



Artículo de Revisión

Pimienta gorda (*Pimenta dioica*) en México y uso de microorganismos antagonistas en roya y antracnosis

Marco Antonio Morales-German¹, Marja Liza Fajardo-Franco^{1*}, Martín Aguilar-Tlatelpa¹. ¹Maestría en Ciencias en Manejo Sustentable de Recursos Naturales, Universidad Intercultural del Estado de Puebla. Lipuntahuaca, Huehuetla, Pue., CP 73475, México.

*Autor de Correspondencia:
Marja Liza Fajardo-Franco
marjaliza.fajardo@uiep.edu.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
20 Noviembre, 2024
Aceptado:
18 Julio, 2025
Publicado:
01 Agosto, 2025

Cita:
Morales-German MA, Fajardo-Franco ML y Aguilar-Tlatelpa M. 2025. Pimienta gorda (*Pimenta dioica*) en México y uso de microorganismos antagonistas en roya y antracnosis. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 79. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-35>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. La pimienta gorda (*Pimenta dioica*) tiene diferentes usos como especia y potencial utilidad en la industria farmacéutica y cosmética, por lo que es una especie de importancia económica. A nivel mundial, México es el segundo productor de esta especie, donde su cultivo se realiza principalmente por pueblos originarios. La pimienta gorda tiene un alto potencial para incrementar su producción en México, ya que se cuenta con condiciones agroclimáticas favorables. Sin embargo, una limitante es la presencia de enfermedades, entre las que destacan la antracnosis y la roya. El objetivo fue documentar la producción de pimienta gorda en México e identificar alternativas de manejo mediante microorganismos antagonistas ante la ocurrencia de antracnosis (*Colletotrichum* sp.) y roya (*Austropuccinia psidii*).

Materiales y Métodos. Se realizó una exhaustiva búsqueda en las plataformas digitales, particularmente en Google académico, ResearchGate, SciELO y Science Direct, donde se utilizaron distintas combinaciones de palabras clave para facilitar la búsqueda, las cuales fueron: *Pimenta dioica*, allspice, enfermedades, producción, cultivo, pimienta gorda y pimienta de Jamaica en español e inglés. La información se sistematizó y analizó críticamente.

Resultados. La producción de pimienta gorda en México ha aumentado en los últimos años, pero no es suficiente para cubrir el mercado. Así mismo, la información respecto al manejo de la antracnosis y roya en pimienta es escasa, sin embargo, se documentó que *Bacillus* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Simplicillium* sp., *Clonostachys* sp., *Lecanicillium* sp. y *Streptomyces* sp., tienen potencial antagonista para el manejo de *Colletotrichum* sp. y *Austropuccinia psidii*.

Conclusión. Se requieren investigaciones que evalúen la capacidad de inhibición de estos microorganismos, sus mecanismos de acción y efecto sinérgico sobre *Colletotrichum* sp. y *A. psidii* en condiciones *in vitro* y en campo en pimienta gorda.

Palabras clave: *Pimenta dioica*, Antagonismo, *Colletotrichum* sp., *Austropuccinia psidii*



INTRODUCCIÓN

En el mundo desde el siglo XVI las especias han sido de gran interés comercial con un alto potencial para su uso como conservadores, saborizantes y aromatizantes, así como en el uso culinario (Acosta *et al.*, 2021; Macía, 1998). Entre las especias que se comercializaban están el clavo (*Syzygium aromaticum*), la pimienta negra (*Piper nigrum*) y la nuez moscada (*Myristica fragans*) (Lenkersdorf, 2009). Posteriormente, al descubrimiento de América, se encontraron nuevos productos desconocidos para el viejo mundo, uno de ellos fue la pimienta gorda (*Pimenta dioica*) utilizada principalmente por los pueblos originarios de América (Acosta *et al.*, 2021), como es el caso de las comunidades totonacas, quienes usaban las hojas para sazonar, como remedios medicinales, para aromatizar sus hogares y en algunos rituales ceremoniales. Estos conocimientos se han conservado aún de generación en generación (Acosta *et al.*, 2021; Jiménez *et al.*, 2015).

La pimienta gorda es también conocida como pimienta de Jamaica, o en inglés como “allspice” (Jarquín-Enríquez *et al.* 2021). En las lenguas originarias de México es conocida como Moque (Zoque, Chiapas), de-tedan (Cuicateco, Oaxaca), malagueta, papalolote (Oaxaca), u'ucum (Totonaco, Veracruz), xocoxochitl (náhuatl), Cukum (Tepehua), Ixnabacuc (Maya) (Machuca *et al.*, 2020; Macía, 1998; Vázquez-Yanes *et al.*, 1996).

La pimienta gorda es un árbol perennifolio de una altura de 10 m, con copa redondeada o irregular densa, sus frutos son bayas de color oscuro de 10 a 5 mm, aplanados en el ápice, verrucosos y característicamente con olor fragante (Vázquez-Yanes *et al.*, 1996). Este árbol es nativo de México y se distribuye hasta Centroamérica (Montalvo-Lopez *et al.*, 2021). El fruto seco tiene diferentes utilidades tales como aromatizante, saborizante, su madera se utiliza como combustible y sus hojas para la preparación de infusiones (Vázquez-Yanes *et al.*, 1996). Se ha reportado que sus hojas y frutos contienen compuestos orgánicos volátiles, responsables del sabor y aroma, los cuales se caracterizan por su combinación entre canela (*Cinnamomum verum*), nuez moscada (*Myristica sp.*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) (Montalvo-Lopez *et al.*, 2021). La pimienta gorda tiene características anestésicas, analgésicas, antimicrobianas, antioxidantes, antisépticas y acaricidas, debido a fitoconstituyentes que se encuentran en diferentes partes del árbol, como son fenilpropanoides, glucósidos, taninos y aceites esenciales. En farmacología es demandada por su actividad anticancerígena, antifúngica, antimicrobiana, nematicida, antioxidante y antidiabético (Rao *et al.*, 2012).

Debido a lo anterior, se le considera un producto de alto valor por sus aplicaciones en cosméticos, conservantes de alimentos, perfumes y productos farmacéuticos (Martínez *et al.*, 2013; Montalvo-Lopez *et al.*, 2021). El aumento del precio de la pimienta seca, ha propiciado la formación de empresas cooperativas y organizaciones dedicadas a beneficiar y comercializar la pimienta gorda, así como la creación de diferentes acopiadoras en Veracruz, Puebla y Chiapas, destacando Veracruz y Puebla como los principales productores a nivel nacional (Córdoba, 2016; Martínez *et al.*, 2013; Reyes-Martínez, 2017).

Sin embargo, la producción de pimienta gorda es amenazada por enfermedades como la roya causada por *Austropuccinia psidii* (Beenken, 2017) (anteriormente *Puccinia psidii*) y la antracnosis (*Colletotrichum sp.*), las cuales pueden ocasionar pérdidas hasta del 50 % de la producción, en pre y post cosecha (Rojas-Pérez, 2017; Esperón-Rodríguez

et al., 2017; Velázquez-Silva *et al.*, 2018). El control de estos hongos se realiza principalmente con fungicidas sintéticos pertenecientes al grupo de los triazoles, estrobirulinas o cobres (Monroy-Rivera, 2011; Gaviria-Hernández *et al.*, 2013). Sin embargo, el uso excesivo de fungicidas sintéticos puede ocasionar problemas de toxicidad crónica en el suelo, inestabilidad en el equilibrio de las poblaciones microbianas del agroecosistema, así como afectaciones en la salud de los agricultores (Hernández-Flores *et al.*, 2013; Jáquez-Matas *et al.*, 2022; Silveira-Gramont *et al.*, 2018). Por lo anteriormente mencionado, el objetivo fue documentar la producción de pimienta gorda en México e identificar alternativas de manejo mediante microorganismos antagonistas ante la ocurrencia de antracnosis (*Colletotrichum* sp.) y roya (*Austropuccinia psidii*).

Producción de pimienta gorda en México

La pimienta gorda (*Pimenta dioica*) pertenece al orden Myrtales y familia Myrtaceae, (Tropicos, 2024); su producción en México se obtiene en la modalidad de temporal, cultivo secundario, de árboles silvestres dentro del bosque, en las huertas de traspatio, así como en potreros, cercas vivas, barreras rompe viento o asociado en cultivos como café (*Coffea arabica*), maíz (*Zea mays*), naranja (*Citrus × sinensis*), entre otros (Figura 1).

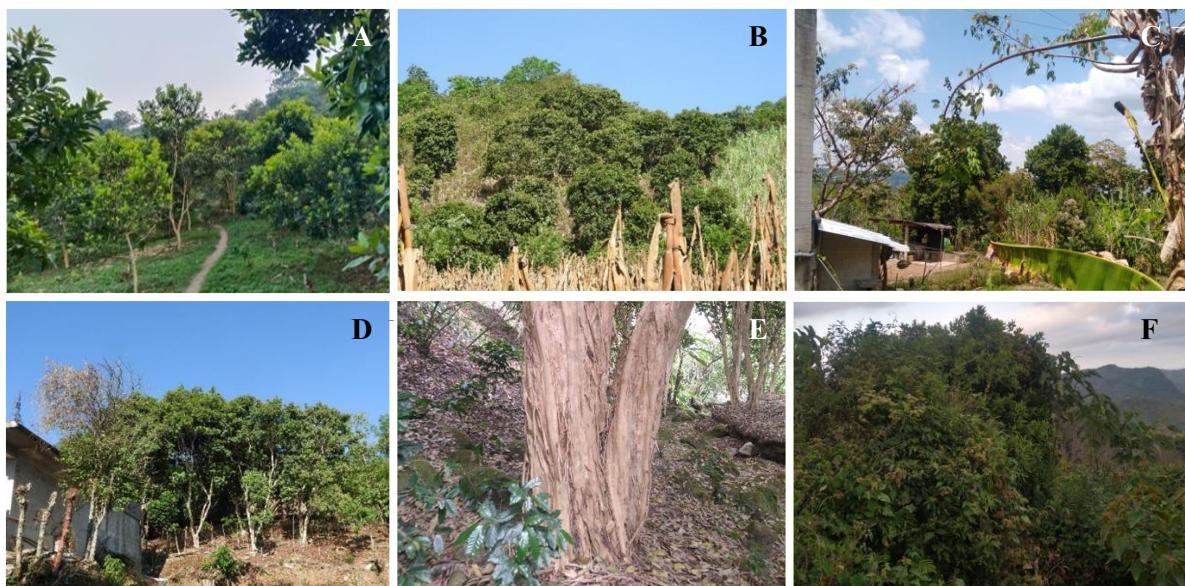


Figura 1. Sistemas de producción de pimienta gorda con manejo tradicional totonaco en Lipuntahuaca, Huetuetla, Puebla. A) Monocultivo; B) Intercalado con maíz; C) Huerto familiar; D) Cerca viva; E) Café bajo sombra de pimienta gorda; F) Acahuall (asociaciones vegetales en áreas originalmente ocupadas por selvas).

La cosecha del fruto puede iniciar desde los dos años del establecimiento del árbol y se realiza principalmente de forma manual, escalando a la rama de los árboles, cuando los frutos tienen un color verde o verde amarillento y posteriormente se asolea para secarlo (FHIA, 2016). Esta actividad en México se realiza principalmente por comunidades indígenas o pueblos originarios, en árboles dispersos en los huertos familiares, sistemas agroforestales y cercas vivas para el autoconsumo, mientras que el sobrante se comercializa como pimienta verde (Figura 2) (Machuca *et al.*, 2020; Macía, 1998).



Figura 2. Producción de la pimienta gorda en Lipuntahuaca, Huehuetla Puebla. **A)** Corte de fruto verde en árboles de pimienta gorda; **B)** Asoleadero para fruto seco; **C)** Trasporte de fruto seco de pimienta gorda.

En 1996 en el estado de Puebla, la cooperativa Tosepan Titataniske, fijó a \$2.50 pesos kg⁻¹ la pimienta en fresco y \$7.50 pesos kg⁻¹ la pimienta seca, superando el precio del café cereza que oscilaba entre \$1.70 - 2.80 pesos kg. Para el 2020, el precio de la pimienta como condimento osciló entre \$155.00 y \$540.00 pesos kg⁻¹ (Machuca *et al.*, 2020; Macía, 1998). En el 2022, en México se registró un derrame económico de \$161,377,940.00 pesos, con un valor de \$10,714.00 a 63,641.00 pesos t⁻¹ y para el 2023 de \$153,210,640.00 pesos, oscilando entre \$10,655.00 a \$66,862.00 pesos t⁻¹ (Cuadro 1) (SIAP, 2024).

Cuadro 1. Producción de pimienta gorda (*Pimenta dioica*) en México durante 2022 y 2023.

Entidad	2022		2023	
	Producción (t)	Valor de la producción (miles de pesos)	Producción (t)	Valor de la producción (miles de pesos)
Veracruz	7,799.08	104,427.42	7,440.89	101,060.90
Puebla	1,174.10	12,580.03	1,147.71	12,229.23
Tabasco	975.05	30,684.49	901.64	25,988.78
Campeche	137.50	8,750.77	139.90	9,354.13
Chiapas	170.71	4,639.90	162.77	4,330.20
Oaxaca	8.90	295.33	7.10	247.40
Total	10,265.34	161,377.94	9,800.01	153,210.64

Elaborado a partir de datos del SIAP (2024).

La producción de pimienta gorda en México se ha incrementado en los últimos años, tan solo en 2011 se produjeron 3,452 t, mientras que para el 2023 la producción fue de 9,800.01 t lo que representa un incremento del 183.9 % (SIAP, 2024; Martínez *et al.*, 2013). Actualmente, los tres principales productores a nivel nacional son Veracruz, Puebla y Tabasco, en orden de importancia. Estos estados producen anualmente cerca del 97 % de la producción total nacional. Cabe destacar que la mayor parte se exporta a Estados Unidos (Cuadro 1) (Martínez *et al.*, 2013; SIAP, 2024).

El rendimiento promedio de la pimienta es de 54 kg por árbol. En los últimos años, una pequeña parte de la producción se ha tecnificado (Macía, 1998; Martínez *et al.*, 2013;

Rojas-Pérez, 2017). Sin embargo, se estima que más de 162,566 ha tienen un potencial alto para su cultivo, mientras que 4,379,623 ha cuentan con potencial productivo medio, principalmente en el área del Eje Neovolcánico (INIFAP, 2012).

Martínez *et al.* (2013) mencionan que, para el aumento de la producción de la pimienta gorda, el establecimiento de las plantaciones se debe realizar en áreas con las condiciones climáticas favorables, los estados con áreas con alto potencial productivo son Veracruz, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí, Guerrero y Oaxaca (INIFAP, 2012). También es necesario el desarrollo de variedades tolerantes a fitopatógenos; la nutrición de los árboles; mejorar el corte de los frutos, debido a que se realiza de manera manual y se suele dañar al árbol y la tecnificación del secado del fruto.

También es importante el desarrollo de tecnología agrícola adaptada a superficies pequeñas, accidentadas y en sistemas de producción altamente diversificados. Además, es necesario atender aspectos fitosanitarios ya que existen patógenos que vulneran la producción de pimienta gorda (Esperón-Rodríguez *et al.*, 2017). Así mismo, es fundamental considerar una producción sustentable para la pimienta gorda donde se consideren los tres componentes del triángulo de Nijkamp, el crecimiento económico, la equidad social y la sustentabilidad ambiental (Zarta-Ávila, 2018).

Una alternativa para el mercado de las especias es la comercialización de las hojas de la pimienta gorda, debido a que presentan altos contenidos de aceite esencial con utilidad en la industria de los cosméticos, conservantes de alimentos, perfumes y productos farmacéuticos (Montalvo-Lopez *et al.* 2021).

Problemas fitosanitarios

Los problemas fitosanitarios se deben muchas veces a una combinación de factores ambientales, económicos, políticos y sociales, que incide en producción agroalimentaria (Olvera-Vargas, 2022). En el caso de la pimienta gorda se tienen pocos registros de problemas fitosanitarios, así como de sus afectaciones, agentes causales y su control. Sin embargo, en México existen reportes de daños ocasionados por *Austropuccinia psidii* causante de la roya y *Colletotrichum* sp. causante de antracnosis (López y García, 2014; Morales-German *et al.*, 2024; Velázquez-Silva *et al.*, 2018).

Roya en pimienta gorda

La roya es el principal problema fitosanitario de la pimienta gorda, cuyo agente causal es *Austropuccinia psidii* (Pucciniales, Basidiomycota), pertenece al filo Basidiomycota, subfilo Pucciniomycotina, clase Pucciniomycetos, orden Pucciniales, suborden Uredinineae y familia Sphaerophragmiaceae (Mycobank, 2024). Se estima que causa 50 % de pérdida de la cosecha y se desarrolla en el haz, envés, botones florales y peciolos de hojas jóvenes de la pimienta gorda (FHIA, 2008; Morales-German *et al.*, 2024; Rojas-Pérez, 2017). Está asociada principalmente a especies de la familia Myrtaceae, es conocida comúnmente como “roya de la guayaba y del eucalipto”, debido a que también afecta a estas especies (López y García, 2014). En Brasil se reportó afectando guayaba (*Psidium guajava*), mientras que en Nueva Zelanda se reportó en eucalipto (*Eucalyptus* spp.) y especies nativas (*Metrosideros* spp., *Lophomyrtus* spp. y *Kunzea* spp.) (Pathan *et al.*, 2020). *A. psidii* representa un riesgo para la agricultura, la silvicultura y especies

nativas en México, debido a que se han identificado 192 especies de la familia Myrtaceae susceptibles a este patógeno (Esperón-Rodríguez *et al.*, 2017).

Síntomas y signos

Los síntomas se notan en el haz y envés de las hojas, en peciolos jóvenes y frutos del hospedero donde se desarrollan manchas circulares de color púrpura a café, con pústulas polvorrientas (uredinios anfígenos, caulícolas) que van del color amarillo a anaranjado en el centro de las manchas, de 0.1- 0.6 mm de diámetro, lo que ocasiona el desprendimiento de frutos o bien la pérdida de su calidad (Figura 3) (FHIA, 2008; López y García, 2014).

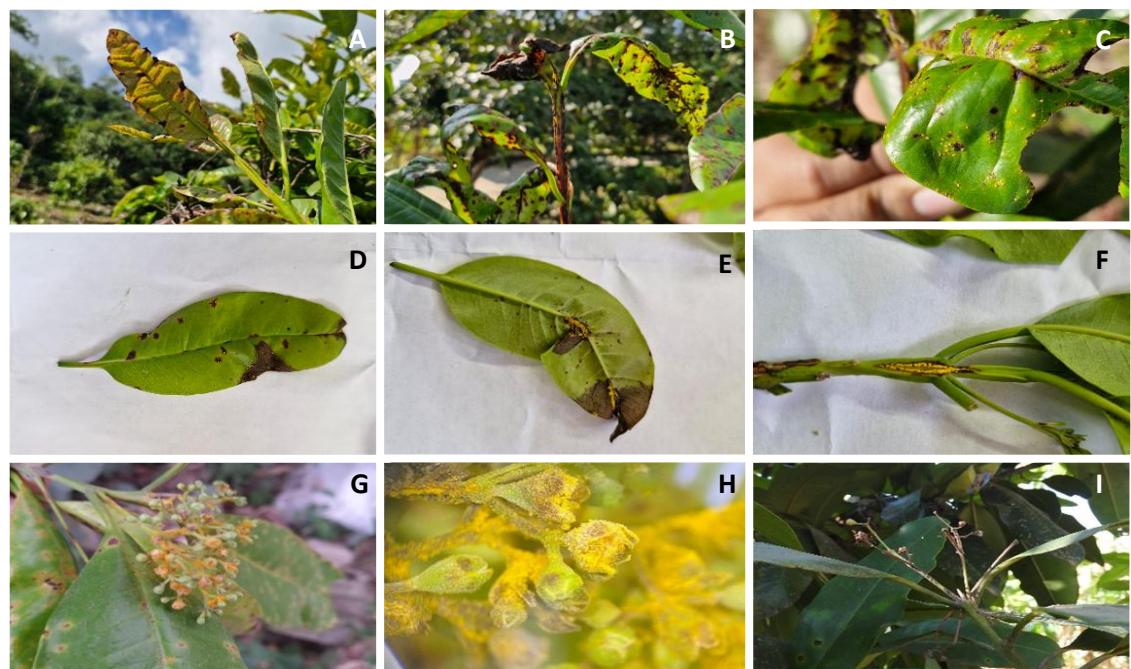


Figura 3. Síntomas y signos de roya (*Austropuccinia psidii*) en pimienta gorda cultivada en Huehuetla, Puebla, México. **A y B)** Presencia de roya en hojas jóvenes; **C y D)** Pústulas en el haz de la hoja; **E)** Pústulas en el envés de la hoja; **F)** Pústulas en el tallo; **G)** Presencia de roya en botones florales; **H)** Visualización de botones florales infectados con roya; **I)** Necrosis y caída de botones florales causados por roya.

Los signos del patógeno se observan como urediniosporas equinuladas (22.26 ± 3.08 x $16.03 \pm 1.66 \mu\text{m}$), hialinas a amarillas, unicelulares, piriformes, ovaladas o esféricas, con base truncada (Figura 4) (López y García, 2014; Mohali y Aime, 2016; Morales-German *et al.*, 2024).

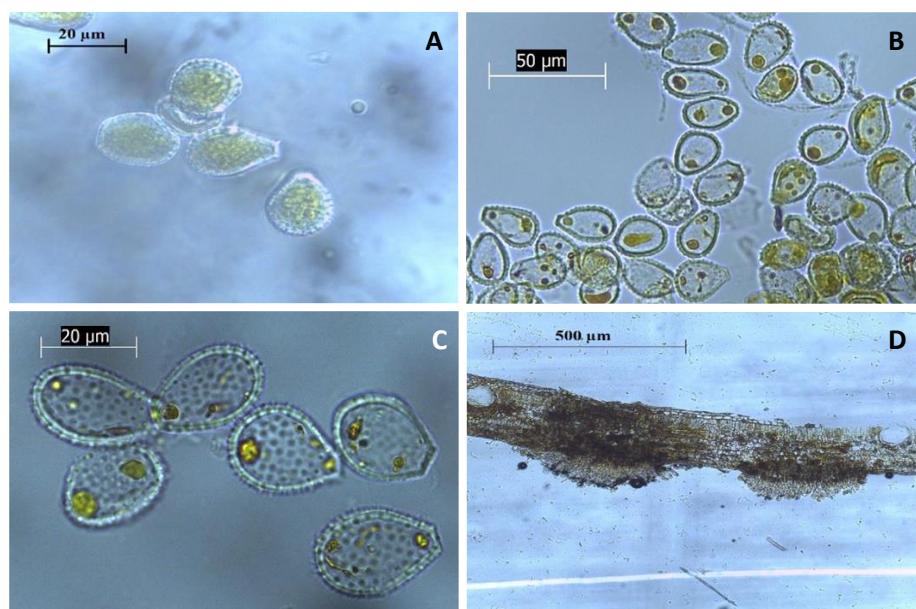


Figura 4. Uredinios y uredioniosporas de la roya (*Austropuccinia psidii*) obtenidas de muestras vegetales colectadas en Huehuetla, Puebla. **A-C)** Visualización de uredioniosporas equinuladas con base truncada; **D)** Visualización de uredinios en un corte trasversal de hoja de pimienta gorda.

Manejo de *Austropuccinia psidii* mediante microorganismos antagonistas

El manejo de la roya de la pimienta se realiza principalmente mediante el control cultural (buen drenaje del suelo, raleo en árboles silvestres) y control químico (Cuadro 2) (FHIA, 2008; Martínez *et al.*, 2013; Monroy-Rivera, 2011). No obstante, en México no hay estudios sobre la efectividad de fungicidas sintéticos sobre el manejo de la roya particularmente en pimienta gorda.

Cuadro 2. Control químico de *Austropuccinia psidii* en especies de la familia Myrtaceae.

Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis	Hospedante	País	Referencia
Mancozeb	Dithane® 43 Sc, Manzate® 200	1 Kg/100 L de agua	<i>Pimenta gorda</i>	Honduras	FHIA, 2008
Sulfato de cobre	-	1 kg/100 L de agua.	<i>Pimenta gorda</i>	México	Martínez <i>et al.</i> , 2013
Cobre	Phyton® 24 SC, Sulcox® 50 WP	50 mL por hectárea	<i>Pimenta gorda</i>	Honduras	FHIA, 2008
Cobre	Nordox® 750 WG	0.5 g/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Cyproconazole y Azoxystrobin	Amistar Xtar®	0.5 mL/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Fosetyl aluminum	Aliette® WG	1.25 g/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Oxicloruro de cobre	Cupravit®	2 - 3 g/L of water	<i>Pimenta dioica</i>	México	Monroy-Rivera, 2011
Oxycarboxin	Plantvax® 750 WP	0.65 g/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Tebuconazole	Folicur® 430 SC	0.15 mL/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Triforine	Saporl®	0.5 mL/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020
Triadimenol	Bayfidan® 250 EC	0.25 mL/500 mL de solución	<i>Lophomyrtus x ralphii</i> y <i>Metrosideros excelsa</i>	Australia	Pathan <i>et al.</i> , 2020

Los antecedentes sobre el uso de microorganismos antagonistas contra *A. psidii* es limitado; sin embargo, se ha reportado la disminución de la incidencia y potenciales biocontroladores de royas del orden Pucciniales al utilizar algunos microorganismos, lo cual da indicios de posibles antagonismos contra *A. psidii* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Microorganismos reportados como antagonistas de royas pertenecientes al orden Pucciniales.

Agente biocontrolador	Fitopatógeno	Hospedante	Condiciones	País	Resultados	Referencia
<i>Bacillus megaterium</i> y <i>Paneibacillus xylanexedens</i>	Roya amarilla del trigo (<i>Puccinia striiformis</i>)	Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	Entorno natural (semi-campo)	Pakistan	Disminución de la severidad (65.16 y 61.11 % respectivamente).	Kiani <i>et al.</i> , 2021
<i>B. subtilis</i> (Serenade® ASO)	Roya amarilla del trigo (<i>P. striiformis</i>)	Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	Pruebas de campo	Dinamarca	Se reportó hasta un 60 % de control ante una presión moderada de la enfermedad.	Reiss y Jørgensen, 2017
<i>Cladosporium</i> sp.	Roya blanca (<i>P. horiana</i>)	Crisantemo (<i>Dendranthema grandiflora</i>)	Laboratorio e invernadero	México	La severidad se redujo entre un 41 % y 84 %.	García-Velasco <i>et al.</i> , 2005
<i>Cladosporium angulosum</i> , <i>C. anthropophilum</i> , <i>C. bambusicola</i> , <i>C. benschii</i> , <i>C. guizhouense</i> , and <i>C. macadamiae</i>	Roya del mirto (<i>Austropuccinia psidii</i>)	Mirtáceas	---	Brasil	Potenciales biocontroladores	Pereira <i>et al.</i> , 2023
<i>Cladosporium tenuissimum</i>	<i>Uromyces appendiculatus</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>in vitro</i> <i>in vivo</i>	Italia	Reducción del 17 % de germinación de urediniosporas. La severidad disminuyó hasta un 13 %.	Assante <i>et al.</i> , 2004
<i>Cladosporium</i> sp., <i>Alternaria</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp., <i>Trichoderma</i> spp.	<i>U. transversalis</i>	Gladiolo (<i>Gladiolus sp.</i>)	<i>in vitro</i>	México	Los porcentajes de colonización fueron de 41.7 a 60.2 %	Romero-Óran <i>et al.</i> , 2016
<i>Fusarium fujikuroi</i> , <i>Fusarium solani</i>	<i>Austropuccinia psidii</i>	Pomarrosa de Pará (<i>Syzygium malaccense</i>)	Laboratorio	Brasil	Potencial de hiperparasitismo	Lopes <i>et al.</i> , 2019
<i>Lecanicillium</i> spp., <i>Calcarisporium</i> sp., <i>Sporothrix</i> sp., <i>Simplicillium</i> spp.	Roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Café (<i>Coffea arabica</i>)	<i>in vitro</i>	México	El porcentaje de micoparasitismo varió entre 51.6 a 88.8 %	Gómez-De La Cruz <i>et al.</i> , 2017
<i>Simplicillium lanosoniveum</i>	<i>Puccinia graminis</i>	Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	Cámara climática artificial	China	Tasa de germinación de urediniosporas del 17 %, frente el 91 % del control.	Si <i>et al.</i> , 2023
<i>Simplicillium lanosoniveum</i> , <i>Phakopsora pachyrhizi</i>		Soya (<i>Glycine max</i>)	Laboratorio y pruebas de campo	E.U.A.	La media de uredinios producidos con el tratamiento fue cuatro veces menor en comparación con el testigo	Ward <i>et al.</i> , 2012
<i>Trichoderma barbatum</i> , <i>T. asperellum</i>	<i>P. horiana</i>	Crisantemo (<i>Chrysanthemum morifolium</i>)	Plantas en vasos de unicel	México	La incidencia de la roya varió entre el 17 y 47 %.	García-Velasco <i>et al.</i> , 2022

Recientemente, en un estudio realizado en Brasil, se evaluó el efecto de *Bionectria ochroleuca*, *Cladosporium* spp. y dos aislamientos de *Clonostachys rosea* aislados de

Metrosideros polymorpha, *Eugenia reinwardtiana* y *Syzygium jambos*, sin embargo, únicamente uno de los aislamientos de *C. rosea* redujo la formación de pústulas de *A. psidii* y el tejido enfermo en *Eugenia koolauensis* (Chock *et al.*, 2021).

Antracnosis en pimienta gorda

La antracnosis ocasionada por *Colletotrichum* sp. se reportó por primera vez en Veracruz, México en el 2018. Pertenece al filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, clase Sordariomycetes, orden Glomerellales, familia Glomerellaceae (Mycobank, 2024). Esta enfermedad puede ocasionar pérdidas del 20 hasta el 50 % de la producción en pre y postcosecha. Sus síntomas en frutos son manchas marrones u oscuras hundidas que provocan la necrosis del fruto (Figura 5) (Velázquez-Silva *et al.*, 2018).



Figura 5. Síntomas de antracnosis en frutos de pimienta gorda colectados en Veracruz, México. Fuente: Velázquez-Silva *et al.* (2018).

En un trabajo realizado por Velázquez-Silva *et al.* (2018) en el norte de Veracruz, se colectaron frutos de pimienta gorda, de donde se obtuvieron cultivos monospóricos, que posteriormente fueron identificados morfológica y molecularmente como *C. acutatum* y *C. gloeosporioides*, *C. fragariae* y *C. boninense*.

Control de *Colletotrichum* sp. mediante microorganismos antagonistas

Actualmente no existen estrategias de control contra la antracnosis en *Pimenta dioica*; pero, existen antecedentes del control de *Colletotrichum* sp. en otras especies vegetales mediante productos biorracionales como los extractos vegetales (*Allium sativum*, *Citrus sinensis* y *C. grandis*, *Swinglea glutinosa* y *Eucalyptus globulus*, *Piper auritum*, *Psidium guajava* y *Urtica urens*), biofungicidas, inductores de defensa, manipulación genética (Baños-Guevara, *et al.*, 2004; Gaviria-Hernández *et al.*, 2013; Landero-Valenzuela *et al.*, 2016) y el uso de fungicidas sintéticos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Control químico para el manejo de *Colletotrichum* sp. en diferentes hospedantes.

Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis	Hospedante	País	Fuente
Azoxystrobin	Amistar® 50 WG	32 ppm, 250 mg L ⁻¹	<i>Rubus glaucus</i> , <i>Carica papaya</i>	Colombia, México	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013; Santamaría <i>et al.</i> , 2011
Benomil	Benoagro® 50 WP, Benocor®	125 ppm	<i>Rubus glaucus</i>	Colombia	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013
Carbendazim	Derosal® 500 SC, Rodazim® 500 sc	300 ppm	<i>Rubus glaucus</i>	Colombia	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013
Clorotalonil	Odeon® 720 SC	Recomendada en la etiqueta	<i>Passiflora edulis</i> , <i>Carica papaya</i>	Ecuador	Carreño <i>et al.</i> , 2021
Difenoconazole	Difecor®	50 ppm	<i>Rubus glaucus</i>	Colombia	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013
Hidróxido de cobre	Kocide® 101	1230 ppm	<i>Rubus glaucus</i>	Colombia	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013
Mancozeb	Dithane M-45	1000 ppm	<i>Mangifera indica</i>	Venezuela	Rondón <i>et al.</i> , 2006
Propiconazole	Bumper® 25 CE	Recomendada en la etiqueta	<i>Passiflora edulis</i> , <i>Carica papaya</i>	Ecuador	Carreño <i>et al.</i> , 2021
Procloraz	Funcloraz®	1000 ppm, 112 mg L ⁻¹	<i>Carica papaya</i> , <i>Mangifera indica</i>	Venezuela, México	Rondón <i>et al.</i> , 2006; Santamaría <i>et al.</i> , 2011
Pyraclostrobin	---	38.0 y 75.0 mg L ⁻¹ i.a	<i>Citrus sinensis</i>	Costa Rica	Guillén-Carvajal <i>et al.</i> , 2023
Sulfato de cobre pentahidratado	Phyton®	Recomendada en la etiqueta	<i>Passiflora edulis</i> , <i>Carica papaya</i>	Ecuador	Carreño <i>et al.</i> , 2021
Tebuconazole	---	7.50 y 75.0 mg L ⁻¹ i.a	<i>Citrus sinensis</i>	Costa Rica	Guillén-Carvajal <i>et al.</i> , 2023
Tebuconazole + Triadimenol EC 300	Silvacur Combi® EC300	---	<i>Selenicereus megalanthus</i>	Perú	Bello <i>et al.</i> , 2022
Ferbam	---	1520 y 3040 mg L ⁻¹ i.a	<i>Citrus sinensis</i>	Costa Rica	Guillén-Carvajal <i>et al.</i> , 2023

Para el control de *Colletotrichum* sp., también se han utilizado extractos vegetales de naranja (*Citrus sinensis*), pomelo (*C. grandis*), limón *Swinglea* (*Swinglea glutinosa*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*) y ortiga (*Urtica urens*) (Gaviria-Hernández *et al.*, 2013). Contra *Colletotrichum gloeosporioides* en ñame (*Dioscorea* spp.) se ha reportado el uso de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus*) (Pérez-Cordero *et al.*, 2017). Otros extractos acuosos y etanólicos utilizados para este fin son los extractos de *Capparis sinaica*, *Crotalaria aegyptiaca*, *Galium sinaica*, *Plantago sinaica* y *Stachys aegyptiaca* (Zakaria y Mohamed, 2020).

Se ha reportado la efectividad de microorganismos antagonistas (endémicos o a partir de productos comerciales) para el control de *Colletotrichum* sp. aislado y afectando a diferentes cultivos, su efectividad como biocontroladores se ha evaluado *in vitro* y en campo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Microorganismos reportados como antagonistas de *Colletotrichum* sp.

Agente	Fitopatógeno	Hospedante	Condiciones	País	Resultados	Fuente
Actinobacterias	<i>C. capsici</i>	Chile (<i>Capsicum annuum</i>)	Pruebas de campo	Indonesia	Disminución de la severidad e incidencia en un 100 %.	Yanti <i>et al.</i> , 2023
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Serenade ASO®)	<i>C. gloeosporioides</i>	Pitaya amarilla de Huambo (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	<i>in vitro</i>	Perú	Inhibió el 100 % del crecimiento micelial.	Bello <i>et al.</i> , 2022
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Amylo-X®), <i>T. gamsii</i> y <i>T. asperellum</i> (Remedier®), <i>B. amyloliquefaciens</i> (Serenade® ASO), <i>B. pumilus</i> (Sonata®), <i>T. harzianum</i> (Trianum-P®)	<i>C. acutatum</i>	Olivo (<i>Olea europaea</i>)	<i>in vivo</i>	Grecia	Inhibición en la producción de conidios mayor al 40 %.	Varveri <i>et al.</i> , 2024
<i>Bacillus firmus</i>	<i>C. gloeosporioides</i>	Papaya Maradol roja (<i>Carica papaya</i>)	<i>in vitro</i>	México	Disminución del crecimiento del patógeno en 75.32 y 69.17%.	Baños-Guevara <i>et al.</i> , 2004
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Rhodotorula minuta</i>	<i>C. gloeosporioides</i>	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Pruebas de campo	México	La combinación de los antagonistas redujo la enfermedad (severidad de 8.0).	Carrillo <i>et al.</i> , 2005
<i>Bacillus</i> sp., <i>Streptomyces</i> sp., <i>Paenibacillus</i> sp., <i>Glucoronobacter cerinus</i>	<i>Colletotrichum</i> sp.	Fresa (<i>Fragaria</i> sp.) y arándano (<i>Vaccinium</i> sp.)	<i>in vitro</i>	México	Porcentaje de inhibición de 67.0 al 97.5 %.	Garay-Serrano and Pérez, 2024
<i>Nigrospora</i> spp.	<i>C. gloeosporioides</i>	Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)	Bioensayos	Ecuador	Disminución de daños y diferencias significativas entre las plantas tratadas frente al testigo.	Delgado y Vásquez, 2010
<i>Paenibacillus</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	<i>in vitro</i> y pruebas de campo	México	Inhibió el crecimiento fúngico del 30 al 50 %. Disminución de la incidencia de antracnosis.	Rodríguez-Velázquez <i>et al.</i> , 2025
<i>Trichoderma asperellum</i> , <i>Trichoderma</i> sp., <i>T. virens</i> (G-41®), <i>T. harzianum</i> (T-22®), <i>Trichoderma</i> sp. (Bactiva®) y <i>Trichoderma</i> sp. (Fithan®)	<i>C. gloeosporioides</i>	Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	<i>in vitro</i>	México	El porcentaje de crecimiento micelial varió entre 72.2 y 88.1 %. El porcentaje de esporulación varió entre 97.5 y 100 %.	Ayvar-Serna <i>et al.</i> , 2024
<i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> , <i>T. asperellum</i> , <i>Clonostachys rosea</i>	<i>Colletotrichum</i> sp. y <i>C. rosea</i>	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	<i>in vitro</i>	Perú	El Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) varió entre 18.2% a 69.4 %.	Goñas <i>et al.</i> , 2017
<i>Trichoderma lignorum</i> (<i>Mycobac</i> ®), <i>Trichoderma harzianum</i> (<i>Agroguard</i> ®) y <i>Bacillus subtilis</i> (<i>Rhapsody</i> ®)	<i>C. gloeosporioides</i> y <i>C. acutatum</i>	Mora (<i>Rubus glaucus</i>)	<i>in vitro</i>	Colombia	Porcentajes de inhibición entre el 26 y 79 %.	Gaviria-Hernández <i>et al.</i> , 2013

<i>Trichoderma</i> spp.	<i>C. gloesporioides</i>	Papaya (<i>Carica papaya</i>)	<i>in vitro</i>	México	Inhibición del 59% y 63%.	Rendón-García <i>et al.</i> , 2020
<i>Streptomyces murinus</i>	<i>C. scovillei</i>	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	<i>in vitro</i>	Vietnam	Inhibición del 50 %.	Nguyen <i>et al.</i> , 2025

Mecanismos de acción de microorganismos antagonistas

Romero-Orán *et al.* (2016) reportaron que *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* spp. produjeron deshidratación, degradación y deformación de uredinios y urediniosporas de *Uromyces transversalis*. Además, observaron la invasión de hifas de *Trichoderma* sp. en uredinios de *U. transversalis* y no descartaron la producción de antibióticos, metabolitos secundarios y enzimas.

Assante *et al.* (2004) describieron los mecanismos de acción del micoparasitismo de *Cladosporium tenuissimum* sobre *Uromyces appendiculatus*, reportaron la degradación enzimática de capas externas e internas de la pared de la urediniosporas de *U. appendiculatus*; la penetración de urediospora a través de hifas cortas septadas y multiramificadas de *Cladosporium tenuissimum*, ocasionando la desaparición de los orgánulos de las urediniosporas de *U. appendiculatus*. También identificaron la acción lítica en las etapas avanzadas del micoparasitismo, provocando decoloraciones y la reducción de la pared de las urediniosporas, posteriormente, se presentó el crecimiento del micelio y la producción de conidióforos sobre las urediniosporas.

Ward *et al.* (2012) evaluaron el efecto de biocontrol de *Simplicillium lanosoniveum* sobre la roya de la soja (*Glycine max*) causada por *Phakopsora pachyrhizi*, reportaron cambios en el color de los uredinios, lo que puede implicar la hipersensibilidad de antagonistas sobre el patógeno.

Para las bacterias del género *Bacillus* los mecanismos de acción en el biocontrol de fitopatógenos son propiciados por la producción de sustancias antimicrobianas, competencia por sustrato, producción de compuestos orgánicos volátiles, enzimas líticas, inducción de resistencia (Pedraza *et al.*, 2020). Así como la producción de lipopéptidos, sideróforos, δ-endotoxinas y resistencia sistémica adquirida (Villarreal-Delgado *et al.* 2018). En un estudio realizado en Colombia se identificó que el antibiótico Iturina A, producido por *B. subtilis*, inhibió el crecimiento de *Fusarium* spp. lo que evidenció su potencial como controlador de fitopatógenos (Ariza y Sánchez, 2012). Estudios *in vitro* de *B. subtilis* sobre *Fusarium solani* y *Pythium* sp., indicaron que *B. subtilis* produce sustancias biosurfactantes, las cuales le permiten a la bacteria ejercer una actividad antifúngica desestabilizando las membranas celulares de los fitopatógenos (Sarti, 2019). Sin embargo, las bacterias del género *Bacillus* deben ser estudiadas en términos de bioseguridad, si bien *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *B. pumilus*, no se consideran patogénicos para el humano, si hay caso de intoxicación por el consumo de algunas especies del grupo *Bacillus cereus* (Villarreal-Delgado *et al.* 2018).

Los principales mecanismos de acción de *Trichoderma* sp. son la competencia por el espacio y los nutrientes, el micoparasitismo y la antibiosis, así como la secreción de enzimas y la producción de compuestos inhibidores (Infante *et al.*, 2009). La actividad antimicrobiana contra hongos fitopatógenos se presenta principalmente por la combinación de metabolitos secundarios (terpenos, peptaiboles pironas, gliovirina y

gliotoxina) y enzimas hidrolíticas. *Trichoderma* sp. libera sustancias que inducen una respuesta de resistencia sistémica y la expresión de genes de defensa (Khan *et al.*, 2020).

Perspectivas

A nivel mundial no se cuenta con estudios sobre el uso de microorganismos antagonistas para la inhibición de *A. psidii* y *Colletotrichum* sp. en pimienta gorda. El estudio de microorganismos endófitos y nativos antagonistas de estos fitopatógenos es una línea de investigación a explorar en México, donde la vulnerabilidad de los agroecosistemas de pimienta gorda es latente ante la ocurrencia de antracnosis y roya.

Es necesario realizar investigaciones donde se evalúe el efecto de microorganismos antagonistas sobre el crecimiento y desarrollo de *Colletotrichum* spp. y *A. psidii*, no solo en condiciones *in vitro*, considerando también su efecto sobre el desarrollo epidémico de la enfermedad en condiciones de campo y corroborando que no sean patogénicos para pimienta gorda, lo que permitirá contar con información para diseñar estrategias de manejo. Algunos de los microorganismos que podrían evaluarse son *Bacillus* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Simplicillium* spp., *Trichoderma* spp., *Paenibacillus* spp., *Gluconobacter* spp., *Nigrospora* spp., *Clonostachys* spp. y *Streptomyces* spp., éstos han sido reportados en el manejo de antracnosis y roya en otras especies vegetales.

Además, es necesario profundizar la investigación de los mecanismos de acción que podrían estar involucrados, realizar estudios histológicos del comportamiento de antagonistas en el tejido vegetal, así como estudios bioquímicos de posibles metabolitos secundarios. El uso de microorganismos antagonistas se plantea como una alternativa viable hacia la producción sustentable de la pimienta gorda, debido a que su producción en México se realiza en agroecosistemas diversificados, donde coexisten diversas especies de flora y fauna, incluso especies nativas y probablemente microorganismos benéficos con potencial antagonista.

CONCLUSIONES

La producción de pimienta gorda en México ha aumentado en los últimos años; sin embargo, no es suficiente para cubrir el mercado internacional y nacional, así mismo la tecnificación de su producción es mínima en los diferentes sistemas de producción. No se tienen antecedentes sobre estudios de biocontrol *in vitro* o *in situ* de *Austropuccinia psidii* y *Colletotrichum* sp., causantes de la roya y la antracnosis en pimienta gorda, respectivamente. Se ha demostrado en diversos estudios la eficacia del uso de microorganismos antagonistas para controlar a otras royas causadas por *Puccinia* spp. en trigo, pomarrosa y crisantemo; así como, la eficacia de microorganismos antagonistas para el control de *Colletotrichum* spp. en tomate, papaya, mango, pitaya, mora. Entre ellos se ha identificado a *Bacillus* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Simplicillium* spp., *Trichoderma* spp., *Paenibacillus* spp., *Gluconobacter* spp., *Nigrospora* spp., *Clonostachys* spp. y *Streptomyces* spp., entre otros. Sin embargo, no se han descrito sus mecanismos de acción, efecto sinérgico al combinarse con diferentes microorganismos y se desconoce si alguno de ellos podría resultar patogénico en pimienta gorda o causar efectos negativos en la salud de los productores, en su mayoría pertenecientes a pueblos originarios, por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones. Este artículo provee

información sobre microorganismos antagonistas que podrían ser evaluados para el manejo de la roya y la antracnosis en pimienta gorda.

REFERENCIAS

- Acosta M, Trujillo L, Guadarrama C, Ramírez C y Lima B. 2021. Una mirada desde la sociología de las ausencias y emergencias a la producción y comercio de pimenta dioica en Zozocolco, Veracruz, México. *Brazilian Journal of Development* 7:116170–116190. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-398>
- Ariza Y y Sánchez L. 2012. Determinación de metabolitos secundarios a partir de *Bacillus subtilis* con efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. Nova-Publicación Científica en Ciencias Biomédicas 10:149–155. <https://doi.org/10.22490/24629448.1003>
- Assante G, Maffi D, Saracchi M, Farina G, Moricca S, et al. 2004. Histological studies on the mycoparasitism of *Cladosporium tenuissimum* on urediniospores of *Uromyces appendiculatus*. *Mycological Research* 108:170–182. <https://doi.org/10.1017/S0953756203008852>
- Ayvar-Serna S, Díaz-Nájera J, Valdez-Hernández E, Delgado-Núñez E y Mena-Bahena. 2024. Antagonismo de cepas nativas y foráneas de *Trichoderma* spp., contra *Colletotrichum gloeosporioides* causante de antracnosis en maracuyá. *Revista Investigaciones y Estudios – UNA* 15(2):110-116. <http://dx.doi.org/10.57201/ieuna2423323>
- Baños-Guevara PE, Zavaleta-Mejía E, Colinas-León M, Luna-Romero I y Gutiérrez-Alonso J. 2004. Control Biológico de *Colletotrichum gloeosporioides* [(Penz.) Penz. y Sacc.] en Papaya Maradol Roja (*Carica papaya* L.) y Fisiología Postcosecha de Frutos Infectados. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22(2): 198-205. <https://www.redalyc.org/articulo.ox?id=61222206>
- Beenken L. 2017. *Austropuccinia*: A new genus name for the myrtle rust *Puccinia psidii* placed within the redefined family Sphaerophragmiaceae (Pucciniales). *Phytotaxa* 297:53–61 <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.297.3.14>
- Bello S, Echevarría C, Bello N, Borjas-Ventura R, Alvarado-Huamán L, et al. 2022. Control *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de la pitaya amarilla de Huambo (*Selenicereus megalanthus*). *IDESIA(Chile)* 40:75–80. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000300075>
- Carreño J, Sánchez L, Guzmán-Cedeño A, Suárez-Palacios C y Vélez-Zambrano S. 2021. Efecto *In Vitro* de fungicidas para el control de *Colletotrichum* spp., en frutales Manabí-Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI* 14:37–42. https://www.researchgate.net/publication/359238020_Efecto_in_vitro_de_fungicidas_para_el_control_de_Colletotrichum_SPP_en_frutales_Manabi_-Ecuador
- Carrillo J, García R, Muy M, Señudo A, Márquez I, et al. 2005. Control biológico de antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 23:24–32. [http://www.redalyc.org/articulo.ox?id=61223104](https://www.redalyc.org/articulo.ox?id=61223104)
- Chock M, Hoyt B and Amend S. 2021. Mycobiome transplant increases resistance to *Austropuccinia psidii* in an endangered Hawaiian plant. *Phytobiome Journal*. 5:326–334. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-09-20-0065-R>
- Córdoba P. 2016. Pimienta y mercado diferenciado. En SAGARPA, Innovar para competir 40 casos exitosos. 1-30 pp. https://www.redinnovagro.in/casosexito/2017/Pimienta_Asociaciones_A_Serranas.pdf
- Delgado E y Vásquez S. 2010. Control biológico de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz. y Sacc.) en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) mediante hongos endófitos antagonistas. La Granja, 11:36–43. <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/11.2010.05>
- Esperón-Rodríguez M, Baumgartner J, Beaumont L, Berthon K, Carnegie A, et al. 2017. The risk to Myrtaceae of *Austropuccinia psidii*, myrtle rust, in Mexico. *Forest Pathology*. <https://doi.org/10.1111/efp.12428>
- FHIA. 2008. Roya de la pimienta gorda. Hoja técnica No. 4. 2 p. https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/hoja_tecnica_proteccion_vegetal04.pdf
- FHIA. 2016. Pimienta gorda: un cultivo para diversificar la producción. FHIA Informa 4:1–12. http://www.fhia.org.hn/descargas/pdfs_fhia-informa/informa_diciembre_2016_4.pdf
- Garay-Serrano E y Pérez P. 2024. Actividad Antifúngica de Bacterias Contra *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum* sp. que Afectan a la Fresa. *Biotecnología y Sustentabilidad* 9(1):21-35. <http://doi.org/10.57737/jqnnxg27>

- García-Velasco R, Martínez-Tapia V, Domínguez-Arizmendi G, Bravo-Luna L y Companioni-González B. 2022. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre la roya blanca del crisantemo inducida por *Puccinia horiana*. Acta Agrícola y Pecuaria 8:e0081008. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081008>
- García-Velasco R, Zavaleta-Mejía E, Rojas- Martinez R, Leyva-Mir S, Kilpatrick-Simpson J, et al. 2005. Antagonismo de *Cladosporium* sp. contra *Puccinia horiana* Henn. Causante de la Roya blanca del crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev). Revista Mexicana de Fitopatología 23:79–86. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61223112.pdf>
- Gaviria-Hernández V, Patiño-Hoyos L y Saldarriaga-Cardona A. 2013. Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de castilla. Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria 14:67–75. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:344
- Gómez-De La Cruz I, Pérez-Portilla E, Escamilla-Prado E, Martínez-Bolaños M, Carrión-Villarnovo G, et al. 2017. Selection *in vitro* of mycoparasites with potential for biological control on Coffee Leaf Rust (*Hemileia vastatrix*). Revista Mexicana de Fitopatología 36(1) 172-183. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1708-1>
- Goñas M, Bobadilla L, Roscón J y Vera N. 2017. Efecto *in vitro* de controladores biológicos sobre *Colletotrichum* spp. y *Botrytis* spp. Revista de investigación de agroproducción sustentable 1(2): 25-31. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20172.359>
- Guillén-Carvajal M, Umaña-Rojas G y Verela-Benavides I. 2023. Especies de *Colletotrichum* asociados a la antracnosis en naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) y su control *in vitro* con fungicidas. Agronomía Mesoamericana, vol. 34 (2). <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.52190>
- Hernández-Flores L, Munive-Hernández A, Sandoval-Castro E, Martínez-Carrera D y Villegas-Hernández C. 2013. Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4:353–365. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1198>
- Infante D, Martínez B, González N y Reyes Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista de Protección Vegetal 24:14–21. <https://censa.edicioneservantes.com/index.php/RPV/article/view/542>
- INIFAP. 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Publicación especial Núm. 8. 139 p. <https://www.cmdrs.gob.mx/sites/default/files/cmdrs/sesion/2018/09/17/1474/materiales/inifap-estudio.pdf>
- Jarquín-Enríquez L, Ibarra-Torres P, Jiménez-Islas and Flores-Martínez NL. 2021. *Pimenta dioica*: a review on its composition, phytochemistry, and applications in food technology. International Food Research Journal 28(5): 893-904. <http://dx.doi.org/10.47836/ifrj.28.5.02>
- Jáquez-Matas S, Pérez-Santiago G, Márquez-Linares M y Pérez-Verdín G. 2022. Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de Maíz y Nogales en Durango, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 38:219–233. <https://doi.org/10.20937/RICA.54169>
- Jiménez P, Hernández M, Espinosa G, Mendoza G y Torrijos M. 2015. Los saberes en medicina tradicional y su contribución al desarrollo rural: estudio de caso Región Totonaca, Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6:1791–1805. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.496>
- Khan RAA, Najeeb S, Hussain S, Xie B and Li Y. 2020. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. Against phytopathogenic fungi. Microorganisms, 8:1–22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>
- Kiani T, Mehboob F, Hyder MZ, Zainy Z, Xu L, et al. 2021. Control of stripe rust of wheat using indigenous endophytic bacteria at seedling and adult plant stage. Scientific Reports 11:1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93939-6>
- Landero-Valenzuela N, Lara-Viveros F, Andrade-Hoyos P, Aguilar-Pérez L and Aguado G. 2016. Alternatives for the control of *Colletotrichum* spp. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7:1189–1198. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.245>
- Lenkersdorf G. 2009. La carrera por las especias. Estudios de Historia Novohispana 17, 13–30. <https://doi.org/10.22201/iih.24486922e.1997.017.3452>
- López A and García J. 2014. *Puccinia psidii* (II). Funga Veracruzana. Instituto de Investigaciones Forestales- Universidad Veracruzana. 5 p. https://www.researchgate.net/publication/266617679_Puccinia_psidii_II_Uredinales_Pucciniaceae
- Lopes V, da Silva A, Vieira P, Tinti N, Morinho R. 2019. Hiperparasitismo de *Fusarium* spp. em *Austropuccinia psidii* em Jambo-do-Pará. 45(2):204-206. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/187593>
- Machuca P, Pulido-Salas MT and Trabanino F. 2020. Past and present of allspice (*Pimenta dioica*) in Mexico and Guatemala. Revue d'ethnoécologie, 18:1–18. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.6261>

- Macía M. (1998). La pimienta de Jamaica [*Pimenta dioica* (L.) Merrill, Myrtaceae] en la Sierra Norte de Puebla (Méjico). *Anales Del Jardín Botánico de Madrid* 56:337–349. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/27182/1/234.pdf>
- Martínez D, Hernández M y Martínez E. 2013. La pimienta gorda en México (*Pimenta dioica* L. Merrill): avances y retos en la gestión de la innovación. Universidad Autónoma Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/8f67d11e-b481-448c-acb5-7dff12a8eada/content>
- Mohali, S.R. and Aime, M.C. (2016), “First report of *Puccinia psidii* (myrtle rust) on *Syzygium jambos* in Venezuela”, *New Disease Reports*, Wiley, Vol. 34 No. 1, pp. 18–18, <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2016.034.018>
- Monroy-Rivera C. 2011. Paquete tecnológico pimienta gorda (*Pimenta dioica* L. Merrill) establecimiento y mantenimiento. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-épices/piment-de-la-Jamaique/Paquete%20Tecnol%C3%B3gico%20Pimienta%20Gorda%20\(Pimenta%20dioica\).pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-épices/piment-de-la-Jamaique/Paquete%20Tecnol%C3%B3gico%20Pimienta%20Gorda%20(Pimenta%20dioica).pdf)
- Montalvo-Lopez I, Montalvo-Hernández D and Molina-Torres J. 2021. Diversity of volatile organic compounds in leaves of *Pimenta dioica* Merrill at different developmental stages from fruiting and no-fruiting trees. *Journal of the Mexican Chemical Society* 65:405–415. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v65i3.1498>
- Morales-German M, Fajardo-Franco ML, Aguilar-Tlatelpa M, Bautista-Hernández G. 2024. Presencia de *Puccinia psidii* en *Pimenta dioica* cultivada en Huehuetla, Puebla. *Revista Mexicana de Fitopatología Suplemento* 42:55–56. <https://rmf.smf.org.mx/RevistaMexicana/img/RMF/Volumenes/Suplementos/S422024/RMF%20Suplemento%202024.pdf>
- Mycobank. 2024. *Austropuccinia psidii*. <https://www.mycobank.org/Simple names search>
- Nguyen H, Le T, Nguyen T, Truong T and Nguyen T. 2025. Biological Control of *Streptomyces murinus* against *Colletotrichum* Causing Anthracnose Disease on Tomato Fruits. *J Pure Appl Microbiol*. <https://doi.org/10.22207/JPAM.19.1.44>
- Olvera-Vargas L. 2022. Causas y Consecuencias de problemas fitosanitarios en el café de San Luis Potosí, México. *Revista Inclusiones*, 9:98–126. <https://revistainclusiones.org/index.php/inclu/article/view/3226>
- Pathan A, Cuddy W, Kimberly M, Adusei-Fosu K, Rolando C, et al. 2020. Efficacy of applied for protectant and curative activity against myrtle rust. *Plant Disease*. 104:2123-2129. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2106-RE>
- Pedraza LA, López CE and Uribe-Vélez D. 2020. Mecanismos de acción de *Bacillus* sp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biologica Colombiana* 25:112–125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Pereira N, Cervieri D, Salvador L, Weingart R and Quintão G. 2023. Urveying potentially antagonistic fungi to myrtle rust (*Austropuccinia psidii*) in Brazil: fungicolous *Cladosporium* spp. *Brazilian Journal of Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01047-6>
- Pérez-Cordero AF, Chamorro-Anaya LM, Vitola-Romero DC y Hernández-Gómez JM. 2017. Actividad antifúngica de *Cymbopogon citratus* contra *Colletotrichum gloeosporioides*. *Agronomía Mesoamericana* 28:465. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23647>
- Rao P, Navinchandra S and Jayaveera K. 2012. An important spice, *Pimenta dioica* (Linn.) Merrill: A Review. *International Current Pharmaceutical Journal* 2012, 1(8): 221-225. <https://doi.org/10.3329/icpj.v1i8.11255>
- Reiss A and Jørgensen LN. 2017. Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade®ASO (Bacillus subtilis strain QST713). *Crop Protection* 93:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.crop.2016.11.009>
- Rendón-García G, Ayvar-Serna S, Mena-Bahena A y Díaz-Nájer J. 2020. Control *in vitro* con *Trichoderma* spp., de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., causante de la antracnosis en Papaya. *Foro de Estudios Sobre Guerrero* 7:61–64.
- Reyes-Martínez, A. 2017. Chiapas exportando pimienta gorda. https://www.redinnovagro.in/casosexito/2017/Pimienta_Sociedad_Cooperativa_Pimienta_Jotiquetz.pdf
- Rodríguez-Velázquez N, Gómez-de la Cruz I, López-Guillen G, Chavéz-Ramírez B, Estrada-de los Santos P. 2025. Solation and Biological Control of *Colletotrichum* sp. Causing Anthracnose in *Theobroma cacao* L. in Chiapas, Mexico. *Journal of Fung*, 11,312. <http://dx.doi.org/10.3390/jof11040312>
- Rojas-Pérez L. 2017. Conocimiento local de la producción de *Pimenta dioica* en suelos de la región Totonaca de Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/4177>

- Romero-Óran E, Aquino-Martínez J, Ramírez-Dávila J y Gutiérrez-Ibáñez A. 2016. Biocontrol in vitro de *Uromyces transversalis* (Thümén) G. Winter (uredinales: puccinaceae) con hongos antagonistas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7 (7):1639-1649. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.156>
- Rondón O, de Albarracín NS, Rondón A. 2006. Respuesta *in vitro* a la acción de fungicidas para el control de antracnosis, *Colletotrichum gleoesporioides* Penz, en frutos de mango. Agronomía Tropical 56(2):219-235. <http://publicaciones.inia.gob.ve/index.php/agronomiatropical/issue/view/64/61>
- Santamaría F, Díaz R, Gutiérrez O, Santamaría J y Larqué A. 2011. Control de dos especies de *Colletotrichum* y su efecto sobre el color y sólidos solubles totales en frutos de papaya maradol. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 12 (1): 19-27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81318808004>
- Sarti G. 2019. Metabolitos con actividad antifúngica producidos por el Género *Bacillus*. Terra Mundus 5:40-51. <https://publicacionescientificas.uces.edu.ar/index.php/terramundus/article/view/587>
- Si B, Wang H, Bai J, Zhang Y and Cao Y. 2023. Evaluating the utility of *Simplicillium lanosoniveum*, a hyperparasitic fungus of *Puccinia graminis* f. sp. tritici, as a biological control agent against wheat stem rust. Pathogens 12(1) <https://doi.org/10.3390/pathogens12010022>
- SIAP. 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 05/05/24. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Silveira-Gramont M, Aldana-Madrid M, Piri-Santana J, Valenzuela-Quintanar A, Jasa-Silveira G, et al. 2018. Plaguicidas agrícolas: Un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 34:7-21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.01>
- Tropicos. 2024. Botanical Information System at the Missouri Botanical Garden, Missouri, USA. 05/05/24. Merr. <https://www.tropicos.org/name/22101787>
- Varveri M, Papageorgiou A, Tsitsigiannis D. 2024. Evaluation of biological plant protection products for their ability to induce olive innate immune mechanisms and control *Colletotrichum acutatum*, the causal agent of olive anthracnose. Plants, 13, 878. <https://doi.org/10.3390/plants13060878>
- Vázquez-Yanes C, Batis A, Alcocer M, Gual M y Sánchez C. 1996. *Pimienta dioica*. In Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación (pp. 198-200). http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/51-myrt2m.pdf
- Velázquez-Silva A, García-Díaz SE, Robles-Yerena L, Nava-Díaz C y Nieto-Ángel D. 2018. Primer reporte del género *Colletotrichum* spp. en frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica*) en Veracruz, México. Revista Mexicana de Fitopatología, 36:342-355. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1711-1>
- Villarreal-Delgado M, Villa-Rodríguez E, Cira-Chávez L y Estrada-Alvarado M. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. Revista Mexicana de Fitopatología, 36(1): 95-130. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>
- Ward N, Robertson C, Chanda A and Schneider R. 2012. Effects of *Simplicillium lanosoniveum* on *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, and its use as a biological control agent. The American Phytopathological Society, 102(8):749-760. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-11-0031>
- Yanti Y, Hamid H, Refflin, Yaherwandi, Nurbailis, Suriani N, Raddy M and Syahputri M. 2023. Screening of indigenous actinobacteria as biological control agents of *Colletotrichum capsici* and increasing chili production. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 33:34. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00660-9>
- Zakaria A and Mohamed M. 2020. *In vitro* and *in vivo*, biocontrol activity of extracts prepared from Egyptian indigenous medicinal plants for the management of anthracnose of mango fruits. Archives of Phytopathology and Plant Protection 53:715-730. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1794308>
- Zarta-Ávila, P. 2018. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. Tabula Rasa, (28), 409-423. <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>