

Efecto protector de *Pycnopus sanguineus* contra hongos fitopatógenos en plantas de jitomate y fresa

Ricardo Irving Pérez-López¹
Amparo Mauricio-Gutiérrez¹
Luis Josué Amaro-Leal¹
Manuel Huerta-Lara²
Conrado Parraguirre-Lezama³
Omar Romero-Arenas^{3,5}

1 Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio Val 1, carretera a San Baltazar Tetela km 1.7, San Pedro Zacachimalpa, Puebla, México. CP. 72960.

2 Departamento de Desarrollo Sustentable-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. CP. 72570.

3 Centro de Agroecología-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio Val 1, Carretera a San Baltazar Tetela km 1.7, San Pedro Zacachimalpa, Puebla, México. CP. 72960.

Autor para correspondencia: biol.ora@hotmail.com.

Resumen

La búsqueda de alternativas sostenibles a fungicidas sintéticos ha incrementado el interés por compuestos bioactivos de basidiomicetos, particularmente *Pycnopus sanguineus*. El presente estudio evaluó el efecto protector de extractos acuosos de *P. sanguineus* frente a dos fitopatógenos de importancia agrícola: *Botrytis cinerea* en fresa (*Fragaria ananassa*) y *Fusarium oxysporum* en jitomate (*Solanum lycopersicum*). Los ensayos se realizaron en condiciones controladas aplicando diferentes concentraciones de extracto (25-100 g L⁻¹). En fresa, mediante una escala de infección que se estableció *in vitro*, la severidad causada por *B. cinerea* se redujo significativamente en los tratamientos de mayor concentración (50 y 75 g L⁻¹), que disminuyeron el daño foliar en un 58 y 74%, respectivamente. En jitomate, los tratamientos con mayor concentración (50 y 100 g L⁻¹) promovieron una biomasa aérea similar a plantas no infectadas ($p = 0.05$), lo que evidencia un efecto positivo frente a *F. oxysporum*. No obstante, no se observaron diferencias significativas en biomasa radicular, lo que indica una limitada actividad sistémica o baja movilidad de los compuestos. Aunque estos hallazgos sean prometedores, se requiere optimizar las formulaciones y validar su eficacia en condiciones de campo.

Palabras clave:

Pycnopus sanguineus, control biológico, fitopatógenos, fungicidas sintéticos, metabolitos secundarios.

Introducción

La búsqueda de alternativas sostenibles a fungicidas sintéticos ha impulsado el interés por productos naturales con actividad antifúngica, entre ellos los extractos de hongos basidiomicetos ha cobrado una importante relevancia (Sivanandhan *et al.*, 2017; Waszczuk y Zapora, 2021). Sobre todo, aquellas especies degradadoras debido a su alta y compleja producción metabólica (Pinar y Rodríguez-Couto, 2024). En este sentido *P. sanguineus*, un hongo saprobio ampliamente distribuido en regiones tropicales y subtropicales incluido México (Téllez-Téllez *et al.*, 2016) ha destacado por su riqueza en metabolitos secundarios donde han sido identificados hasta 19 clusters biosintéticos en su genoma, todos ellos relacionados con la producción de metabolitos bioactivos como ácido clavarico, cinabarina, ácido cinabarico; así como, compuestos fenólicos y terpenoides (Lin *et al.*, 2020). Adicionalmente, su alta capacidad enzimática por medio de lacasas le permite una degradación lignocelulítica, particularmente eficiente, respaldando así su gran versatilidad metabólica (Saat *et al.*, 2014).

En el contexto agrícola se han evaluado sus principales pigmentos derivados como son la cinabarina, el ácido cinabarínico y la tramesanguina, reflejando una importante actividad antimicrobiana frente a bacterias tanto Gram positivas como negativas, entre las que se incluyen *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* (Smânia *et al.*, 1995; Smânia *et al.*, 2003). Formulaciones solubles basadas en extractos de *P. sanguineus* se han evaluado directamente para el control de pudrición temprana y mancha bacteriana en cultivos de jitomate como *Alternaria solani*, *Xanthomonas vesicatoria* (Assi *et al.*, 2017) y *Xanthomonas campestris* (Romero-Arenas *et al.*, 2021). En postcosecha, *P. sanguineus* es eficaz contra fitopatógenos relevantes como *Erwinia amylovora* y *Pectobacterium carotovorum* (Cruz-Muñoz, 2021).

En adición a su efectividad sobre bacterias fitopatógenas, estudios recientes demuestran que el extracto de este hongo puede inhibir significativamente el crecimiento *in vitro* de hongos fitopatógenos como *B. cinerea* y *F. oxysporum* (Pérez-López *et al.*, 2024), por lo que la evaluación de estos efectos a nivel *in vivo* resulta muy valiosa, debido al impacto comercial que estos hongos tienen sobre la producción de fresa y jitomate a nivel mundial (Hassan *et al.*, 2021; Heikal *et al.*, 2025). Adicionalmente se ha evaluado que el extracto de *P. sanguineus* presenta actividad nematocida y la capacidad de inducir respuestas de defensa en plantas (Brito *et al.*, 2025), ampliando su espectro de utilidad en un manejo integral de enfermedades y reduciendo con ello los riesgos ecológicos y sanitarios asociados a la utilización de productos sintéticos.

El estudio evaluó el potencial protector de extractos acuosos de *P. sanguineus* a diferentes concentraciones bajo condiciones controladas, contra infecciones causadas por *B. cinerea* mediante su severidad foliar en fresa y *F. oxysporum* mediante su impacto en la biomasa aérea y radicular de jitomate. Estas investigaciones permitirán ampliar el conocimiento sobre la utilización de recursos micológicos presentes en México dentro de estrategias de manejo integrado de enfermedades agrícolas, aportando nuevos hallazgos consistentes y promoviendo su aplicación práctica.

Materiales y métodos

Descripción de las cepas

Se utilizaron tres cepas caracterizadas y resguardadas en el Laboratorio de Fitopatología 204 del Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La cepa de *P. sanguineus* (Basidiomycota) se aisló de un ejemplar silvestre en las inmediaciones del estado de Puebla, identificada mediante caracterización morfo-anatómica y molecular, designada como la cepa MA-Ps1 y posteriormente registrada en el National Center for Biotechnology Information (NCBI) con el número de acceso OR622486.1. Las cepas de fitopatógenos correspondieron a *F. oxysporum* (MA-FC220) y *B. cinerea* (MA-BC20), aisladas de raíces y frutos de fresa y, registradas en el NCBI bajo los números de acceso OM473290.1 y OM473288.1 respectivamente.

Ensayos de tratamiento protector con *P. sanguineus*

Dos ensayos protectores se realizaron para evaluar el efecto de extractos de *P. sanguineus* contra infecciones de *B. cinerea* en fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) variedad 'Camino Real' y *F. oxysporum* en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad 'Río Grande'. En ambos casos se aplicaron extractos acuosos de cuerpos fructíferos obtenidos de la fructificación de la cepa MA-Ps1, pulverizados y diluidos a diferentes concentraciones, adicionalmente se reporta la concentración de cinabarina estimada derivada de (Pérez-López *et al.*, 2024), seguidos de la inoculación con el patógeno correspondiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos de ensayos para la aplicación de extractos acuosos de *P. sanguineus* como tratamiento protector contra *B. cinerea* y *F. oxysporum* sobre plantas de fresa y jitomate respectivamente.

Tratamiento	Ensayo protector contra <i>B. cinerea</i> en hojas de fresa (g L ⁻¹)	Ensayo protector contra <i>F. oxysporum</i> en plantas de jitomate (g L ⁻¹)	Cantidad de cinabarina estimada (g L ⁻¹)
Extracto 25%	25	25	1
Extracto 50%	50	50	2
Extracto 75%	75	-	3
Extracto 100%	-	100	4
Testigo positivo	Planta infectada sin tratamiento	Planta infectada sin tratamiento	-
Testigo negativo	Planta sin infección ni tratamiento	Planta sin infección ni tratamiento	-

En ambos ensayos las características de cultivo fueron las mismas: condiciones de invernadero con 8 h de luz, humedad de 60%, temperatura de 25-30 °C y sustrato esterilizado conformado de 70% por tierra de monte, 20% tierra negra, 5% arena y 5% perlita. El riego se realizó cada tercer día. Para el ensayo protector contra *B. cinerea* en hojas de fresa, un total de 225 plantas de fresa, cada una de 80 días de edad, se distribuyeron en cinco tratamientos con tres réplicas (25 plantas por réplica). Se estableció un índice de severidad *in vitro* utilizando hojas estériles cortadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% durante 5 min y colocadas en cajas de Petri.

Estas hojas fueron tratadas mediante una aspersión única con una solución de 5 ml de *P. sanguineus* a diferentes concentraciones (extracto al 25%, extracto al 50%, extracto al 75%) y posteriormente se les aplicaron 5 ml de suspensiones de *B. cinerea* a una concentración de 8×10^3 conidios ml⁻¹, así como un testigo positivo (*B. cinerea* sin tratamiento) y un testigo negativo (agua destilada estéril). La progresión del daño foliar se registró diariamente hasta alcanzar el 100% de severidad, definiendo severidad máxima como la presencia de hojas cloróticas y marchitas. El daño se analizó con el software Can-Eye V6.49 y los resultados se transformaron en porcentajes, para determinar el índice de severidad se utilizó el índice de Barremo, dado por la fórmula: $IS_{\text{Barremo}} = \sum(n_i \times v_i) / N$. Donde: n_i = número de hojas en la clase i ; v_i = valor de severidad de la clase i según Barremo (0, 1, 3, 5); y N = total de hojas evaluadas. Este índice permitió cuantificar el nivel de daño con base en categorías discretas de severidad (Cuadro 2).



Cuadro 2. Cuadro de severidad según índice Barremo.

Clase de severidad	Descripción del daño	Valor (v _i)
0	Hoja sin daño (verde sano)	0
1	Daño leve (<5%, manchas puntuales)	1
2	Daño moderado (5-25%, áreas cloróticas visibles)	3
3	Daño severo (>25%, hoja marchita y necrosada)	5

El ensayo concluyó cuando las hojas alcanzaron 100% de severidad, lo que permitió comparar la eficacia de los extractos contra el grupo control con agua esterilizada. Para el caso del estudio en jitomate, se emplearon 300 plantas de 120 días de edad, distribuidas en cinco tratamientos con seis repeticiones cada uno. A cada planta se le aplicaron dosis únicas de 20 ml del extracto de *P. sanguineus* a diferentes concentraciones directamente en el sustrato, mientras que los testigos recibieron el mismo volumen de agua destilada, sin adición de *P. sanguineus*. Una semana después de la aplicación de los extractos, las plantas fueron inoculadas con 20 ml de una suspensión de *F. oxysporum* (8×10^3 conidios ml⁻¹).

Dichas suspensiones se obtuvieron de cultivos en medio PDA con una semana de crecimiento y se ajustaron mediante diluciones seriadas hasta alcanzar la concentración deseada, utilizando recuentos de esporas en un hematocitómetro de Neubauer (Neubauer-imp®, Marienfeld, Alemania). Los testigos negativos recibieron únicamente agua destilada sin patógeno. Tres días posteriores a la inoculación, las plantas se extrajeron y separaron en parte aérea y radicular. Ambas fracciones se deshidrataron en estufa a 40 °C hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se registró la biomasa aérea seca (g) y biomasa radicular seca (g). La presencia del patógeno en ambos ensayos se confirmó mediante la expresión de síntomas característicos en las plantas y la observación microscópica de micelio y conidios.

Análisis estadístico

En ambos ensayos se realizó un análisis de varianza (Anova) de un solo factor ($\alpha = 0.05$) para evaluar diferencias en afectación foliar en fresa y biomasa en jitomate. Se aplicaron pruebas de Tukey para comparar la efectividad de los tratamientos. Los análisis se efectuaron mediante el software R v4.5.0.

Resultados y discusión

En el ensayo de infección por *B. cinerea* en hojas de fresa se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la severidad de la infección entre los tratamientos con distintas concentraciones del extracto y los testigos (Cuadro 3).

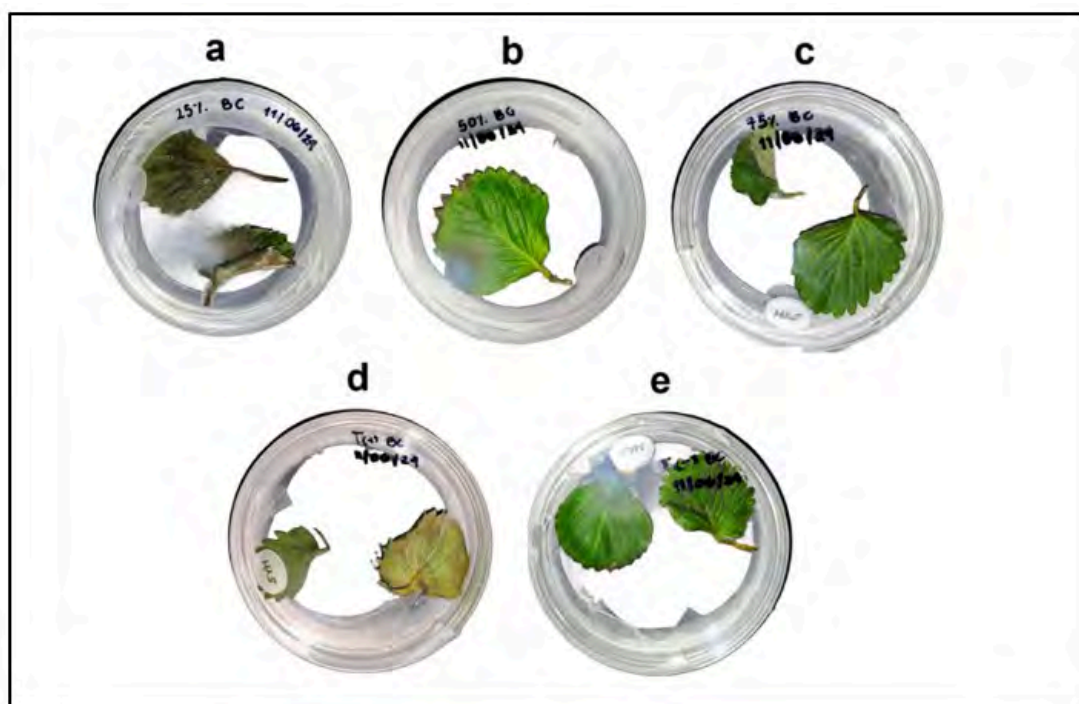
Cuadro 3. Análisis de varianza (Anova) para el porcentaje de severidad en plantas de fresa por parte de *B. cinerea* bajo tratamiento protector con *P. sanguineus* en diferentes niveles de concentración.

Tratamiento	Severidad promedio (%)	Clase de severidad	p # 0.05
Testigo positivo	87.1 ±5.2	3	a
Extracto 25%	62.5 ±4.6	3	a
Extracto 50%	36.2 ±3.8	3	b
Extracto 75%	22.4 ±2.9	2	b
Testigo negativo	0 ±0	0	c

DSH (Tukey, $p \leq 0.05$)= 14.72; CV (%)= 9.8. Valores promedio con la misma letra no representan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con las pruebas de Tukey.

Los tratamientos con extractos 50 y 75 g L⁻¹ redujeron significativamente la severidad del daño (36.2 y 22.4%, respectivamente), en comparación con el testigo positivo (87.1%), destacando un evidente efecto dependiente de la dosis (Figura 1), donde mayores concentraciones reducen la afectación foliar.

Figura 1. Ensayo de aplicación de extractos de *P. sanguineus* a diferentes concentraciones como tratamiento preventivo contra daño foliar en fresa causado por *B. cinerea*. Tratamientos: a) extracto al 25%; b) extracto al 50%; c) extracto al 75%; d) testigo positivo y e) testigo negativo.



De manera similar, en el ensayo de jitomate infectado con *F. oxysporum*, el Anova mostró diferencias significativas en la biomasa aérea entre tratamientos ($p \leq 0.05$), aunque no en la biomasa radicular (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza (Anova) para la biomasa aérea y radicular con relación a la afectación por *F. oxysporum* bajo tratamiento protector con *Pycnoporus sanguineus* en diferentes niveles de concentración.

Tratamiento	Biomasa aérea promedio (g)	$p \# 0.05$	Biomasa radicular promedio (g)	$p \# 0.05$
Testigo positivo	0.052 ± 0.011	c	0.022 ± 0.005	a
Extracto 25%	0.117 ± 0.022	a	0.049 ± 0.01	a
Extracto 50%	0.1 ± 0.018	b	0.039 ± 0.008	a
Extracto 100%	0.154 ± 0.025	b	0.069 ± 0.012	a
Testigo negativo	0.08 ± 0.017	b	0.037 ± 0.007	a

DSH (Tukey, $p \leq 0.05$): aérea= 0.028; radicular= 0.019; CV (%): aérea= 11.2; radicular= 14.6. Valores promedio con la misma letra no representan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con las pruebas de Tukey.

Los extractos al 50% y 100% expresaron valores de biomasa aérea estadísticamente comparables al testigo negativo, superando ampliamente al testigo positivo, lo que sugiere un efecto protector del extracto sutilmente observable (Figura 2). Sin embargo, la falta de diferencias en la biomasa radicular indica una limitada influencia del tratamiento en el sistema subterráneo.

Figura 2. Ensayo de aplicación de extractos de *P. sanguineus* a diferentes concentraciones como tratamiento preventivo contra marchitez en jitomate causado por *F. oxysporum*. Tratamientos: a) extracto al 25%; b) extracto al 50%; c) extracto al 75%; d) testigo positivo y e) testigo negativo.



Estos hallazgos confirman la acción antifúngica preventiva de *P. sanguineus* y concuerdan con estudios previos que atribuyen dicha actividad a metabolitos secundarios como la cinabarina y compuestos fenólicos (Elisashvili *et al.*, 2009; Patel *et al.*, 2009). En fresa, el tratamiento con el extracto de 75 g L^{-1} redujo en 74.3% la afectación foliar, lo que coincide con reportes sobre la fuerte actividad inhibitoria de la cinabarina y ácido cinabarínico frente a bacterias y hongos (Smânia *et al.*, 1995; Pineda-Insuasti *et al.*, 2017).

En jitomate, la recuperación de biomasa aérea en los tratamientos de 50 y 100% respalda la hipótesis de un efecto protector de dosis-dependiente, aunque limitado en raíces. La capacidad antifúngica observada se aproxima a valores reportados en medios PDA suplementados con extractos completos de *P. sanguineus*, donde *B. cinerea* resultó más sensible que *F. oxysporum* (Pérez-López *et al.*, 2024). Esto sugiere que los extractos crudos, al contener metabolitos diversos como ergosterol (Télez-Télez *et al.*, 2016), poliporinas (Rosa *et al.*, 2003), compuestos fenólicos y terpenoides (Teoh *et al.*, 2011), así como ácido clavarico y laccasas (Lin *et al.*, 2020), estos actúan sinérgicamente, superando la eficacia de compuestos aislados.

No obstante, la ausencia de efecto en biomasa radicular puede deberse a la limitada movilidad de los compuestos en tejidos subterráneos, un fenómeno previamente descrito para fungicidas de contacto (Agrios, 2005; Brent y Hollomon, 1995). Además, la microbiota del suelo puede acelerar la degradación de los compuestos, reduciendo su eficacia en la rizósfera (Cyco# *et al.*, 2017). Adicionalmente una mejor selección de procedimientos metodológicos como la infección de los patógenos por inoculación directa, o un registro más eficiente de la severidad, a través del cálculo de progreso de la enfermedad (Gayosso-Barragán *et al.*, 2021), también podrían influir en la evaluación de los resultados observados.

Cabe señalar que, además de los mecanismos de inhibición directa de membranas y estructuras hifales, estudios recientes sugieren que compuestos fenólicos de *P. sanguineus* podrían inducir resistencia sistémica en plantas (Lim *et al.*, 2024). Este mecanismo explicaría la similitud observada en algunos tratamientos con el testigo negativo. Resultados equivalentes se han descrito para extractos vegetales ricos en fenoles, como *Punica granatum* y *Salvia* spp., que han logrado inhibir a *F. oxysporum* en correlación a su contenido fenólico (Rongai *et al.*, 2015; Kursá *et al.*, 2022). Por tanto, la eficacia del extracto podría derivar no solo de una acción directa antifúngica, sino también de la activación de respuestas inmunológicas en las plantas.

En consecuencia, el extracto de *P. sanguineus* muestra potencial como agente de biocontrol dentro de estrategias de manejo integrado, aunque con ciertas limitaciones, algunas de ellas limitaciones biofísicas que enfrentan tanto el manejo como la aplicación de este tipo de formulaciones fuera del laboratorio. Por ejemplo, la baja movilidad hacia raíces sugiere la necesidad de optimizar formulaciones (encapsulación o emulsionantes) para mejorar la distribución y persistencia de los compuestos. Asimismo, la variabilidad de factores ambientales como la humedad y el viento, o bien exposición a la luz (Lim *et al.*, 2024), podrían afectar el desempeño de estos metabolitos en campo.

Conclusiones

El extracto acuoso de cuerpos fructíferos de *P. sanguineus* mostró potencial como agente protector contra las afectaciones de *B. cinerea* en fresa y *F. oxysporum* en jitomate. Sin embargo, la recuperación de biomasa aérea en plantas de jitomate infectadas solo fue observable bajo las concentraciones más altas, de la misma forma que la reducción significativa del daño foliar en fresa fue observable solo en los extractos de mayor concentración.

Estos efectos se asocian a la presencia de metabolitos como cinabarina y compuestos fenólicos, posiblemente responsables de la acción antifúngica y de una posible inducción de defensas sistémicas en las plantas. Sin embargo, la limitada respuesta en biomasa radicular sugiere que deben mejorarse las técnicas y formulaciones para una mayor efectividad. Se recomienda evaluar su aplicación en condiciones de campo y profundizar en la caracterización y modo de acción de sus compuestos activos.

Bibliografía

- 1 Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. Elsevier. 5a Ed. San Diego, California, EUA. 952 p.
- 2 Arfi, Y.; Levasseur, A. and Record, E. 2013. Differential gene expression in *Pycnoporus coccineus* during interspecific mycelial interactions with different competitors. Applied and Environmental Microbiology. 79(21):6626-6636.
- 3 Assi, L.; Meinerz, C. C.; Stangarlin, J. R.; Kuhn, O. J.; Viecelli, C. A. and Schwan-Estrada, K. R. F. 2017. Control of *Alternaria solani* and *Xanthomonas vesicatoria* in tomato by *Pycnoporus sanguineus* formulated extract. Scientia Agraria Paranaensis. 16(3):314-320.
- 4 Borderes, J.; Costa, A.; Guedes, A. and Tavares, L. B. B. 2011. Antioxidant activity of the extracts from *Pycnoporus sanguineus* mycelium. Brazilian Archives of Biology and Technology. 54(4):1167-1174.
- 5 Brent, K. J. and Hollomon, D. W. 1995. Fungicide resistance in crop pathogens: how can it be managed? FRAC. Monograph núm. 1. 48 p.
- 6 Brito, O. D. C.; Schons, B. C.; Junior, R. C.; Dalevedove, D. B.; Fujimoto, J. Y. H. and Stangarlin, J. R. 2025. Proteins of *Pycnoporus sanguineus* have nematocidal activity and induce resistance to *Meloidogyne* spp. in micro-tom tomato plants. Tropical Plant Pathology. 50(1):43-53.
- 7 Cruz-Muñoz, R. 2021. Aplicación del hongo *Pycnoporus sanguineus* en postcosecha. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 150 p.
- 8 Cyco#, M.; Mroziak, A. and Piotrowska-Seget, Z. 2017. Bioaugmentation as a strategy for the remediation of pesticide-polluted soil: a review. Chemosphere. 172:52-71.
- 9 Elisashvili, V.; Kachlishvili, E.; Tsiklauri, N.; Metreveli, E.; Khardziani, T. and Agathos, S. N. 2009. Lignocellulose-degrading enzyme production by white-rot Basidiomycetes isolated from the forests of Georgia. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 25(2):331-339.

- 10 Gayosso-Barragán, O.; López-Benítez, A.; Marroquín-Morales, J. Á.; López-Aguilar, K.; Hidalgo-Ramos, D. M. y Chávez-Aguilar, G. 2021. Evaluación de la respuesta de diferentes genotipos de tomate a *Fusarium oxysporum* raza 3. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(3):409-420.
- 11 Hassan, E. A.; Mostafa, Y. S.; Alamri, S.; Hashem, M. and Nafady, N. A. 2021. Biosafe management of *Botrytis* grey mold of strawberry fruit by novel bioagents. *Plants*. 10(12):2737. <https://doi.org/10.3390/plants10122737>.
- 12 Heikal, Y. M.; Albahi, A. M.; Alyamani, A. A.; Abdelmigid, H. M.; Haroun, S. A. and Soliman, H. M. 2025. Integrated management of tomato fusarium wilt: ultrastructure insights into zn nanoparticles and phytohormone applications. *Cells*. 14(14):1055. <https://doi.org/10.3390/cells14141055>.
- 13 Kurska, W.; Jamiołowska, A.; Wyrostek, J. and Kowalski, R. 2022. Antifungal effect of plant extracts on the growth of the cereal pathogen *Fusarium* spp. an *in vitro* study. *Agronomy*. 12(12):3204. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>.
- 14 Lim, C. L.; Yang, C. H.; Pan, X. Y.; Tsai, H. Y.; Chen, C. Y. and Chen, W. L. 2024. Different wavelengths of LED irradiation promote secondary metabolite production in *Pycnoporus sanguineus* for antioxidant and immunomodulatory applications. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 23(5):987-996.
- 15 Lin, W.; Jia, G.; Sun, H.; Sun, T. and Hou, D. 2020. Genome sequence of the fungus *Pycnoporus sanguineus*, which produces cinnabarinic acid and pH- and thermo-stable laccases. *Gene*. 742:144586. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144586>.
- 16 Patel, H.; Gupte, A. and Gupte, S. 2009. Effect of different culture conditions and inducers on production of laccase by a basidiomycete fungal isolate *Pleurotus ostreatus* HP-1 under solid state fermentation. *BioResources*. 4(1):268-284.
- 17 Pérez-López, R. I.; Romero-Arenas, O.; Parraguirre-Lezama, C.; Romero-López, A.; Rivera, A. and Cedillo-Ramírez, L. 2024. Comparison of three biological control models of *Pycnoporus sanguineus* on phytopathogenic fungi. *Applied Sciences*. 14(18):8263. <https://doi.org/10.3390/app14188263>.
- 18 Pinar, O. and Rodríguez-Couto, S. 2024. Biologically active secondary metabolites from white-rot fungi. *Frontiers in Chemistry*. 12:1363354. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1363354>.
- 19 Pineda-Insuasti, J. A.; Gómez-Andrade, W. E.; Duarte-Trujillo, A. S.; Soto-Arroyave, C. P.; Pineda-Soto, C. A.; Fierro-Ramos, F. J. y Álvarez-Ramos, S. E. 2017. Producción de *Pycnoporus* spp. y sus metabolitos secundarios: Una revisión. *ICIDCA. sobre los derivados de la caña de azúcar*. 51(2):60-69.
- 20 Romero-Arenas, O.; Jara-Rivera, A. P.; Valencia-de-Ita, M. A.; Parraguirre-Lezama, C.; Villa-Ruano, N. and Rivera, A. 2021. *In vitro* antimicrobial activity of Cinnabarin on *Xanthomonas campestris* isolated from bean crops of Puebla, Mexico. *Applied Sciences*. 11(12):5391. <https://doi.org/10.3390/app11125391>.
- 21 Rongai, D.; Pulcini, P.; Pesce, B. and Milano, F. 2015. Antifungal activity of some botanical extracts on *Fusarium oxysporum*. *Open Life Sciences*. 10(1):220-225.
- 22 Rosa, L. H.; Machado, K. M. G.; Jacob, C. C.; Capelari, M.; Rosa, C. A. and Zani, C. L. 2003. Screening of Brazilian basidiomycetes for antimicrobial activity. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 98(7):967-974.
- 23 Saat, M. N.; Anuar, M. S. M.; Alias, Z.; Chuan, L. T. and Chisti, Y. 2014. Modeling of growth and laccase production by *Pycnoporus sanguineus*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 37(5):765-775.

- 24 Sivanandhan, S.; Khusro, A.; Paulraj, M. G.; Ignacimuthu, S. and Al-Dhabi, N. A. 2017. Biocontrol properties of basidiomycetes: an overview. *Journal of Fungi*. 3(1):2. <https://doi.org/10.3390/jof3010002>.
- 25 Smânia, A.; Delle-Monache, F.; Smânia, E. F. A.; Gil, M. L.; Benchetrit, L. C. and Cruz, F. S. 1995. Antibacterial activity of a substance produced by the fungus *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. *Journal of Ethnopharmacology*. 45(3):177-181.
- 26 Smânia, A.; Marques, C. J. S.; Smânia, E. F. A.; Zanetti, C. R.; Carobrez, S. G.; Tramonte, R. and Loguercio-Leite, C. 2003. Toxicity and antiviral activity of Cinnabarin obtained from *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. *Phytotherapy Research*. 17(9):1069-1072.
- 27 Téllez-Téllez, M.; Villegas, E.; Rodríguez, A.; Acosta-Urdapilleta, M. L.; O'Donovan, A. and Díaz-Godínez, G. 2016. Mycosphere essay 11: fungi of *Pycnoporus*: morphological and molecular identification, worldwide distribution and biotechnological potential. *Mycosphere*. 7(10):1500-1525.
- 28 Teoh, Y. P.; Don, M. M. and Ujang, S. 2011. Media selection for mycelia growth, antifungal activity against wood-degrading fungi and GC-MS study by *Pycnoporus sanguineus*. *BioResources*. 6(3):3001-3015.
- 29 Waszczuk, U. and Zapora, E. 2021. Arboreal fungi in biological control against soil fungi. *Environmental Sciences Proceedings*. 9(1):31.



Efecto protector de *Pycnoporus sanguineus* contra hongos fitopatógenos en plantas de jitomate y fresa

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2026
Date accepted: 01 March 2026
Publication date: 01 February 2026
Publication date: Feb-Mar 2026
Volume: 17
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e4014
DOI: 10.29312/remexca.v17i2.4014

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

control biológico

fitopatógenos

fungicidas sintéticos

metabolitos secundarios

Pycnoporus sanguineus

Counts

Figures: 2

Tables: 4

Equations: 0

References: 29