae, Campus Km 159 Panamericana Norte - Mazo Huaura. Lima. Perú.

4 Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Sector 3 Grupo 1A 03 (Av. Central y Av. Bolívar) Villa El Salvador C.P. 15834, Lima. Perú.

5 Universidad Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, Pernambuco. Brasil.

* Autor corresponsal: raguilara@unp.edu.pe (R. Aguilar-Ancota).

ORCID de los autores:

R. Aguilar-Ancota: <https://orcid.org/0000-0002-3965-6096>

E. Maldonado D.: <https://orcid.org/000-0003-0030-3960>

R. Rafael-Rutte: <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>

M. M. More-Yarleque: <https://orcid.org/0000-0003-1732-1508>

P. L. Chuquicusma C.: <https://orcid.org/0009-0001-7492-1289>

S. Apaza-Apaza: <https://orcid.org/0000-0003-1279-9342>

Y. H. Calle-Cheje: <https://orcid.org/000-0001-5802-1101>

K. R. Montalvo M.: <https://orcid.org/0000-0003-4403-4360>

R. Chávez C.: <https://orcid.org/0009-0009-3468-0706>

A. Morales-Pizarro: <https://orcid.org/0000-0003-3966-6689>

RESUMEN

Piura es la región con mayor producción de banano orgánico en el Perú; sin embargo, la enfermedad post cosecha de la pudrición de la corona ha generado grandes pérdidas económicas. Por lo cual, se planteó los siguientes objetivos: evaluar la eficacia de biofungicidas *in vitro* e *in vivo* para el control de esta enfermedad. Los productos usados fueron: extracto de orégano, ácido cítrico; ácido ascórbico, bioflavonoides; biofertilizante y aceite del árbol de té. *In vitro* se utilizó el método del "medio envenenado". *In vivo*, se inocularon a frutos con suspensiones de conidias a 1×10^4 UFC mL⁻¹ de los fitopatógenos *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae*. Se prepararon los biofungicidas según la dosis comercial. Se aplicaron los productos y se inocularon los hongos con asperjadores manuales. Los clústeres de banano con tratamiento se embalaron en cajas de cartón de 18,4 kg y fueron embaladas incubándose a 13 °C durante 18 días y 4 días en cámara de maduración con gas etileno. En *in vitro* los biofungicidas: extracto de orégano (1450 ppm) y ácido cítrico (2825 ppm) obtuvieron 100% inhibición en el crecimiento del micelio de *T. paradoxa* y *C. musae*. En *in vivo* los frutos el menor índice de severidad lo fue para el biofungicida extracto de cítricos (4275 ppm) registrándose 0,0% frente a *T. paradoxa* y *C. musae*.

Palabras clave: *Thielaviopsis paradoxa*; *Colletotrichum musae*; pudrición de la corona; biofungicidas; severidad.

ABSTRACT

Piura is the region with the largest organic banana production in Peru; however, the post-harvest disease crown rot has generated large economic losses. Therefore, the following objectives were raised: to evaluate the efficacy of biofungicides *in vitro* and *in vivo* for the control of this disease. The products used were: oregano extract, citric acid; ascorbic acid, bioflavonoids; biofertilizer and tea tree oil. *In vitro*, the "poisoned medium" method was used. *In vivo*, fruits were inoculated with conidial suspensions at 1×10^4 CFU mL⁻¹ of the phytopathogens *Thielaviopsis paradoxa* and *Colletotrichum musae*. The biofungicides were prepared according to the commercial dose. The products were applied, and the fungi were inoculated with manual sprayers. The banana clusters with treatment were placed in 18,4 kg cardboard boxes and packed, incubating at 13 °C for 18 days and 4 days in a maturation chamber with ethylene gas. *In vitro*, the biofungicides: oregano extract (1450 ppm) and citric acid (2825 ppm) obtained 100% inhibition in the growth of the mycelium of *T. paradoxa* and *C. musae*. *In fruits*, the lowest severity index was for the citrus extract biofungicide (4275 ppm), registering 0,0% against *T. paradoxa* and *C. musae*.

Keywords: *Thielaviopsis paradoxa*; *Colletotrichum musae*; crown rot; biofungicides; severity.

Recibido: 12-12-2023.

Aceptado: 06-02-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El banano *Musa* spp. L. pertenece a la familia-Musaceae y al orden-Zingiberales, y es originario del Sudeste de Asia desarrollándose en regiones tropicales y subtropicales en más de 150 países en el mundo (Galecio-Julca et al., 2020; Aguilar-Ancota et al., 2021a; Ayres, 2022). Este fruto tiene un gran valor nutricional por su alto contenido de hidratos de carbono y sales minerales como Mg, Fe y Zn; así como, K, vitaminas A, B1, B2, B6 y C (Souza et al., 2017; Cândido et al., 2022).

El 2021, se han reportado una producción mundial de 124,9 Millones de toneladas (Mt), siendo la India el principal productor con 32 (Mt), seguido de China (11,6 Mtn), Indonesia (8 Mtn), Brasil (6,7 Mtn), Ecuador (6,4 Mtn) (FAO, 2023). Este cultivo tiene gran importancia económica y social en países en desarrollo como: Perú, Ecuador, Colombia y Brasil (Donato et al., 2021).

El Perú se desarrollan alrededor de 160 mil hectáreas (mha) entre bananos y plátanos, el 70% de la producción nacional se centra en la región amazónica. El 93% de la producción de banano orgánico, se centra en la región Piura con 9,5 mil hectáreas (mha) y un rendimiento de 13,9 t/ha seguido de Tumbes (1 214,60 ha), Lambayeque (3150 ha) y La Libertad (192,93 ha) (DRAT, 2021; MINAGRI, 2020, Rafael et al., 2022). Este cultivo permite generar bolsas de empleo y beneficios monetarios a los pequeños agricultores. En Piura, el "Valle del Chira" es la principal zona productora de banano orgánico, la cual le otorga las condiciones agro climáticas adecuadas que requiere el cultivo para su desarrollo, como una temperatura media de 26-28 °C, humedad relativa 70%-80%, (Matos et al., 2019; Távara, 2020).

Los principales mercados de destino son: Países Bajos con 30% de participación; Panamá con 20% y los Estados Unidos con 14% (AGROPERU, 2022). No obstante, frente a esta perspectiva positiva, el cultivo

presenta importantes enfermedades como: la necrosis en los haces vasculares del pseudotallo causados por los patógenos: *Fusarium oxysporum*, *F. verticillioides* y *F. solani* (Aguilar-Ancota et al., 2021a) y la pudrición blanda causada por bacterias patogénicas: *Pectobacterium chrysanthemi* y *P. carotovorum* subsp. *Carotovorum* (Aguilar-Ancota et al., 2021b); sin embargo, en la etapa de postcosecha se presenta una enfermedad de suma importancia económica en la comercialización del fruto como es la pudrición de la corona en el racimo de banano causada por un complejo de hongos como: "*Colletotrichum musae*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Thielaviopsis paradoxa*, y *Fusarium verticillioides*" (Aguilar et al., 2013; Chero, 2020). La pudrición de la corona afecta la calidad del fruto limitando de esta manera su aceptación por parte del consumidor, y su comercialización; ya que el producto no es exhibido en los supermercados de destino, causando importantes pérdidas económicas tanto a los agricultores como a los comercializadores (Chero, 2020; Kumah et al., 2020). Al ser un producto orgánico, se ve limitado y prohibido el uso de agroquímicos (fungicida). En investigaciones realizadas por Dias et al. (2022) y Hou et al. (2020), reportan el uso de extractos vegetales y aceites esenciales obtenidos a partir de plantas los cuales inhiben la germinación de las conidias y el desarrollo micelial del patógeno, reduciendo de esta manera la severidad del patógeno en frutos de post cosecha atacados con *C. lindemuthianum*. Por otro parte, los productos de origen vegetal no causan un impacto negativo en el medio ambiente, salud humana y en la salud de la planta y en el suelo. Por lo cual, se propuso realizar esta investigación cuyos objetivos son: evaluar la eficacia *in vitro* e *in vivo* de los biofungicidas comerciales frente a *T. paradoxa* y *C. musae*, patógenos relacionados con la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico.

METODOLOGÍA

Lugar de ejecución

La fase *In vitro* del ensayo se efectuó en el "laboratorio de Fitopatología del departamento de Sanidad Vegetal, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura-UNP" con latitud 5°10' 49.14"S y longitud 80°37' 5.84"W. La fase *In vivo* en frutos se

llevó a cabo en la Cooperativa ASPROSOL-Asociación de Productores Orgánicos Solidarios Manuel Bruno Suarez, distrito de La Matanza, Provincia de Morropón; situada geográficamente entre las coordenadas 5° 12' 23" de latitud sur y 80° 14'59" latitud oeste (Figura 1).

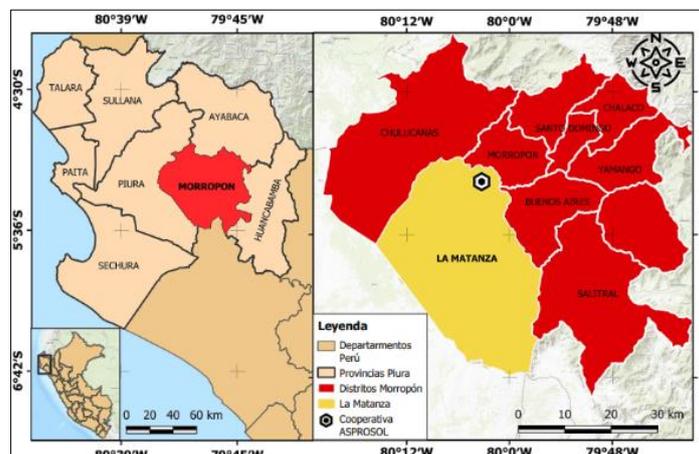


Figura 1. Ubicación georreferenciada de "la Cooperativa ASPROSOL, distrito de La Matanza".

Ensayo *in vitro* de biofungicidas

Se usó la técnica del “medio envenenado” (French & Hebert 1980) para evaluar la eficacia *in vitro* de los biofungicidas. Se preparó para cada tratamiento erlenmeyers conteniendo 100 mL de medio PDA (papa dextrosa agar) a punto de plaqueo (50 °C) homogenizando la mezcla con su respectivo tratamiento (Tabla 1). Una vez solidificado el medio, se sembró un disco de agar de 0,6 mm de diámetro colonizado con micelio del patógeno. Los patógenos del estudio son: *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* fueron proveídas por la Micoteca del “Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía”, UNP. Se realizaron 4 repeticiones (1 repetición = 1 placa) por cada dosis de trabajo. Se empleó un testigo para cada patógeno sembrado en su respectiva placa de petri conteniendo PDA sin los biofungicidas, incubándose a 25 °C ± 1° durante 5 a 8 días (Pasiche, 2018). La eficacia de control de los patógenos se evaluó mediante la inhibición del crecimiento (PIC) micelial del hongo empleando la fórmula: $PIC = ((C-T)/C) * 100\%$, donde T (crecimiento micelial del patógeno por tratamiento) y C (crecimiento micelial del testigo).

Tabla 1

Biofungicidas y concentraciones empleadas *in vitro* en estudio

Biofungicidas	Concentración (ppm de IA)
Extracto de orégano	725
Extracto de orégano	1450
Ácido cítrico	1425
Ácido cítrico	2825
Ácido ascórbico, Bioflavonoides	4864
N, Ca y B	6875
Aceite de árbol de té	11,13
Testigo	Agua destilada

Para las evaluaciones, en cada placa se trazaron dos líneas perpendiculares, registrándose el crecimiento micelial en dos lados (a-b y c-d) (Figura 2). Se hicieron mediciones diarias, hasta que el testigo cubrió por completo la placa petri.

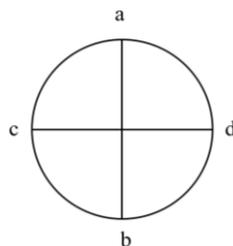


Figura 2. Cruz trazada en la base de la placa de petri para realizar las evaluaciones del desarrollo micelial.

Análisis estadístico de datos

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con siete tratamientos y un testigo. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de rango múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$) se empleó el software de análisis estadístico Statistical Analysis Systems 5.0 (SAS).

Ensayo *in vivo* en frutos

Preparación de inóculo fúngico

Placas de Petri con PDA colonizados con los patógenos *T. paradoxa* y *C. musae* con 7 a 10 días de crecimiento, se agregó 10 mL de ADE (agua destilada estéril), con

ayuda de una espátula Drigalsky se desprendieron las conidias, filtrándolo cada patógeno sobre un algodón estéril, colocado dentro de un embudo de vidrio para separar los restos de micelio y obtener sólo la suspensión de conidias, la concentración empleada fue de 10^4 UFC mL⁻¹ (Pasiche, 2018; Chero, 2020).

Biofungicidas y concentración

En la Tabla 2 se observan los tratamientos y las concentraciones. Cada concentración de los biofungicidas se preparó en un vaso de vidrio de 200 mL conteniendo agua estéril. La suspensión de cada biofungicida se depositó en asperjadores manuales.

Inoculación de hongos y aplicación de biofungicidas

Clústers de banano en madurez fisiológica fueron otorgados por la Cooperativa ASPROSOL, los cuales fueron lavados y secados a temperatura ambiente; posteriormente, los frutos fueron inoculados con una suspensión de conidias a 10^4 UFC mL⁻¹ con los patógenos mencionados. Además, los tratamientos (Tabla 2) fueron agregados con ayuda de un asperjador manual. Los frutos de banano se embalaron en bolsas polypak dentro cajas de cartón de 18,4 kg. Las cajas pasaron a incubación en una cámara de refrigeración a 13°C durante 18 días y en cámara de maduración con gas etileno durante 4 días.

Tabla 2

Biofungicidas para el tratamiento de frutos para el control de *T. paradoxa* y *C. musae*

Biofungicidas	Concentración (ppm)
Extracto de orégano	2175
Ácido cítrico	4275
Biofertilizante (N, Ca y B)	13750
Extracto de orégano + N, Ca y B	1450 + 6855
Ácido cítrico + N, Ca y B	2850 + 6855
Aceite de árbol de té	16,69
Ácido ascórbico, bioflavonoides	9120
Testigo	<i>T. paradoxa</i>
Testigo absoluto	Agua potable

Evaluación de severidad

Se evaluó la severidad de la enfermedad a los 22 ddi (días después de la inoculación) según Douglas et al. (1997), con las siguientes características: grado 0 = sin pudrición de la corona del fruto, grado 1= micelio visible en la corona, grado 2 = micelio cubriendo enteramente la corona e iniciando una decoloración, grado 3 = necrosis de la corona en un 40%, grado 4 = necrosis de la corona en un 80%, grado 5 = corona necrótica sin infección de pedicelos, grado 6 = corona totalmente con pudrición, pedicelos y parte de la cáscara del fruto con necrosis. Con los datos obtenidos se calculó Índice de Severidad (IS) (Mont, 2002).

$$IS (\%) = \left[\frac{\sum(n)(v)}{(CM)N} \right] 100\%$$

Donde n: número de frutos; v: grado de severidad; CM: categoría mayor; N: número total de frutos evaluados.

Análisis estadístico de datos

Se realizó un DCA (Diseño Completamente al Azar) con nueve tratamientos y ocho repeticiones (8 clusters de 4 a 5 dedos). Para calcular el ANVA y la prueba de rango múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$) se empleó el software de análisis estadístico Statistical Analysis Systems 5.0 (SAS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de biofungicidas *in vitro*

El extracto de orégano (1450 ppm) y ácido cítrico (2825 ppm) fueron significativamente superior a los demás tratamientos, mostrando un PIC de 100% frente a *T. paradoxa* y *C. musae* (Tabla 3, Figura 3 y 4).

Tabla 3

Inhibición del crecimiento del micelio de *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* *in vitro*

Biofungicidas	Inhibición (%)	
	<i>T. paradoxa</i>	<i>C. musae</i>
Extracto de orégano	91,11 ab	68,33 b
Extracto de orégano*	100 a	100 a
Ácido cítrico	85,22 bc	100 a
Ácido cítrico*	100 a	100 a
Ácido ascórbico, Bioflavonoides	48,80 d	24,44 d
Biofertilizante	74 c	72,77 b
Aceite de árbol de té	18,33 e	53,00 c
Testigo	0,00 f	0,00 e
CV	13,36 %	14,46 %

*= Dosis alta de biofungicidas.

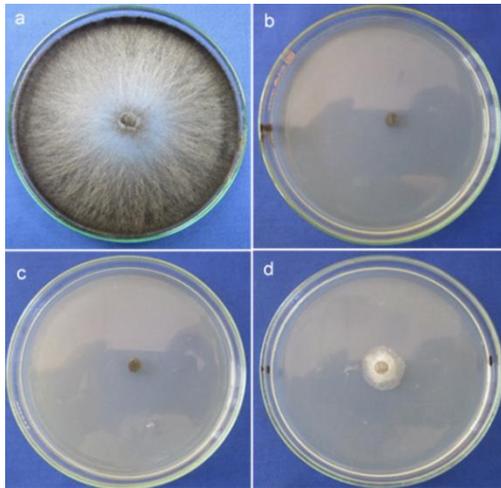


Figura 3. PIC (porcentaje de inhibición del crecimiento) de *T. paradoxa* *in vitro* a) Testigo b) Extracto de orégano* (1450 ppm), c) ácido cítrico a 2825 ppm y d) Extracto de orégano (725 ppm) inhibieron entre 91.11 % y 100%.

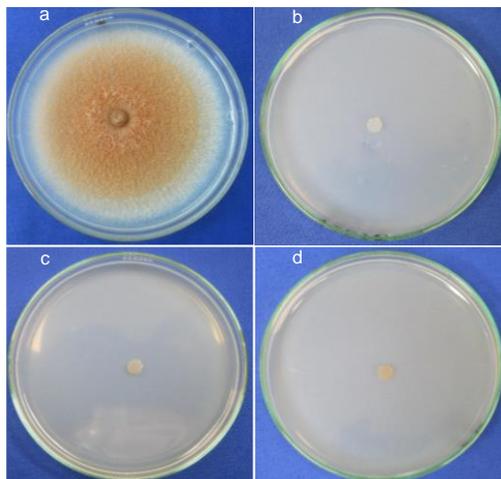


Figura 4. PIC (porcentaje de inhibición del crecimiento) del hongo *Colletotrichum musae* a) Testigo b) extracto de orégano (1450 ppm), c) y d) ácido cítrico (1425 ppm y 2825 ppm) inhibieron al 100 %.

Índice de Severidad (IS %) en frutos

En la Tabla 4 el tratamiento con ácido cítrico a 4275 ppm registró el menor Índice de Severidad con 0% frente a los hongos *T. paradoxa* y *C. musae* (Figuras 5 y 6). Los tratamientos con el biofertilizante (N, Ca y B) (13750 ppm) y ácido cítrico + biofertilizante N, Ca y B (2850 ppm + 6855 ppm) alcanzaron 6,25 y 10,42% de IS respectivamente frente al patógeno *T. paradoxa* y frente a *C. musae* el tratamiento Ácido ascórbico, Bioflavonoides (9120 ppm) registró 16,67% de IS, superando significativamente ($p \leq 0,05$) al resto de los tratamientos incluido a los testigos que alcanzaron 100% de IS (Figuras 7 y 8). En el tratamiento Testigo Absoluto, los frutos no evidenciaron ningún síntoma de pudrición.

Tabla 4

Eficacia de diferentes biofungicidas sobre el Índice de Severidad de la enfermedad en frutos causadas por *T. paradoxa* y *C. musae*

Biofungicidas	Índice de severidad (%)	
	<i>T. paradoxa</i>	<i>C. musae</i>
Extracto de orégano	16,67 c	35,42 bc
Ácido cítrico	0,00 a	0,00 a
Biofertilizante	6,25 a	18,75 ab
Extracto de orégano + Biofertilizante	89,58 d	50,00 c
Ácido cítrico + Biofertilizante	10,42 ab	20,83 abc
Aceite de árbol de té	35,42,42 c	23,82 abc
Ácido ascórbico, Bioflavonoides	33,33 bc	16,67 ab
Testigo	100 d	100 d
Testigo absoluto	0,00 a	0,00 a
C.V.	23,52 %	31,58 %



Figura 5. Efecto del tratamiento con ácido cítrico (4275 ppm) con índice de Severidad (IS) de 0,0% inoculadas con el hongo *T. paradoxa*.



Figura 6. Efecto del tratamiento con ácido cítrico (4275 ppm) con Índice de Severidad de 0,0% inoculadas con *C. musae*.



Figura 7. Tratamiento testigo, inoculados con el hongo *T. paradoxa* registrándose Índice de Severidad al 100%.



Figura 8. Testigo inoculado con el hongo *C. musae* observándose Índice de Severidad al 100%.

Resultados similares por Bhutia et al. (2016) quienes demostraron que los compuestos activos de algunas plantas como: α -curcumeno y zingerona del gengibre inhibía más del 80% el crecimiento de *C. musae* a una concentración de 5 mg/mL cuando en evaluaciones en *in vitro* y en *in vivo* los frutos de banano tratados con el extracto mostraron un bajo porcentaje de severidad de antracnosis de 2,2 después de cinco días de almacenamiento, en comparación con el testigo no tratado, que obtuvo una mayor puntuación de 4,8. Este efecto inhibitorio de los biofungicidas evaluados en este estudio frente a *T. paradoxa* y *C. musae*, posiblemente se deba a los compuestos fitoquímicos que poseen, los cuales han sido confirmados por varias investigaciones. Se indica que las hojas de *O. vulgare* posee compuestos bioactivos monoterpenos como el thymol, carvacrol, y p-cimeno) destruyen la membrana celular, aumentan la permeabilidad de la célula, alteran la capacidad reproductiva y germinativa del patógeno (Papajani et al., 2015; Hou et al., 2020. En *Citrus* sp. los frutos y hojas presentan sustancias antimicrobianas en altas concentraciones, como: aceites esenciales, compuestos fenólicos como; etanol y metanol que ocasionan la inhibición de la germinación de las conidias (Irkin et al., 2015; Iglesias et al., 2017).

Tamayo-España et al. (2016) indican que el orégano posee metabolitos con la capacidad de impedir el desarrollo micelial del patógeno y la

producción de conidias en concentraciones entre 50 y 40% a partir de extractos obtenidos de planta fresca como seca.

Según Vilaplana et al. (2018) los bananos tratados con 500 μ L/L de aceite de tomillo mostraron una disminución de la pudrición del 46,4% en comparación con el fungicida Imazalil, que solo mostró el 29,4%. Los autores afirman que el efecto sinérgico del timol y el carvacrol del aceite de tomillo provocó el deterioro del tejido celular del hongo.

Meng et al. (2015) reportaron que el extracto de *Camellia semiserrata*, tiene una actividad fungicida, controló en *in vitro* el crecimiento de *C. musae*, ocasionando inhibición directa de la tasa de germinación de las conidias, ruptura de los micelios y elongación del tubo germinativo en un 88,7% y 68,4% respectivamente a 0,5 mg/mL, y una inhibición completa del 100% por encima de 1 mg/mL.

Sanit (2020) evaluó el efecto treinta y cuatro extractos vegetales crudos, y obtuvo a *O. vulgare* inhibiendo el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en 100% en todas las concentraciones.

Park et al. (2017) demostraron a nivel *in vitro* las actividades antifúngicas de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*), canela (*Cinnamomum verum*), y tomillo (*Thymus vulgaris*) en la germinación de conidias y el crecimiento micelial de *F. oxysporum*.

Los extractos de orégano contienen fenoles y tienen potencial para ser utilizados en la agricultura sostenible frente a *C. lindemuthianum*, cuyos resultados *in vivo* se demostró la supresión de la antracnosis en judía común *Phaseolus vulgaris* L. (Dias et al., 2022).

Burbano-David et al. (2021) demostraron que la aplicación del extracto vegetal de *Origanum vulgare* disminuyó la esporulación y crecimiento micelial de aislamientos de *Phytophthora infestans* a una concentración de 10 mg mL⁻¹. La actividad antifúngica de *Origanum vulgare* es el resultado de poseer terpenos como el carvacrol y timol, cuya acción implica un grupo hidroxilo presente en la estructura del metabolito, liberando protones en grandes cantidades. Esto genera la ruptura de las sustancias lipofílicas de la membrana, alteración del pH y la gradiente de K⁺, ocasionando la disminución del ATP intracelular, deshidratación y muerte de la célula.

Andrade-Bustamante et al. (2018) encontraron que el uso de extracto de plantas como orégano (*Lippia palmeri*) a 0,05% y cachanilla (*Pluchea sericea*) a 1,0% inhibieron el crecimiento micelial de *Aspergillus niger*, en un 93% y 95% respectivamente, en frutos de tomate. Dicho efecto es originado por la presencia de sustancias secundarias con actividad antifúngica como el Timol, Carvacrol, p-cimeno y cineol.

Ojeda et al. (2022) en su investigación se comprobó la acción sinérgica de la combinación de ácido ascórbico al 67%, ácido cítrico al 16,5% y ácido láctico al 16,5%, con un porcentaje de reducción del crecimiento micelial de 100% sobre los hongos *F. verticillioides*, *A. fumigatus* y *A. flavus* a una dosis de 1000 mg L⁻¹. Saucedo (2011) menciona que dentro de los ácidos orgánicos se encuentra el

ácido benzoico y ácido cítrico, estos actúan como antimicrobianos naturales que influyen en el balance ácido-base de los agentes patógenos. Los hongos crecen normalmente a un pH neutro y sus sistemas biológicos dependen de ese equilibrio; sin embargo, los ácidos orgánicos mediante la destrucción de estructuras microbianas como los fosfolípidos, proteínas y ácidos nucleicos conllevan a alterar el pH y romper la homeostasis de estos agentes dañinos.

Por otro lado, el ácido ascórbico es un bioactivo con propiedades microbianas, cuyo efecto se debe a su capacidad de retener proteínas y metales, alterando el funcionamiento de agentes fitopatógenos. Además, en su composición se encuentran los taninos y otros compuestos fenólicos como la galanginina que afecta la ADN girasa de estos

microorganismos (Siller-Sánchez, Alvarez-Pérez, Aguilar, & Rojas, 2013).

De Dios-Delgado (2006) demostraron en plantas de lechuga inoculadas con mildiu *Bremia lactucae*, al aplicarse fertilizantes foliares a base de N y Ca a una concentración de 0,5% y 1% mejoraron la calidad postcosecha mediante el retardo del envejecimiento del color de las hojas y la reducción de lesiones ocasionadas por el patógeno en un 10%. La aplicación de biofertilizante a base macro y micronutrientes predispone a mejorar sus defensas contra el ataque de hongos fitopatógenos, ya que aporta una formulación balanceada para que el cultivo realice sus actividades sin ni una deficiencia de nutrimentos. El Ca es uno de los elementos que genera rigidez de la pared de las células, alargando la vida postcosecha de los frutos.

CONCLUSIONES

A nivel *in vitro* los tratamientos con extracto de orégano (1450 ppm) y ácido cítrico (2825 ppm) obtuvieron PIC de 100% frente *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* y a nivel *in vivo* en

frutos de banano el tratamiento con ácido cítrico (4275 ppm) registró el menor Índice de Severidad con 0,0%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Piura y a la Cooperativa ASPROSOL - La

Matanza, por el apoyo logístico para el desarrollo del presente estudio de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-Alla, M., EL-Gamal, N., El-Mougy, N., et al. (2014). Post-harvest treatments for controlling crown rot disease of Williams banana fruits (*Musa acuminata* L.) in Egypt. *Plant Pathology & Quarantine*, 4(1), 1-12.
- AGROPERÚ 2022. Exportaciones de banano orgánico se contrajeron 20% en el primer trimestre (agroperu.pe) 15 de junio de 2022.
- Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., et al. (2021a). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256.
- Aguilar-Ancota, R., Ruiz, W.R., Morales-Pizarro, A., et al. (2021b). Pudrición blanda en el pseudotallo de banano orgánico (*Musa* sp): sintomatología, caracterización cultural y bioquímica, patogenicidad y alternativas de manejo. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 571-578.
- Aguilar, R., García, R., & Dulanto, J. (2013). Hongos asociados a la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico (*Musa* spp. L.) en Piura. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(1), 81-88.
- Ayres, M.I.D.C. (2022). Avaliação da sustentabilidade agroecológica dos sistemas agroextrativistas do açaí-do-amazonas (*Euterpe precatoria* Martius) em Codajás. Tese de doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Brasil. 190 pp.
- Bhutia, D.D., Zhimo, Y., Kole, R. et al. (2016). Antifungal activity of plant extracts against *Colletotrichum musae*, the post harvest anthracnose pathogen of banana cv. Martaman. *Nutrition and Food Science*, 46(1), 2-15.
- Cândido, H.T., Leonel, M., Leonel, S., et al. (2022). Green banana and ora-pro-nóbis mixed flours: nutritional and technological characteristics. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2022081.
- Chero, K. (2020). Control de *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* asociado a la pudrición de la corona del banano y detección de sus fuentes de inóculo. Tesis de titulación. Universidad Nacional de Piura. Perú. 64 pp.
- Dadrasnia, A., Maikudi, U.M., Omar, R., et al. (2020). Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32, 2336-2342.
- Dirección Regional de Agricultura Tumbes-DRAT. (2021). Oficina de Estadística Agraria. Disponible en: <https://regiontumbes.gob.pe/servicios/tupa/region-agricultura/>.
- Donato, S.L., Borém, A., & Rodrigues, M.G. (2021). Banana: do plantio à colheita. Belo Horizonte: EPAMIG, 376 pp.
- Douglas, M.; Sutton, T.; Blankenship, S.; et al. (1997). Hongos asociados a la pudrición de la corona del banano. En informe anual 1996 CORBANA, Costa Rica. 67-69.
- Dias, da S. V., Ramos N. de S. W., Wendland, A., et al. (2022). Actividad antifúngica de los extractos fenólicos de *Origanum vulgare* y *Rosmarinus officinalis* frente a *Colletotrichum lindemuthianum* y en la supresión de la antracnosis en frijol común. *Research, Society and Development*, 11(9), e47911932145.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2023. Crops and livestock products 2021. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2021). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/pdf/009/a0750s/a0750s00a.pdf>.
- French, E. R., & Hebert, T. T. (1980). Métodos de investigación fitopatológica. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 277 pp.
- Galecio-Julca, M., León-Huamán, K. L., & Aguilar-Ancota, R. (2020). Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa* spp. L.). *Manglar*, 17(4), 301-306.
- Hou, H., Zhang, X., Zhao, T., et al. (2020). Effects of *Origanum vulgare* essential oil and its two main components, carvacrol and thymol, on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *PeerJ*, 8, e9626.
- Iglesias, D., Ojito-Ramos, K., Linares-Rivero, C., et al. (2017). Actividad antifúngica *in vitro* de extractos de hojas de *Citrus* spp. frente a *Stemphyllium solani* Weber. *Centro Agrícola*, 44(3), 5-12.
- Irkin, R., Dogan, S., & Degirmenoglu, N. (2015). Phenolic content, antioxidant activities and stimulatory roles of citrus fruits on

- some lactic acid bacteria. *Archives of Biological Sciences*, 67(4), 1313-1321.
- Kumah, P., Nunoo, L.E., & Bismark, O. (2020). Anti-microbial effect of cocoa leaf extracts on *Botryodiplodia theobromae*; leading causative organism of crown rot disease of banana (*Musa acuminata*). *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 7(3), 40-50.
- Matos, A. P., Vasconcelos, J. A., & Simão, A.H. (2019). Práticas de cultivo para a cultura da banana no estado do Tocantins. Embrapa mandioca e fruticultura, Brasília, Brasil. 43 pp.
- Meng, X., Li, J., Bi, F., et al. (2015). Antifungal activities of crude extractum from *Camellia semiserrata* Chi (Nanshancha) seed cake against *Colletotrichum musae*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium italicum* in vitro and in vivo fruit test. *The Plant Pathology Journal*, 31(4), 414-420.
- MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego. (2021). MIDAGRI coordina acciones en resguardo de más de 17 mil hectáreas de producción de banano y plátano en Piura. <http://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/midagri-coordina-acciones-en-resguardo-de-mas-de-17-mil-hectareas-de-produccion-de-banano-y-platano-en-piura/>
- Mont, R. M. (2002). Manejo integrado de enfermedades de las plantas. Ministerio de Agricultura. Servicio Nacional de Sanidad Agraria SENASA). Lima. Perú. 210 pp.
- Papajani, V., Haloci, E., Goci, E., et al. (2015). Evaluation of antifungal activity of *Origanum vulgare* and *Rosmarinus officinalis* essential oil before and after inclusion in B-cyclodextrine. *Int. Pharm. Pharm. Sci.* 7, 270-273.
- Pasiche, A. L. (2018). Control de hongos asociados a la pudrición de la corona y detección del inóculo primario en frutos de banano orgánico de exportación en Piura. Tesis de titulación. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Park, J. Y., Sim, S. H., Kim, N. H., et al. (2017). Differential inhibitory activities of four plant essential oils on in vitro growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *fragariae* causing Fusarium wilt in strawberry plants. *The Plant Pathology Journal*, 33(6), 582-588.
- Rafael-Rutte, R., Zavala, L., Maldonado, A. et al. (2022). Characterization of rhizome and pseudostem wet rot of organic banana (*Musa* sp.) in Piura, Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 38(2), 176-188.
- Sanit, S. 2020. In vitro effects of some ethanolic crude extracts of medicinal plants against *Colletotrichum gloeosporioides*, The pathogen of anthracnose disease in chilli. *International Journal of Sciences*, 9(10), 17-24.
- Souza, G. L., Silva, D. F., Nietsche, S., et al. (2017). Bactérias endofíticas como bioinoculantes para mudas micro propagadas de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(2), 1-10.
- Tamayo-España, L. E., Ramirez-González, S. I., López-Báez, O., et al., (2016). Extractos por destilación de *Origanum vulgare*, *Tradescantia spathacea* y *Zingiber officinale* para el manejo de *Monilophthora roveri* de *Theobroma cacao*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5),1065-1076.
- Távora, H. M. (2020). Efectos del cambio climático en la productividad del banano orgánico en el Valle del Chira - Sullana - Piura. Tesis de master. Universidad de Piura, Perú. 116 pp.
- Vilaplana, R., Pazmiño, L., & Valencia-Chamorro, S. (2018). Control of anthracnose, caused by *Colletotrichum musae*, on postharvest organic banana by thyme oil. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 56-63.