

Tlamati Sabiduría



Efecto antifúngico de extractos naturales

Mariela Cano-Ponce¹
Carlos Daniel Emilio-Navarrete¹
Jhonatan Hernández-Ortega¹
Janeth Vázquez-Rodríguez¹
Francisco Israel Torres-Rojas^{1*}

¹Laboratorio de Biomedicina Molecular, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas, s/n Ciudad Universitaria, 39070, Chilpancingo, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia

18485@uagro.mx

Resumen

Desde hace varias décadas, el ser humano ha tratado de encontrar respuestas a las enfermedades de las plantas causadas por hongos fitopatógenos. Estos hongos están relacionados con la devastación de diversos cultivos, principalmente tomate, aguacate, plátano, y otros. El uso de productos químicos, particularmente pesticidas, es una estrategia común para la solución de este problema. Sin embargo, el uso excesivo de estos compuestos se relaciona con la disminución de nutrientes en el suelo. Además, existe evidencia del desarrollo de resistencia a plaguicidas por parte de hongos fitopatógenos, ocasionando fuertes complicaciones en el combate contra las invasiones fúngicas en vegetales. Considerando esto, se ha propuesto el uso de extractos naturales con buena eficacia para reducir el desarrollo y crecimiento de hongos fitopatógenos en escenarios *in vitro*. La principal ventaja de la estrategia de extractos naturales como medida preventiva y correctiva contra los hongos mencionados, es su característica biodegradable. En la presente revisión se aborda el potencial efecto antifúngico de extractos naturales, sugiriendo la utilidad particular en el combate de infestaciones asociadas a los géneros *Alternaria*, *Fusarium*, *Mycosphaerella* y *Colletotrichum* en cultivos agrícolas.

Palabras clave: Fitopatógenos, Extractos naturales, Plaguicidas, Inhibición del crecimiento.

Información del Artículo

Como citar el artículo:

Cano-Ponce M., Emilio-Navarrete C.D., Hernández-Ortega J., Vázquez-Rodríguez J., Torres-Rojas F.I. (2023). Efecto antifúngico de extractos naturales. *Tlamati Sabiduría*, 15, 46-56.

Editores Invitados: Dr. Carlos Ortuño-Pineda; Dra. Mayrut Osdely Urióstegui-Acosta

Recibido en la versión aceptada por los editores invitados: 19 de marzo 2023; Publicado: 08 de agosto 2023



Abstract

Since several decades ago, the humans have tried find answer for plants diseases caused by phytopathogenic fungus. Phytopathogenic fungus are related to the devastation of various crops, mainly tomato, avocado, banana and others. The use of chemical products, such as pesticides is the most common strategy for this problem solution. However, the excessive use of pesticides is related with nutrients decreased in the soil. In addition, there is evidence of the development of resistance to pesticides by phytopathogenic fungi. Considering this, the use of natural extracts with a good efficacy in reducing the development and growth of phytopathogenic fungi *in vitro* scenarios has been proposed. The main advantage of natural extract strategy as a preventive and remedial measure against phytopathogenic fungi is their biodegradable characteristic. In this review, the potential antifungal effect of natural extracts is addressed, a great and specific usefulness in combating infestations associated with *Alternaria*, *Fusarium*, *Mycosphaerella* and *Colletotrichum* fungus in agricultural crops.

Keywords: Phytopathogens, Natural extracts, Pesticides, Inhibition growth.

Introducción

México es un país en vías de desarrollo cuyo sector económico está centrado en actividades terciarias como el turismo y transporte, en este sentido, es importante señalar que, actividades relacionadas con el sector agropecuario representan aproximadamente el 3% del PIB (Cardona-Reséndiz *et al.*, 2018). A pesar del bajo porcentaje que esto representa, el impacto económico del cultivo de piña, plátano y mango en México es muy importante, significando tan solo en exportación de mango cifras mayores a los trescientos millones de dólares para 2013 (Pat-Fernández *et al.*, 2017). Un grave problema en los cultivos de los frutos previamente señalados es la presencia y desarrollo de microorganismos patógenos, tal es el caso de los hongos fitopatógenos, agentes causales de alteraciones fenotípicas en los productos de cultivos, que afectan particularmente su apariencia, repercutiendo en el precio de venta de las mencionadas cosechas (Godfray *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019). El tratamiento habitual para combatir las enfermedades ocasionadas por microorganismos fúngicos es considerado a base del uso de azoles (Jørgensen y Heick, 2021). El uso de este tipo de sustancias por más de cinco décadas ha ocasionado que los hongos fitopatógenos desarrollen sistemas de resistencia particularmente asociados a bombas de eflujo (Hahn, 2014), lo anterior ha ocasionado que las enfermedades en cultivos persistan y la

problemática ambiental aumente, por lo que nuevas estrategias en el combate de hongos han sido propuestas, entre las que resalta, la posibilidad de utilizar extractos de origen natural que muestran un alto porcentaje de inhibición del desarrollo fúngico y, además, son de fácil degradación en el ambiente.

Características patológicas en cultivos asociadas a la presencia de hongos fitopatógenos

Los hongos son organismos pluricelulares que se agrupan en filamentos. Son un gran problema en los sistemas de producción agrícola, ya que existen alrededor de 8,000 especies de hongos que producen enfermedades; los hongos que atacan a las plantas son denominados fitopatógenos (Shuping y Eloff, 2017). Se ha descrito a la antracnosis como una enfermedad fúngica asociada a la presencia de hongos contaminantes del género *Colletotrichum*, particularmente la especie *gloeosporioides*, que afecta diversas plantas en sus frutos, ramas, hojas e inclusive raíces. Los síntomas característicos son lesiones circulares de color marrón con aspecto aceitoso, y tonalidades oscuras que afecta a los frutos y caída prematura en flores, que con el transcurso del tiempo se expanden por toda la superficie. En cuanto a las ramas, tallos y hojas, provoca decaimiento y marchitamiento, se denomina cancro o chancro, necrosis hundida con un

aspecto húmedo, también podredumbre a nivel de ramas y tallos. Es importante señalar que, ciertos factores facilitan el desarrollo de estos hongos, particularmente las condiciones calurosas, así como la humedad relativa en lluvias, aunado a las heridas que presentan los vegetales a causa de golpes, podas mal realizadas o ataques de insectos (Veloso *et al.*, 2021). Por otro lado, la enfermedad Bayoud es ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis*, la cual se manifiesta comenzando con el marchitamiento progresivo, así como muerte foliar de las plantas que debido a la afectación de esos órganos pueden llegar a ocasionar la muerte de toda la planta (Hernández y Santos-Gutiérrez, 2021). De manera importante la enfermedad denominada Sigakota Negra es caracterizada por que las plantas afectadas particularmente por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* presentan manchas cloróticas pequeñas que aparecen en la superficie inferior denominada abaxial. Posteriormente las manchas crecen convirtiéndose en rayas de color marrón, que con el paso del tiempo las manchas se vuelven más oscuras y muy perceptibles a la vista (Bennett y Arneson, 2003).

Uno de los hongos con mayor importancia agrícola es *Alternaria Solani*, agente causal de una enfermedad clásica de plantas de tomate y papa, llamada “tizón temprano”, caracterizada por la lesión de las raíces y tallo o la infección foliar de las hojas (Chen-Lopez, 2021).

Principales características de hongos fitopatógenos

El género *Colletotrichum* se distingue como un grupo de hongos patógenos de diversas plantas silvestres y muchas plantas en cultivo. Forman parte de un grupo llamado ascomicetos que atacan los cultivos en diferentes regiones tanto tropicales como subtropicales (Lira-Gómez, 2018). Entre las especies fitopatógenas de *Colletotrichum* más comunes se encuentra *Colletotrichum Gloeosporioides*, agente causal de la Antracnosis, que afecta a todas las especies y variedades de plantas de cultivos, comúnmente a los plátanos, aguacate, mango, cítricos, entre otros. Su presencia se manifiesta usualmente en etapa postcosecha ocasionando importantes pérdidas

económicas (Basulto *et al.*, 2011). El género *Colletotrichum* presenta características morfológicas importantes en su identificación como tamaño, forma, color de colonia, textura, con un crecimiento micelial circular con un margen entero, por lo regular de color blanco que contiene masas conidiales de color naranja en el centro de las colonias (Rojo-Báez *et al.*, 2017). El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas, con capacidad de desarrollo a 37°C, son considerados oportunistas. Al microscopio, la fiálide es generalmente fina, con forma de botella; simple o ramificada, sus macroconidios característicos presentan forma de media luna, hialinos y septados (Tapia y Amaro, 2014).

En relación a las características morfológicas del hongo *Mycosphaerella fijiensis* son sus ascosporas obtenidas de tejidos dañados, se denotan hialinas, globosas, con un septo y una pequeña constricción de éste, formando dos células unidas, la cual, una de ellas es ligeramente más abultada que la otra; por otro lado, los hongos que pertenecen al género *Alternaria* se han caracterizado por ser hongos dematiáceos, los cuales se describen por ser filamentosos y presentar un color oscuro. La mayoría de las especies que pertenecen a este género son hongos que se alimentan de materia orgánica o en descomposición, suelen ser cosmopolitas (Pavón-Moreno *et al.*, 2012).

Estrategias comúnmente utilizadas en el combate para hongos fitopatógenos

El impacto nocivo de la presencia de hongos fitopatógenos ha intentado ser remediado a través del desarrollo de métodos rápidos y precisos en donde ha sido necesario anteponer ciertos aspectos, particularmente la relación costo-beneficio para el productor, en este sentido, una de las alternativas más comunes ha sido la utilización de productos químicos (Alburquerque-Andrade y Gusqui-Mata, 2018).

Benzimidazoles

Los benzimidazoles son fungicidas utilizados en bajas dosis de manera comercial para el control de enfermedades y plagas. Son sistémicos y tienen

un amplio efecto curativo para las plantas, sin embargo, en los últimos años se han reportado cepas con resistencia a este tipo de fungicidas, lo que ha limitado su uso en algunos países bananeros del mundo. Dentro de los benzimidazoles podemos encontrar productos como Benomil, uno de los más utilizados en banano, también encontramos el metil tiofanato y el carbendazim. Estos actúan sobre la síntesis β -tubulina, proteína encargada de la formación de los microtúbulos necesarios durante la división celular (Pérez *et al.*, 2003). Para el combate de la contaminación mediada por especies fúngicas del género *Fusarium* es ampliamente utilizada la estrategia basada en fungicidas sistémicos del grupo de los benzimidazoles en donde se encuentran el benomil, carbendazim, tiabendazol, y tiofanato (Smith-Barton *et al.*, 2004; Villa-Martínez *et al.*, 2015). Es importante señalar que el uso no controlado de carbendazim ha sido relacionado con el desarrollo de resistencia fúngica (Alburquerque-Andrade y Gusqui-Mata, 2018).

El biocontrol de *Colletotrichum* spp., habitualmente se realiza por medio del uso de fungicidas centrados en el control particular de la antracnosis, sin embargo, el uso indiscriminado de los mencionados fungicidas ha generado ciertas consecuencias no positivas para la salud humana y el desarrollo de resistencia a antifúngicos (Sandoval-Chávez *et al.*, 2011). Habitualmente, los fungicidas utilizados para el combate de *Colletotrichum* pertenecen a la familia de los benzimidazoles, particularmente el Antracol 70 PM en las afectaciones de mango asociadas a este género de hongos (Landerio-Valenzuela *et al.*, 2016), Trifloxistrobin en afectaciones en cultivos de papaya (Arias y Carrizales, 2007), el Benomil en cultivo de cítricos (Villa-Camacho, 2019), adicionalmente, el uso de compuestos inorgánicos como el oxiclورو de cobre ha sido reportado en cultivos de cítricos también (De la Cruz *et al.*, 2014).

Inhibidores de la dimetilación (DMI)

La mayor parte los ingredientes activos pertenecientes a la clase de los DMI son considerados como un sólo grupo de productos,

entre los cuales encontramos algún grado de resistencia cruzada. La mezcla de dos o más DMI (comúnmente denominados triazoles) puede ser utilizada para garantizar una buena eficacia biológica, sin embargo, esto no debe ser considerado una estrategia anti-resistencia. Todos los miembros de este grupo afectan la biosíntesis del ergosterol. Dentro de este grupo, los productos comúnmente utilizados para el control de Sigatoka negra son: difenoconazole, epoxyconazole, fenbuconazole, flutriafol, metconazole, propiconazole, tebuconazole, tetraconazole y triadimenol (BWG, 2018).

Aminas

Las aminas también actúan sobre la síntesis del ergosterol, pero en sitios diferentes a los DMI. Dentro de este tipo de compuestos, el primer producto introducido para el combate de la Sigatoka negra en banano fue el tridemorf en 1981, y hasta ahora no se ha reportado resistencia en cultivos agrícolas; el tridemorf se encuentra en proceso de salida, pero se mantiene el fenpropimorf, la spiroxamina y el fenpropidin como moléculas que pertenecen a esta familia (Llarena-Perea, 2013).

Compuestos químicos en el combate contra especies de Alternaria

La presencia de especies del género *Alternaria* en cultivos agrícolas es un fenómeno común y de fuerte impacto por lo que el desarrollo de productos químicos para su combate es algo necesario. Derivado de esto, se ha sugerido el uso de ciertos fungicidas como Signum FR, en el cual encontramos el Boscalid (Carboxamida) como ingrediente activo; el producto Cabrio, contiene como ingrediente activo al Pyraclostrobin (Estrobilurinas) y, adicionalmente el uso de Azoxistrobina ha sido probado, éste último tiene como ingrediente activo al Azoxistrobin (Estrobilurinas); todos los productos mencionados son considerados de acción rápida y aplicados en los frutales o plantaciones cuando existen indicios de lesión causada por especies de *Alternaria* (Félix-Gastelum y Gálvez-Figueroa, 2002).

Adicionalmente se sugiere la utilización de fungicidas protectores como el Bellis, cuyos compuestos activos son el Boscalid y Pyraclostrobin, clasificándolo dentro de los grupos de Estrobilurinas y Carboxamidas, los cuales permiten controlar la aparición del hongo, y se aplican al iniciar la floración de la planta, finalmente, Mancozeb, teniendo como ingrediente activo Mancozeb, clasificado dentro de Fungicidas Multi-sitio que puede utilizarse en época de lluvias para asegurar cultivos más resistentes, o bien, cuando las lesiones ya se han presentado como una medida de remediación (Gómez-Reconcó y Núñez-Espinoza, 2019). En relación con lo anterior y considerando el creciente deterioro de los suelos, tanto de forma química, física como biológica, se han explorado estrategias amigables con el medio ambiente y seguras para los consumidores; usualmente, los planes para el control de plagas en cultivos contemplan el uso de productos químicos. Entonces, nosotros abordamos reportes del control de crecimiento fúngico de los géneros *Alternaria*, *Fusarium*, *Mycosphaerella* y *Colletotrichum* que se han asociado con grandes pérdidas agrícolas, por lo que la implementación del uso de extractos naturales en los planes de cultivo pudiera otorgar un panorama alentador para los productores (Lira-De león *et al.*, 2014).

Eficacia de extractos vegetales como sustancias biorremediadores antifúngicas

Alternaria

En relación con las especies del género *Alternaria* se han probado una gran variedad de extractos naturales entre los que se destaca el uso de extractos obtenidos a partir de romero (*Rosmarinus officinalis*), salvia (*Salvia officinalis*) o esclarea (*Salvia sclarea*), observaciones realizadas utilizando extractos de los mencionados vegetales han reportado efectos que se pueden equiparar a los de fungicidas comerciales, señalando que la mejora en la optimización de su uso se mantiene en desarrollo (Díaz-Dellavalle *et al.*, 2011). Extractos metanólicos de menta, eucalipto y lavándula han resultado eficaces en el combate de la mancha foliar de la papa ocasionada por *Alternaria*

Alternata (Zaker y Mosallanejad, 2010). En este sentido, se ha probado con prometedores resultados a extractos de semillas de espina de camello (*Vachellia erioloba*) que han resultado eficaces contra la especie *A. alternata* (Al-Askar, 2012), en relación con la potencial utilidad de extractos de la planta morera (*Morus alba*), destaca una actividad antifúngica importante de los extractos metanólicos y etanólicos de corteza de raíz (Kwon *et al.*, 2019). Entre las especies de *Alternaria* de importancia agrícola se localiza *Alternaria solani*, agente causal de la enfermedad del tizón tardío en cultivos de tomate, estudios realizados con ácido gálico y sus derivados (ácidos siríngico y pirogálico) han demostrado importantes resultados terapéuticos en las plantas de tomate tratadas, induciendo, además, mejoras en el aspecto y producción de los organismos vegetales (El-Nagar *et al.*, 2020).

Fusarium

El género de hongos *Fusarium* agrupa una amplia variedad de especies fitopatógenas, entre los cuáles *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* presenta una disminución en su desarrollo al ser tratados con extractos metanólicos de raíz de rábano (*Raphanus sativus*), y estos efectos son mayores que al usar los extractos de frutas y hojas. Así mismo, otra forma de tratamiento para esta especie es con neem (*Azadirachta indica*), pues sus semillas han demostrado una eficacia similar a los productos químicos comerciales, verbigracia, carbofuran y bavistin, por lo que se destaca su capacidad antifúngica, además se recalca que el estado de Guerrero cuenta con esta planta (Hadian *et al.*, 2011; Javaid y Bashir, 2015). El tratamiento de *Fusarium verticillioides* con extracto de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), resulta ser eficaz modulando negativamente el crecimiento del hongo y se sugiere este tipo de extracto podría ser un excelente biorremediador (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2020). De manera adicional, se ha propuesto que extractos naturales de pimienta/mostaza, casia y clavo pudieran ser incorporados en los planes de cultivo a modo de prevención, derivado de su actividad antifúngica probada contra especies de *Fusarium* (Bowers y Locke, 2000). Finalmente,

en relación a especies *Fusarium*, extractos orgánicos del árbol ciprés del Atlas (*Cupressus atlántica*) y del árbol chicle de coral (*Eucalyptus torquata*) son capaces de inhibir el crecimiento micelial y esporulación de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*, esto debido principalmente a su contenido de polifenoles y flavonoides (Bouhlali et al., 2020).

Mycosphaerella

La Sigatoka negra causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* M es clasificada como una de las plagas más destructivas para plantaciones bananeras causando grandes pérdidas económicas para los productores. El manejo de ésta, ha sido a través de productos químicos, pero se ha demostrado que el uso de fungicidas hechos a base de extractos naturales tales como *Momordica charantia* y *Senna reticulata* han mostrado tener un gran efecto en el control inhibitorio contra dicha plaga, de igual manera este método de acción es innovador, sustentable y respetuoso para el ambiente (Osorio-Salamanca, 2016). Diversos extractos vegetales a partir de neem (*Azadirachta indica*), vermonia amarga (*Vernonia amigdalina*) y de albahaca de clavo (*Ocimum gratissimum*), han mostrado importantes resultados en la inhibición del crecimiento y desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*, el agente causal de sigatoka negra en las plantas de banano (Okigbo y Emoghene, 2004). De igual manera, la inhibición del crecimiento de *Mycosphaerella fijiensis* ha sido reportado por acción del extracto metanólico de la especie *Topobea* cf *discolor* (Mosquera et al., 2009) así como los extractos del árbol de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) (Gutiérrez-Jiménez et al., 2017); es importante señalar que el gel de sábila (*Aloe vera*) ha mostrado eficacia antifúngica similar a la que poseen fungicidas químicos como el propiconazol en el combate de la proliferación de *Mycosphaerella fijiensis* (Jaramillo et al., 2017). Una especie del género *Mycosphaerella* que también se caracteriza por ocasionar la enfermedad de sigatoka negra es el hongo *Mycosphaerella musicola*. En relación con esto, extractos de la planta conocida como bigotes de gato (*Orthosiphon diffusus* Benth) y de la

planta conocida como redermachera (*Redermachera xylocarpa* Roxb) han resultado ser muy eficientes en la inhibición del desarrollo micelial de la especie micótica (Aman y Rai, 2015). La aplicación del quitosano, el cual, teniendo como principal ingrediente activo, la “Quitosa” extraída de la pared celular de hongos y levaduras tales como ascomicetos, zigomicetos, basidiomicetos y deuteromicetos, puede clasificarse dentro de los extractos naturales y es una alternativa para el control del hongo *Mycosphaerella fijiensis*, dicho extracto mostró una disminución en el crecimiento micelial. A través de un estudio *in vitro* se observó una buena efectividad contra *M. fijiensis* pudiéndose comparar con algunos químicos utilizados para la eliminación de mencionado hongo (Ayala et al., 2014).

Colletotrichum

La antracnosis relacionada con la infección por diversas especies del hongo *Colletotrichum* puede ser combatida mediante el uso de diversos extractos naturales, particularmente el extracto de lavanda (*Lavandula officinalis*) ha mostrado hasta un 66.23% de inhibición en el desarrollo de *Colletotrichum acutatum*, el extracto de manzanilla (*Chamaemelum nobile*) con 52.78 % de inhibición (Alzate et al., 2009). Para este mismo microorganismo la presencia de los componentes timol y citral de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y limoncillo (*Cymbopogon citratus*) son capaces de inhibir en un 100% el desarrollo micelial en un periodo de once días (García-Mateos et al., 2021). El extracto metanólico de la higuerilla (*Phytolacca icosandra*) ha mostrado hasta un 70% de inhibición en el desarrollo de *colletotrichum gloesporioides* (Pérez-Cordero et al., 2011), lo que puede ser de gran utilidad en el control de antracnosis en frutos postcosecha, demostrando así que la funcionalidad de los diversos extractos naturales puede ser dependiente de la especie a retar.

Como resultado de la presente revisión, la utilidad de extractos naturales en el combate de hongos fitopatógenos se puede apreciar en la tabla 1.

Hongo	Principal cultivo afectado	Control usual (nombre comercial)	Extracto orgánico probado	Eficiencia del extracto contra el hongo
<i>Alternaria sp.</i>	Tomate (<i>solanum lycopersium</i>) Papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	Signum FR®	Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	20.4 %
			Salvia (<i>salvia officinalis</i>)	41.9 %
		Cabrio®	Semillas de espina de camello (<i>vachellia erioloba</i>)	—
			Morera (<i>Morus alba</i>)	5.1 %
<i>Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici</i>	Tomate (<i>solanum lycopersium</i>)	Bavistin®	Raíz de rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	95 %
		Benomil	Hoja de rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	39 %
		Carbofuran	Semillas de Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	85 %
		Carbendazim		
		Tiabendazol	Pimienta (<i>Piper nigrum</i>)	99.9 %
		Tifanato		
<i>Micosphaerella Fijiensis</i>	Plátano (<i>Musa × paradisiaca</i>)	*Benzimidazoles (MBC)	Melón amargo (<i>Momordica charantia</i>)	89 %
			Tarantán (<i>Senna reticulata</i>)	92.3 %
		*Inhibidores de la di-metilación (DMI)	Albaca de clavo (<i>Ocimum Gratissimum</i>)	70.4%
			*Carrizos (<i>Topobea cf discolor</i>).	100%
		*Aminas	*Bigotes de gato (<i>Orthosiphon diffusus Benth</i>)	67.2 %
			*Árbol de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	100 %
		*TRIDENDE 86 OL®.		
		*CALIXIN 86 OL®	Aloe vera (<i>Aloe vera</i>)	44.84 %
<i>Colletotrichum spp.</i>	Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Benzi midiazoles	Lavanda (<i>Lavandula officinalis</i>)	66.23 %
	Plátano (<i>Musa × paradisiaca</i>)		Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	100 %
	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Antracol	Limoncillo (<i>Cymbopogon citratus</i>)	100 %
	Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)	Trifloxistrobin	Metanolico de la higuera (<i>Phytolacca icosandra</i>)	70 %
		Benomil	Manzanilla (<i>Chamaemelum nobile</i>)	52.78%

Tabla 1. Potencial utilidad de extractos naturales en el combate de hongos fitopatógenos.

Conclusiones

Actualmente existe un amplio panorama de oportunidad para que diversos extractos naturales sean una alternativa viable en estrategias de combate a plagas relacionadas con efectos fitopatógenos, además, este tipo de extractos pueden ser de fácil acceso para la mayoría de productores de cultivos de una gran variedad de materia prima para el consumo humano como tomate (*Solanum lycopersicum*), aguacate (*Persea americana*), plátano (*Musa x paradisiaca*), entre otros. Los extractos de pimienta, limoncillo, tomillo, árbol de canela y carrizos, muestran porcentajes de eficacia de hasta un 100% en la inhibición del desarrollo de hongos fitopatógenos en particular abordados en esta revisión, incluso superando a productos químicos comercializados que contienen ingredientes activos a derivados de benzimidazoles, que en los pequeños sistemas de producción no son accesibles por sus costos o demanda, esto último, sin dudas es una excelente opción a desarrollar.

Referencias

- Al-Askar, A.A.A. (2012). In vitro antifungal activity of three Saudi plant extracts against some phytopathogenic fungi. *Journal of Plant Protection Research*, 52, 458-462.
- Alburqueque-Andrade, D., Gusqui-Mata, R. (2018). Effectiveness of Chemical Fungicides for in Vitro Control of Different Phytopathogens in Controlled Conditions. *Arnaldia*, 25, 489-498.
- Alzate, O., Diego, A., Mier, M., Gonzalo, I., Afanador, K., García, P.C.M. (2009). Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y sus componentes mayoritarios. *Vitae*, 16, 116-125.
- Aman, M., Rai, V.R. (2015). Antifungal activity of fungicides and plant extracts against yellow sigatoka disease causing *Mycosphaerella musicola*. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 5, 277-284.
- Arias, B., Carrizales, L. (2007). Control químico de la antracnosis del mango (*Mangifera indica* L.) en pre y postcosecha en el municipio Cedeño, estado Monagas, Venezuela. *Bioagro*, 19, 19-25.
- Ayala, A., Colina, M., Molina, J., Vargas, J., Rincón, D., Medina, J., Rosales, L., Cárdenas, H. (2014). Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano contra el hongo *Mycosphaerella Fijensis Morelet* que produce la Sigatoka negra que ataca al plátano. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15, 312-338.
- Basulto, S.F., Díaz, P.R., Gutiérrez, A.O., Santamaría, F.J., Larqué, S.A. (2011). Control de dos Especies de *Colletotrichum* causantes de Antracnosis en Frutos de Papaya Maradol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 631-643.
- Bennett, R.S., Arneson, P.A. (2003). Sigatoka Negra. <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/fungalasco/pdlessons/Pages/BlackSigatokaEspanol.aspx>.
- Bouhlali, E.D.T., Derouich, M., Ben-Amar, H. (2020). Exploring the potential of using bioactive plant products in the management of *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*: the causal agent of Bayoud disease on date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 9, 46.
- Bowers, J., Locke, J. (2000). Effect of Botanical Extracts on the Population Density of *Fusarium oxysporum* in Soil and Control of *Fusarium* Wilt in the Greenhouse. *Plant Disease*, 84, 300-305.
- BWG (2018). Banana Working Group: Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). https://www.frac.info/docs/default-source/working-groups/banana-group/group/banana-wg-meeting-minutes-2018---spanish.pdf?sfvrsn=f5ae489a_2
- Cardona-Reséndiz, G.A., Cardenete-Flores, M.A., Martínez-García, C.I. (2018). Estructura económica mexicana: sectores claves, estratégicos, impulsores e independientes 2012. *Revista de economía*, 35, 9-50.
- Chen-Lopez, J. (2021). Perfil de agente patógeno: *Alternaria*.

<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/perfil-de-agente-patogeno-alternaria/>

- Cruz-Rodríguez, R.I., Cruz-Salomón, A., Ruiz-Lau, N., Pérez-Villatoro, J.I., Esquinca-Avilés, H.A., Meza-Gordillo, R. (2020). Potential Application of *Crotalaria longirostrata* Branch Extract to Reduce the Severity of Disease Caused by *Fusarium*. *Agronomy*, 10, 524.
- De la Cruz, M.T., Arenas, M.G.H., Pérez, L.A.A. (2014). Efecto del trifloxystrobin sobre frutos de papaya (*Carica papaya* L.) infectados por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y *Sacc.*, en postcosecha. *Kuxulkab'*, 17 (32).
- Díaz-Dellavalle, P., Cabrera, A., Alem, D., Larrañaga, P., Ferreira, F., Dalla-Rizza, M. (2011). Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71, 231-239.
- El-Nagar, A., Elzaawely, A.A., Taha, N.A., Nehela, Y. (2020). The Antifungal Activity of Gallic Acid and Its Derivatives against *Alternaria solani*, the Causal Agent of Tomato Early Blight. *Agronomy*, 10, 1402.
- Félix-Gastelum, R., Gálvez-Figueroa, C.A. (2002). Control del moho negro, *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) en el fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) considerando unidades de calor y variables ambientales para la aplicación de Azoxystrobin en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20, 72-76.
- García-Mateos, M.R., Acosta-Ramos, M., Rodríguez-Pérez, E., Vásquez-Sánchez, J., Hernández-Ramos, L. (2021). Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro, en periodo de floración y poscosecha del fruto de *Carica papaya*. *Polibotánica*, 51, 213-228.
- Godfray, H.C.J., Mason-D'Croz, D., Robinson, S. (2016). Food system consequences of a fungal disease epidemic in a major crop. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 371, 20150467.
- Gómez-Reconcó, M.C., Núñez-Espinoza, C.J. (2019). Evaluación de fungicidas para el control de *Alternaria* spp. en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Grado no publicada. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b3ea4fc6-c1af-4c1a-a551-81906796d298/content
- Gutiérrez-Jiménez, E., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Bolaños, L., Samaniego-Gaxiola, J.A., García-González, F. (2017). Effect of natural oils against *Mycosphaerella fijiensis* under in vitro conditions and detection of active plant chemicals. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36, 141-150.
- Hadian, S., Rahnama, K., Jamali, S., Eskandari, A. (2011). Comparing neem extract with chemical control on *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* complex of tomato. *Advances in Environmental Biology*, 5, 2052-2057.
- Hahn, M. (2014). The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: *Botrytis* as a case study. *Journal of Chemical Biology*, 7, 133-41.
- Hernández, J.M., Santos-Gutiérrez, E. (2021). Fusariosis de la palmera canaria. <https://gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2020/10/Fusariosis.pdf>.
- Jaramillo, A., Barrezueta, S., Romero, L.E., Herrera, C.S. (2017). Efecto biofungicida del gel de Aloe vera sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musa (AAA). *Scientia Agropecuaria*, 8, 273-278.
- Javaid, A., Bashir, A. (2015). Radish extracts as natural fungicides for management of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici*, the cause of tomato wilt. *Pakistan Journal of Botany*, 47, 321-324.
- Jørgensen, L.N., Heick, T.M. (2021). Azole Use in Agriculture, Horticulture, and Wood Preservation - Is It Indispensable? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 730297.
- Kwon, O.C., Ju, W.T., Kim, H.B., Kim, Y.S. (2019). Antifungal activities of extracts from different parts of mulberry plant against *Alternaria alternata* and *Fusarium* sp. *International Journal of Industrial Entomology*, 38, 6-13.

- Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F.M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, L.A., Aguado-Rodríguez, G.J. (2016). Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 1189-1198.
- Li, C.X., Zhu, J.Z., Gao, B.D., Zhu, H.J., Zhou, Q., Zhong, J. (2019). Characterization of a novel ourmia-like mycovirus infecting *Magnaporthe oryzae* and implications for viral diversity and evolution. *Viruses*, 11, 223.
- Lira-Gomez, F. (2018). *Colletotrichum*: características, taxonomía, morfología. <https://www.lifeder.com/colletotrichum/>
- Lira-De León, K.I., Ramírez-Mares, M.V., Sánchez-López V., Ramírez-Lepe, M., Salas-Coronado, R., Santos-Sánchez, N.F., Valadez-Blanco, R., Hernández-Carlos, B. (2014). Effect of crude plant extracts from some Oaxacan flora on two deleterious fungal phytopathogens and extract compatibility with a biofertilizer strain. *Frontiers in Microbiology*, 5, 383.
- Llarena-Perea, J.M. (2013). Efecto del uso del funguicida Tridemorph como alternativa en el control de *Sigakoa negra* (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas, Universidad Rafael Landívar. Guatemala, 55p.
- Llanera-Julio.pdf (url.edu.gt)
- Mosquera, O.M., Echeverry, L.M., Osorio, JN. (2009). Evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales sobre el hongo *Mycosphaerella fijiensis*. *Scientia et Technica*, 15, 41, 232-236.
- Okigbo, R.N., Emoghene, I.A. (2004). Antifungal Activity of Leaf Extracts of Some Plant Species on *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, The Causal Organism of Black Sigatoka Disease in Banana (*Musa acuminata*). *King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang Science Journal Thailand*, 4, 20-31.
- Osorio-Salamanca, G.P. (2016). Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la Sigakota Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano. Tesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5095>.
- Pat-Fernández, V.G. Caamal-Cauich, I., Caamal-Pat, Z.H. (2017). Comportamiento y competitividad del mango de México en el mercado mundial. https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-ECOH-T_III/HCSEH_TIII_6.pdf.
- Pavón-Moreno, M.Á., González-Alonso, I., Martín-de Santos, R., García-Lacarra, T. (2012). Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutrición Hospitalaria*, 27, 1772-1781.
- Pérez, L., Batlle, A., Hernández, A., Pérez, M., Trujillo, R., Álvarez, C. Méndez, A. (2003). Evolución de la sensibilidad a fungicidas de las poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en banano en Cuba. *Fitosanidad*, 7, 49-54.
- Pérez-Cordero, A., Rojas-Sierra, J., Chamorro-Anaya, L., Pérez-Palencia, K. (2011). Evaluación in vitro de la actividad inhibitoria de extractos vegetales sobre aislados de *Colletotrichum* spp. *Acta Agronómica*, 60, 158-164
- Rojo-Báez, I., Álvarez-Rodríguez, B., García-Estrada, R.S., León-Félix, J., Sañudo-Barajas, A., Allende-Molar, R. (2017). Situación actual de *Colletotrichums* spp. en México: Taxonomía, caracterización, patogénesis y control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35, 549-570.
- Sandoval-Chávez, R.A., Martínez-Peniche, R.Á., Hernández-Iturriaga, M., Fernández-Escartín, E., Arvizu-Medrano, S., Soto-Muñoz, L. (2011). Control biológico y químico contra *Fusarium stilboides* en pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en poscosecha. *Revista Chapingo: Serie horticultura*, 17, 161-172.
- Shuping, D.S.S., Eloff, J.N. (2017). The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: a review. *Africl Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*, 14,120-127.
- Smith-Barton, E., Velázquez-Villalta, M. (2004). Opciones Tecnológicas para la producción de plátano (*Musa AAB*) para exportación en la región atlántica de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9099.pdf>. Accesado el 04/03/2022

- Tapia, C., Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. Revista Chilena de Infectología, 31(1), 85-86.
- Veloso, J.S., Lima, W.G., Reis, A., Doyle, V.P., Michereff, S.J., Câmara, M.P.S. (2021). Factors influencing biological traits and aggressiveness of *Colletotrichum* species associated with cashew anthracnose in Brazil. *Plants Pathology*, 1, 167-180.
- Villa-Camacho, A.O. (2019). Control químico de Antracnosis (*colletotrichum* spp.) en flor y fruto en Lima 'Persa'. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrohídrica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México, 38p.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/fc1c5cd6-8c38-4709-af43-d757ff198de2/content>
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H.A., Basurto-Sotelo, M, Soto-Parra, J.M., Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64, 194-205.
- Zaker, M., Mosallanejad, H. (2010). Antifungal activity of some plant extracts on *Alternaria alternata*, the causal agent of alternaria leaf spot of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13, 1023-1029.