

Biological Control of *Planococcus citri* by Entomopathogenic Fungi: A Review of Mechanisms and Applications

Control Biológico de *Planococcus citri* mediante Hongos Entomopatógenos: Una Revisión de Mecanismos y Aplicaciones

Solange del Rocío Lituma Carriel¹  

¹Universidad Estatal de Milagro. Ecuador.

Cite as

Lituma Carriel SdR. Biological Control of *Planococcus citri* by Entomopathogenic Fungi: A Review of Mechanisms and Applications. SAP Biomedical & Chemical Engineering Innovation. 2024; 3:128. <https://doi.org/10.56294/evk2024128>

Publication History

Submitted: 15-08-2023

Revised: 01-01-2024

Accepted: 23-05-2024

Published: 24-05-2024

Corresponding Author

Solange del Rocío Lituma Carriel 

ABSTRACT

Introduction: entomopathogenic fungi (EPFs) represent a sustainable and effective alternative for the biological control of agricultural pests, such as the citrus scale (*Planococcus citri*), which significantly affects lemon crops in Ecuador. These fungi, including *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Lecanicillium lecanii*, act as natural insect pathogens, reducing dependence on chemical pesticides.

Objective: to review the potential of EPFs as biological control agents against *Planococcus citri*, analyzing their mechanisms of action, efficacy, and applications in Ecuadorian agriculture.

Development: EPFs infect scale insects by adhesion, germination, penetration, and colonization, producing enzymes and toxins that degrade the insect's cuticle. Studies show that strains such as *Metarhizium anisopliae* and *Lecanicillium lecanii* are especially effective against *P. citri* nymphs and adults. However, their effectiveness can be limited by environmental factors such as humidity, temperature, and the presence of waxy coatings on the insect.

Conclusions: HEPs are a promising tool for integrated pest management in citrus, although their success depends on optimal environmental conditions and stable formulations. Further local research evaluating native strains and application strategies is recommended to maximize their effectiveness in controlling *P. citri*.

Keywords: Entomopathogenic Fungus; *Planococcus Citri*; Biological Control; Invertebrates; Bioinsecticide.

RESUMEN

Introducción: los hongos entomopatógenos (HEPs) representan una alternativa sostenible y eficaz para el control biológico de plagas agrícolas, como la cochinilla de los cítricos (*Planococcus citri*), que afecta significativamente cultivos de limón en Ecuador. Estos hongos, entre los que destacan *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii*, actúan como patógenos naturales de insectos, reduciendo la dependencia de pesticidas químicos.

Objetivo: revisar el potencial de los HEPs como agentes de control biológico contra *Planococcus citri*, analizando sus mecanismos de acción, eficacia y aplicaciones en el contexto de la agricultura ecuatoriana.

Desarrollo: los HEPs infectan a las cochinillas mediante adhesión, germinación, penetración y colonización, produciendo enzimas y toxinas que degradan la cutícula del insecto. Estudios demuestran que cepas como *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii* son especialmente efectivas contra ninfas y adultos de *P. citri*. Sin embargo, su eficacia puede verse limitada por factores ambientales como la humedad, temperatura y la presencia de capas cerosas en el insecto.

Conclusiones: los HEPs son una herramienta prometedora para el manejo integrado de plagas en cítricos, aunque su éxito depende de condiciones ambientales óptimas y formulaciones estables. Se recomienda profundizar en investigaciones locales que evalúen cepas nativas y estrategias de aplicación para maximizar su efectividad en el control de *P. citri*.

Palabras clave: Hongo Entomopatógeno; *Planococcus Citri*; Control Biológico; Invertebrados; Bioinsecticida.

INTRODUCCIÓN

Los hongos entomopatógenos (HEPs) parasitan y matan artrópodos en varios de sus estadios ya sea, como larvas o adultos.⁽¹⁾ En los últimos años, se han identificado 90 géneros y 700 especies de HEPs en diversas condiciones, de estos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, son especies que albergan una amplia gama de huéspedes.⁽²⁾

En el mercado internacional algunos productos a base de HEPs tienen como componente principal a *Beauveria Bassiana*.⁽³⁾ Los pulgones y las moscas blancas son repelidos por productos micoinsecticidas que han sido creados para combatir una variedad de plagas, incluida la langosta del desierto y el escarabajo de la patata de Colorado en Rusia. Al igual que los mencionados anteriormente existen otros productos que son sustitutos ambientalmente beneficiosos de los pesticidas sintéticos.⁽⁴⁾

Debido a su capacidad entomopatógena han sido empleados como método de control biológico, dando como resultado productos comerciales. Las formulaciones suelen consistir en una suspensión de esporas del hongo o del consorcio entomopatógeno, estas pueden ser aplicadas en algunas partes de la planta dentro del cultivo.⁽⁵⁾

En Chile, según el Servicio Agrícola y Ganadero, están registrados 34 productos a base de HEPs. El instituto de investigaciones agropecuarias de este país ha desarrollado formulaciones más estables mediante encapsulados, ya que uno de los principales inconvenientes del uso de HEPs es la exposición a la humedad relativa y radiación ultravioleta. La presentación de perlas recubiertas ha mostrado mayor viabilidad y favorecen el crecimiento del hongo al absorber el vapor de agua del ambiente.⁽⁵⁾

En Colombia, se encuentran 47 compañías que comercializan hongos y consorcios entomopatógenos, de estos últimos se encuentran asociaciones entre *Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliarm* + *Purpureocillium lilacinum*; *Hirsutella thompsonii* Fisher + *Akanthomyces* sp.; *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin + *Paenibacillus popilliae* (Dutky); entre otros.⁽⁶⁾

Los HEPs sirven como un control biológico de plagas como la cochinilla. En el estudio de Góngora y Gil-Palacio,⁽⁷⁾ se analizaron cepas de *Metarhizium anisopliae* y *Metarhizium robertsii* contra este insecto en plantas en condiciones controladas se concluyó que *Metarhizium robertsii* debería ser usado en estudios posteriores ya que muestra una mayor tasa de mortalidad comparada con los métodos evaluados en el estudio.

El estudio de Cloyd y Herrick⁽⁸⁾ sugiere que los tratamientos aplicados en base en HEPs y los aplicados en conjunto con reguladores del crecimiento de insectos, no fueron efectivos debido a la capa cerosa que cubre a las cochinillas. Otros inconvenientes relacionados al uso de HEPs fueron las condiciones desfavorables de humedad relativa o temperatura, además de que los bioinsecticidas dejaban restos blanquecinos en las hojas que pueden afectar su estética y por consiguiente su precio de venta.

En otro estudio en México se determinó la patogenicidad de tres especies de HEPs: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii* en ninfas de *Dactylopius opuntiae*. Se mostraron resultados más efectivos con las últimas dos cepas. Siendo *Metarhizium anisopliae*, la cepa con mayor eficacia en el segundo instar de la plaga.⁽⁹⁾

DESARROLLO

Tabla 1. Taxonomía <i>Planococcus citri</i> (Risso)	
Reino	Animalia
Orden	Hemiptera
Suborden	Sternorrhyncha
Superfamilia	Coccoidea
Familia	Pseudococcidae
Subfamilia	Pseudococcinae
Género	<i>Planococcus</i> Ferris, 1950
Especie	<i>Planococcus citri</i> (Risso, 1813)
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

La cochinilla de los cítricos *Planococcus citri* (Risso, 1813) es un insecto chupador del orden hemiptera y de la familia Pseudococcidae que se alimenta de la savia de las plantas,^(10,11,12) tiene una extensa distribución geográfica según la base de datos Global Biodiversity Information Facility⁽¹³⁾ cuenta con 703 registros georreferenciados incluido Ecuador el cual fue registrado como introducido en el año 2019 por Pagad,⁽¹⁴⁾ las temperaturas óptimas para mayor rendimiento poblacional está entre 28° a 30° C,⁽¹⁵⁾ es una plaga que afecta desde noviembre del 2020 hasta la actualidad en las zonas forestales y urbanas de Guayaquil, Ecuador.

Morfología

Los huevos son pequeños, de forma ovalada y color amarillo claro cuando son recién puestos. A medida que el embrión se desarrolla, el huevo adquiere un color amarillo oscuro. Los huevos se depositan en un ovisaco blanco formado por secreciones filamentosas de la hembra, esta estructura tiene una forma casi recta y mide entre 0,38 y 0,75 mm de longitud en este estadio machos y hembras son iguales.⁽¹⁶⁾

La ninfa I es la primera etapa de desarrollo de las cochinillas, son pequeñas de color amarillo claro y forma ovalada alargada. Cuando eclosiona, permanece entre 2 y 3 días en el ovisaco, y luego se traslada a las nervaduras de las hojas. Tiene pequeñas antenas y sus 3 pares de patas aún no tienen filamentos alrededor, el cuerpo es blando tanto machos como hembras poseen las mismas características en este estadio.⁽¹⁶⁾

La ninfa II de la *Planococcus citri* es de color amarillo brillante y forma ovalada. Se cubre de una sustancia pulverulenta de color

blanco y disminuye su movimiento. En esta etapa, las ninfas hembras y machos comienzan a diferenciarse, las hembras mantienen las mismas características que la ninfa I, los machos, por su parte, crecen hasta una longitud promedio de 1,31 mm y un ancho de 0,58 mm, luego de 2 ó 3 días antes de que finalice este estadio, el color del macho se torna casi rosado y delgado aparece cubierto de sustancia algodonosa formándose como un capullo algodonoso.⁽¹⁶⁾

La ninfa III es muy similar a la hembra adulta pero más pequeña y aquí ya se observan los filamentos caudales mucho más formados alrededor del cuerpo, ya presenta la cubierta cerosa de color blanquecina, también se llega a observar los segmentos del cuerpo su movimiento es más lento. La ninfa posee una longitud promedio de 1,65 mm de largo y 0,80 mm de ancho.⁽¹⁶⁾

La pre-pupa del macho de la cochinilla harinosa es una etapa intermedia en su desarrollo, se termina de formar dentro de un capullo de algodón blanco, y tiene un movimiento casi nulo, sus alas aún no están desarrolladas, y son de color amarillo pálido. Luego pasa hacer una pupa el aspecto varía ya que ahora tiene una forma alargada, de color marrón oscuro, tiene un movimiento lento en este estadio no tiene alas.⁽¹⁶⁾

Las hembras adultas de esta especie *Planococcus citri* son de color amarillo, ovaladas y miden aproximadamente 3 y 4 mm de largo y entre 1,5 y 2 mm de ancho ^(17,18,19,20) estas cochinillas están cubiertas de una capa blanca y cerosa que les da un aspecto similar al del polvo, tienen 18 pares de filamentos céreos, siendo los últimos ligeramente más largos y situados en la parte posterior su color varía desde el amarillo al marrón rojizo.



Figura 1. Ciclo de vida de *Planococcus citri*

Los machos, por su parte, el tronco está dividido en tagmas, son más alargados que las hembras y pueden ser alados o ápteros sus patas son alargadas, las dimensiones del organismo son de 0,95 a 1 mm de longitud y de 0,2 a 0,3 mm de anchura, el abdomen es un cilindro alargado que se une completamente al cuerpo.⁽²¹⁾ No poseen aparato bucal o está atrofiado, en consecuencia, no generan melaza ni tienen relaciones simbióticas con otras especies además tienen un corto tiempo de vida.⁽¹⁶⁾

Cochinillas y hormigas

Entre las hormigas y algunas especies de cochinillas se tiene una relación simbiótica la cual se basa en el intercambio de recursos según Bravo & Cordoba⁽²²⁾, las hormigas movilizan y protegen a la plaga de sus enemigos naturales a su vez ellas producen melaza, un líquido azucarado que sirve de alimento para las hormigas.⁽²³⁾

Hongos entomopatógenos (HEPs)

Los HEPs son microorganismos,⁽²⁴⁾ rivales naturales de los insectos; capaces de terminar con poblaciones enteras de insectos plaga.^(25,26) Es una alternativa sostenible a los pesticidas químicos, ya que son seguros para la salud humana y el medio ambiente.⁽²⁷⁾

Gran parte de los HEPs pertenecen a las divisiones Entomophthoromycota e Hypocreales. Ambos filos producen conidios y otras esporas asexuales; y cuando se desarrollan pueden vivir como patógenos de artrópodos obligados o facultativos.⁽²⁸⁾

Los HEPs infectan a los insectos mediante un proceso que se divide generalmente en cuatro etapas.⁽²⁹⁾ La primera es conocida como adherencia de los hongos a la superficie y en si es la unión de los conidios donde las estructuras reproductivas, se adhieren a la cutícula del insecto mediante interacciones hidrofóbicas y electrostáticas inespecíficas,^(30,31) la fase de adhesión es un condicionante es la fase más importante, ya que todo depende de la cantidad de esporas que se adhieren a la cutícula para generar la muerte del

insecto.^(30,32)

La segunda etapa es la germinación ocurre una vez que los conidios se han adherido, germinan y forman el apresorio, una estructura que penetra la cutícula del insecto , durante esta etapa sigue la penetración además de actuar enzimas hidrolíticas también participan moléculas que inhabilitan las respuestas inmunitarias del huésped;^(30,32) para que el hongo finalmente ingrese y secreta fosfolipasa C para hidrolizar los enlaces fosfodiéster que se encuentran en la membrana celular del huésped.^(32,33)

En la tercera etapa el hongo llega al hemocele, pasando de forma micelial a la forma levaduriforme la cual les permite multiplicarse con mayor facilidad generando una ventaja sobre el insecto.^(32,34) La multiplicación de las hifas produce toxinas que matan al insecto.⁽²⁹⁾

Debido a la muerte del insecto los nutrientes se agotan como las fuentes de nitrógeno esto provoca que adquiera su forma micelial.^(32,35) Por último, ocurre una dispersión de esporas y genera adhesión en un nuevo huésped.^(32,36)

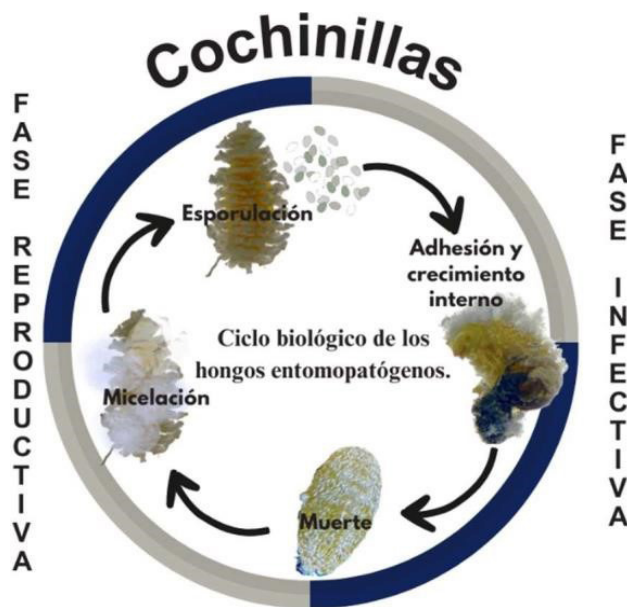


Figura 2. Ciclo biológico de los hongos entomopatógenos

Mecanismos patogénicos

Los HEPs utilizan una variedad de mecanismos para causar la muerte de los insectos. Los mecanismos más comunes incluyen la toxicidad donde producen toxinas que matan a los insectos. En segundo lugar, la infección ocurre cuando las hifas del patógeno invaden los tejidos del insecto, causando la muerte por malnutrición o daño mecánico y otro de los más comunes es la inducción de respuestas inmunes: Los hongos inducen respuestas inmunes en los insectos, que pueden resultar en la muerte del insecto.⁽³⁷⁾ Los HEP tienen un ciclo de vida complejo que incluye una fase parasitaria y una fase saprobia. En la fase parasitaria, infecta y mata a un insecto, en la fase saprobia, el organismo crece en material orgánico muerto.⁽³⁸⁾

Los hongos entomopatógenos con mayor relevancia en el trópico se encuentra la *Beauveria bassiana* uno de los más estudiados en el mundo por ser el adversario de patogenicidad común para los insectos, perteneciente al orden Hypocreales y la familia Cordycipitaceae, este patógeno tiene una alta diversidad de huéspedes de aproximadamente 700 especies,^(39,40) provoca un crecimiento micelial blanco en ninfas y adultos, las esporas asexuales tienen forma de hilados semiesféricos aplanados se generan luego de 20 días a 25° C.⁽⁴¹⁾

Tabla 2. Taxonomía Beauveria bassiana	
Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Cordycipitaceae
Género	Beauveria Vuill., 1912
Especie	Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill.
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

El *Metarhizium anisopliae* forma parte de los patógenos más estudiados del trópico pertenece al orden Hypocreales, familia Clavicipitaceae,⁽⁴²⁾ genera un crecimiento micelial septado empieza de color blanco, pero, cambia con el tiempo a un color verde oscuro, crece tanto en ninfas como adultos sus esporas asexuales tienen una forma cilíndrica ovoide se generan luego de 15 días a 25° C.⁽⁴¹⁾

Tabla 3. Taxonomía *Metarhizium anisopliae*

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Clavicipitaceae
Género	<i>Metarhizium</i> Sorokin
Especie	<i>Metarhizium anisopliae</i> (Metschn) Sorokin
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

El hongo *Lecanicillium lecanii* tiene un ritmo de colonización lento, puede afectar tanto a ninfas como adultos,⁽⁴³⁾ tiene una extensa cantidad de huéspedes, incluidos artrópodos como las cochinillas, pulgones entre otros, se caracteriza por tener una larga vida útil y un mecanismo de acción eficaz y una alta especificidad del huésped.⁽⁴⁴⁾

Tabla 4. Taxonomía *Lecanicillium lecanii*

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Cordycipitaceae
Género	<i>Akanthomyces</i> Lebert
Especie	<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm)
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

El hongo *Purpureocillium lilacinum* pertenece a la familia Ophiocordycipitaceae fue estructurado basándose en su importancia médica.⁽⁴⁵⁾ Las temperaturas en las que puede sobrevivir este patógeno tienen un amplio rango desde los 8 a 38 °C con temperaturas óptimas de 26 a 30°C.⁽⁴⁶⁾

Tabla 5. Taxonomía *Purpureocillium lilacinum*

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Ophiocordycipitaceae
Género	<i>Purpureocillium</i> Luangsa-ard et al.
Especie	<i>Purpureocillium lilacinum</i> (Thom)
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

El *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* son hongos efectivos en diferentes plagas de insectos y en diferentes estadios de los insectos estos patógenos aplicados en cochinillas evidencian efectividad, sus mecanismos de acción tienden a tener diferentes tiempos de duración en cada una de las fases de su ciclo biológico.^(43,47)

Los organismos *Lecanicillium lecanii* y la *Beauveria bassiana* han demostrado que penetran la cutícula de las ninfas de *Planococcus citri* ya que producen lipasas, proteasas y quitinasas que en combinación degradan la cutícula.

Los especímenes *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* presentan distintos mecanismos de acción ya que eliminan el insecto y además forman relaciones de beneficio con las plantas (Litwin et al., 2020).

Diversos estudios muestran que la temperatura promedio óptima para HEPs del filo Hypocreales es de 30 °C y un porcentaje de humedad relativa del 95 %.⁽⁴⁸⁾

Aplicaciones de los hongos entomopatógenos

Los HEP se utilizan para el control de plagas en una amplia gama de cultivos, incluyendo cereales, frutas, hortalizas y ornamentales, también se utilizan para el control de plagas forestales y urbanas.⁽⁴⁹⁾

Estos microorganismos usados como bioinsecticidas tienen características destacables como: seguridad al mostrar poco o nulo impacto en el medio ambiente o salud humana; resistencia, ya que, aunque pueden generar resistencia esta no es absoluta;⁽⁵⁰⁾

selectividad, ya que algunas especies infectan ciertas especies o un grupo de insectos; no producen residuos; se pueden producir masivamente con sustratos accesibles como el arroz.^(28,51)

Aunque son una alternativa sostenible, los HEPs son susceptibles a las condiciones de temperatura, humedad, radiación ultravioleta y uso de otros pesticidas. Por estas razones se recomienda almacenar correctamente los bioinsecticidas a base de HEPs y realizar su aplicación recomendada por la empresa, además, es recomendado conocer el manejo fitosanitario en cultivos cercanos por si estos pueden generar afectaciones, por ejemplo, por el uso de pesticidas.⁽²⁸⁾

Limón (Citrus × aurantiifolia (Christm.) Swingle)

El limón *Citrus × aurantiifolia (Christm.) Swingle* es una de las frutas más consumidas mundialmente y una de las más cultivadas del Ecuador.⁽⁵²⁾ Conocida vulgarmente como limón sutil tiene una forma ligeramente redonda, con un extremo cónico. Su sabor es muy ácido, jugoso y con un aroma fuerte.⁽⁵³⁾ Las plagas que suelen atacar son moscas blancas, escamas o cochinillas del tronco y follaje, las cochinillas se suelen ubicar en el cáliz y por su picadura puede provocar la caída de su follaje, una vez que los frutos son grandes la cochinilla prefiere ubicarse en la zona de contacto entre fruto y hoja, atraen actividad fumagina la cual deteriora la planta.⁽⁵⁴⁾

Tabla 6. Taxonomía Citrus × aurantiifolia (Christm.) Swingle	
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Género	Citrus L.
Especie	Citrus × aurantiifolia
Fuente: Global Biodiversity Information Facility ⁽¹³⁾	

CONCLUSIONES

Los hongos entomopatógenos constituyen una alternativa viable y ecológica para el control de *Planococcus citri* en cultivos de limón. Su mecanismo de acción, basado en la infección y colonización del insecto, demuestra alta especificidad y bajo impacto ambiental. No obstante, factores como la capa cerosa de la cochinilla, las condiciones climáticas y la interacción con otros pesticidas pueden afectar su eficacia. Futuras investigaciones deberán orientarse hacia el desarrollo de formulaciones mejoradas y protocolos de aplicación adaptados a las condiciones específicas de Ecuador.

REFERENCIAS

1. Islam W, Adnan M, Shabbir A, Naveed H, Abubakar YS, Qasim M, et al. Insect-fungal-interactions: A detailed review on entomopathogenic fungi pathogenicity to combat insect pests. *Microb Pathog.* 2021;159:105122.

2. González-Guzmán A, Sacristán D, Sánchez-Rodríguez AR, Barrón V, Torrent J, Del Campillo MC. Soil Nutrients Effects on the Performance of Durum Wheat Inoculated with Entomopathogenic Fungi. *Agronomy.* 2020;10(4):589.

3. Anilkumar R, Edison L, Sukumaran P. Exploitation of Fungi and Actinobacteria for Sustainable Agriculture. In: *Microbial Interventions in Agriculture and Environment.* Singapore: Springer; 2017. p. 135-62.

4. Bamisile B, Akutse K, Siddiqui J, Xu Y. Model Application of Entomopathogenic Fungi as Alternatives to Chemical Pesticides: Prospects, Challenges, and Insights for Next-Generation Sustainable Agriculture. *Front Plant Sci.* 2021;12:741804.

5. Fernández N, Sepúlveda S, Ceballos R. Formulaciones de Hongos Entomopatógenos: HEPs 2.0 para el control de insectos plaga. *Tierra Adentro.* 2020;(6):12-7.

6. Correal C, Torres L, Villamar L, Rivero V, Bustillo A, Zuluaga M, et al. Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga. In: Espinel Correa C, Torres Torres LA, Villamizar Rivero LF, Bustillo Pardey AE, Zuluaga Mogollón MV, Cotes Prado AE, editores. *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros.* Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; 2018. p. 334-67.

7. Góngora CE, Gil-Palacio ZN. Control biológico de cochinillas de las raíces del café con hongos entomopatógenos. *Cenicafe.* 2020;71(2):53–65.

8. Cloyd R, Herrick N. Are Entomopathogenic Fungal-based Insecticides and Insect Growth Regulator Mixtures Effective Against the Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae), Feeding on *Coleus*, *Solenostemon scutellarioides*,

Plants under Greenhouse Conditions? HortScience. 2023;58(10):1225–9.

9. Ramirez C, Morales F, Alatorre R, Mena J, Méndez S. Efectividad de hongos entomopatógenos sobre la mortalidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en condiciones de laboratorio. Rev Mex Cienc Agric. 2019;10(22):165-75.
10. Carvalho MMP, Corrêa Reis LA, Pinheiro MLC, Moreira MM, Vieira DA, Souza B. Is a diet of *Planococcus citri* nymphs and adults suitable for *Chrysoperla externa* for use in biological control? Rev Bras Entomol. 2023;67(1):e20220010.
11. Daane KM, Almeida RPP, Bell VA, Walker JTS, Botton M, Fallahzadeh M, et al. Biology and Management of Mealybugs in Vineyards. In: Arthropod Management in Vineyards. Dordrecht: Springer; 2012. p. 271-307.
12. Mani M, Shivaraju C. Mealybugs and their management in agricultural and horticultural crops. Springer; 2016.
13. GBIF Secretariat. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. 2023.
14. Pagad S. Áreas Protegidas - Registro Global de Especies Introducidas e Invasoras - Islas Galápagos, Ecuador. Grupo de especialistas en especies invasoras ISSG. Conjunto de datos de la lista de verificación. 2020.
15. García-Álvarez NC, Urías-López MA, Hernández-Fuentes LM, Osuna- García JA, Medina-Torres R, González Carrillo JA. Distribución temporal y potencial reproductivo de la cochinilla rosada del hibisco (Hemiptera: Pseudococcidae) en Nayarit, México. Rev Mex Cienc Agric. 2014;5(1):5-16.
16. Viera Chiroque MC. Ciclo biológico de *Planococcus citri* (Risso) “chanchito blanco” en cultivo de vid variedad Red Globe. Piura, 2016 [tesis]. Piura: Universidad Nacional de Piura; 2019.
17. Nakahara S, Williams ML. The soft scale insects found in the continental United States (Homoptera: Coccidae). A syllabus prepared for the 1974 Coddidology Training Session. Beltsville: USDA; 1980.
18. Pertuit AJ Jr. Influence of temperature during long-night exposures on growth and flowering of ‘Mace,’ Thor,’ and Telstar’ kalanchoes. HortScience. 1977;12(1):48-9.
19. Pirone PP. Mealybugs. In: Diseases and Pests of Ornamental Plants. 5th ed. New York: Wiley; 1978. p. 62.
20. Carbajal S. Identificación taxonómica, morfología y comportamiento de *Planococcus* (Hemiptera: Pseudococcidae) en el cultivo de vid (*Vitis vinifera*). Lima: Sociedad Entomológica del Perú; 2013.
21. Martinez Ferrer MT. Biología y control del cotonet *Planococcus citri* (Homoptera: Pseudococcidae) en huertos de cítricos [tesis]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2003.
22. Bravo YV, Cordoba LM. Manejo agroecológico del cultivo de café (*Coffea arábica*), hacia una agricultura sostenible. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD; 2023.
23. García-Valente F, Ortega-Arenas LD, González-Hernández H, Villanueva- Jiménez JA, López-Collado J, González-Hernández A, et al. Parasitismo natural e inducido de *Anagyrus kamali* sobre la cochinilla rosada en brotes de teca, en Bahía de Banderas, Nayarit. Agrociencia. 2009;43(7):729-38.
24. Mantzoukas S, Papadopoulos A, Hatzigeorgiou D. Fungal entomopathogens: A promising tool for sustainable pest management. J Pest Sci. 2022;95(1):1-17.
25. Khan S, Guo I, Maimaiti Y, Mijit M, Qiu D. Hongos entomopatógenos como agente de biocontrol microbiano. Biotechnol Mol Plant Breed. 2012;3:63-79.
26. Valbuena Puentes AH, Galindo Soracá AM, Boyacá Quintana YM. Efecto del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (balsamo) Vuillemin en el control de la oveja ked (*Melophagus ovinus*). Rev Investig Vet Peru. 2021;32(2):e18362.
27. Bava V, De Luca E, Locci R. Fungal entomopathogens: A review of their diversity, ecology and applications. Biol Control. 2022;148:104620.
28. Barra-Bucarei L, France AF, Pino CP. Entomopathogenic fungi. In: Advances in Biological Control. Springer; 2019. p. 123-36.

29. Shin H, Lee S, Lee J. Molecular mechanisms of fungal entomopathogens. *J Microbiol Biotechnol*. 2020;30(10):2129-40.
30. Butt TM, Coates CJ, Dubovskiy IM, Ratcliffe NA. Chapter Nine -Entomopathogenic Fungi: New Insights into Host–Pathogen Interactions. In: Lovett B, St. Leger RJ, editores. *Advances in Genetics*. 2016;94:307-64.
31. Davit Colo B. Ecología química y genes involucrados en la interacción entre insectos tenebriónidos y hongos entomopatógenos [tesis doctoral]. La Plata: Universidad Nacional de La Plata; 2022.
32. Miranda AVC, Espejo Y del CB, Salas JLTF, González HHS, Aguilera JG, Martínez LA. Biopesticides: Mechanisms of biocidal action in pest insects. *Res Soc Dev*. 2021;10(7):e42010716893.
33. Santi L, Beys da Silva WO, Berger M, Guimarães JA, Schrank A, Vainstein MH. Conidial surface proteins of *Metarhizium anisopliae*: Source of activities related with toxic effects, host penetration and pathogenesis. *Toxicon*. 2010;55(4):874-80.
34. Téllez-Jurado A, Cruz Ramírez MG, Mercado Flores Y, Asaff Torres A, Arana-Cuenca A. Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos insectos. *Rev Mex Micol*. 2009;30:73-80.
35. Freimoser FM, Grundschober A, Tuor U, Aebi M. Regulation of hyphal growth and sporulation of the insect pathogenic fungus *Entomophthora thripidum* in vitro. *FEMS Microbiol Lett*. 2003;222(2):281-7.
36. Tanada Y, Kaya HK. *Insect Pathology*. Academic Press; 2012.
37. Nguyen D, Kim C. Fungal entomopathogens: Mechanisms of action and applications. *J Fungal Biol*. 2022;16(2):129-44.
38. Kovaleva O, Lacey L. Fungal entomopathogen life cycles: Diversity, complexity and challenges. *Fungal Ecol*. 2022;28:100483.
39. Vega FE. El uso de hongos entomopatógenos como endófitos en el control biológico: una revisión. *Mycologia*. 2018;110(1):4-30.
40. Akrich A, Righi K, Righi FA, et al. Characterization of a new isolate of *Beauveria bassiana* in Algeria and evaluation of its pathogenicity against the cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch). *Egypt J Biol Pest Control*. 2023;33:73.
41. Sarubbi H, Resquín-Romero G, Garrido-Jurado I. Identificación de hongos entomopatógenos nativos asociados a *Mahanarva fimbriolata* Stahl en sistemas silvopastoriles (*Urochloa brizantha* cv. MG-5 y *Eucalyptus* spp.). *Egypt J Biol Pest Control*. 2023;33:110.
42. Golzan SR, Talaei-Hassanloui R, Homayoonzadeh M, Safavi SA. Role of cuticle-degrading enzymes of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in virulence on *Plodia interpunctella* (Lepidoptera, Pyralidae) larvae. *J Asia Pac Entomol*. 2023;26(2):102038.
43. Amutha M, Gulsar Banu J. Variation in Mycosis of Entomopathogenic Fungi on Mealybug, *Paracoccus marginatus* (Homoptera: Pseudococcidae). *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci*. 2015;87(2):343–9.
44. Ghaffari S, Karimia J, Kamali S, Mahdikhani Moghadam E. Biocontrol of *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) by *Lecanicillium longisporum* and *Lecanicillium lecanii* in laboratory and greenhouse conditions. *J Asian Pac Entomol*. 2017;20(2):605-12.
45. Luangsa-Ard J, Houbraken J, van Doorn T, Hong SB, Borman AM, Hywel- Jones NL, et al. *Purpureocillium*, a new genus for the medically important *Paecilomyces lilacinus*. *FEMS Microbiol Lett*. 2011;321:141–9.
46. Srilakshmi A, Sai Gopal DVR, Narasimha G. Impact of bioprocess parameters on cellulase production by *Purpureocillium lilacinum* isolated from forest soil. *Int J Pharm Bio Sci*. 2017;8(1):157-65.
47. Bidyarani Devi E, Premabati Devi E, Deepshikha. Hongos entomopatógenos: una revisión sobre las perspectivas de los hongos entomopatógenos como potentes agentes de control biológico de plagas de insectos. *Int J Curr Res Biosci Plant Biol*. 2016;3(9):74-82.
48. Kanga SF, Ndjomatchoua FT, Guimapi RA, Kligen I, Tchawoua C, Hjelkrem AR, et al. The effect of climate variability in the efficacy of the entomopathogenic fungus *Metarhizium acridum* against the desert locust *Schistocerca gregaria*. *Sci Rep*. 2022;12(1):11424.

49. Pacheco J, González M, López J. Fungal entomopathogens for the control of agricultural pests: A review. *J Pest Sci.* 2019;92(2):225-45.
50. Dubovskiy IM, Whitten MMA, Yaroslavtseva ON, Greig C, Kryukov VY, Grizanov EV, et al. Can insects develop resistance to insect pathogenic fungi? *PLOS ONE.* 2013;8(4):e60248.
51. Hidalgo D, Tello C. Manual para la producción de hongos entomopatógenos y análisis de calidad de bioformulados. Manual N° 128. La Concordia: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); 2022. 35 p.
52. Santistevan Méndez M, Julca Otiniano A, Helfgott Lerne S. Caracterización de las fincas productoras del cultivo limón en las localidades de Manglaralto y Colonche, (Santa Elena, Ecuador). *Rev Cient Tecnol UPSE.* 2015;3(1):133-42.
53. Indriyani NN, Al Anshori J, Permadi N, Nurjanah S, Julaha E. Componentes bioactivos y sus actividades a partir de diferentes partes de *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle for Food Development. *Foods.* 2023;12(10):2036.
54. Castillo Carrillo PS. Insectos y ácaros plagas en cítricos con énfasis en el cultivo de limón sutil [tesis]. Tumbes: Universidad de Tumbes; 2019.