



Review [Revisión]

Effect of entomopathogenic fungi used in biological pest control on stingless bees (Apidae: Meliponini): A systematics review †

[Efecto de los hongos entomopatógenos, utilizados en el control biológico de plagas, sobre las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini): Una revisión sistemática]

Nadia Nayeli Ramos-Rosas¹, Beatriz del Socorro Bolívar-Cimé²,
Daniel Arturo Rodríguez-Lagunes¹, Miguel Ángel García-Martínez¹,
Sherell Zamora-Juárez³, Gabriela Irais Salazar-Rivera⁴
and Ángel Bravo Vinaja^{5*}

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Región Orizaba-Córdoba. Universidad Veracruzana. Josefa Ortiz de Domínguez, s/n. C.P. 94945. Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Email: nai.ramosrosas@gmail.com, darodriguez@uv.mx, miguelgarcia05@uv.mx

²Instituto de Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana. Parque Ecológico "El Haya", Carretera Antigua a Coatepec, Coapexpan. C. P. 91070. Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. Email: bbolivar@uv.mx

³Centro de Vinculación y Desarrollo Regional, Unidad Campeche. Instituto Politécnico Nacional. Calle 55, No. 1, Colonia Centro Histórico. C. P. 24000. San Francisco de Campeche, Campeche, México. Email: szamoraj@ipn.mx

⁴Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. CIATEJ sede Zapopan. Cam. Arenero 1227, El Bajío. C. P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. Email: gasalazar_al@ciatej.edu.mx

⁵Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo. C. P. 78620. San Luis Potosí, México. Email: abravo@colpos.mx.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Chemical pest control has proven effective but has also caused negative impacts on beneficial organisms such as bees. In recent years, there has been growing interest in developing safer biological control alternatives that support biodiversity conservation. Among these, entomopathogenic fungi (EF) have shown promise in pest management. However, their potential non-target effects on stingless bees—a group of ecologically, economically, and culturally important pollinators—remain underexplored. **Objective:** To conduct a systematic review of the effects of EF-based biopesticides used in biological control on stingless bees. **Methodology:** Following the PRISMA guidelines, four key questions were addressed regarding the bee and fungal species evaluated, experimental conditions, and reported effects. Literature searches were conducted in Web of Science, Scopus, and Google Scholar. **Results:** Out of 26 initial records, eight studies published between 2014 and 2024 met the inclusion criteria. These were conducted in Kenya, Brazil, and one in Mexico. A total of nine stingless bee species and three EF species were documented. Most bioassays were performed under laboratory conditions, with some in semi-field and field environments. Reported effects included increased mortality and behavioral alterations in bees. **Implications:** It is necessary to expand research to include the evaluation of whole bee colonies and their behavior. It is also important to assess the specific effects of commercial products on native bee species in the areas where the fungi will be applied, as there is significant variability in how different stingless bee species respond. **Conclusion:**

† Submitted August 30, 2025 – Accepted May 25, 2026. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6571>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = N. N. Ramos-Rosas: <http://orcid.org/0009-0009-4196-9591>; B. del. S. Bolívar-Cimé: <http://orcid.org/0009-0005-9330-2650>; A. Bravo-Vinaja: <http://orcid.org/0000-0001-8806-0275>; D. A. Rodríguez-Lagunes: <http://orcid.org/0000-0003-2987-3342>; M. A. García-Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-0644-4601>; S. Zamora-Juárez: <http://orcid.org/0000-0002-9019-8422>; G. I. Salazar-Rivera: <http://orcid.org/0000-0003-3292-3013>

Despite being the most diverse group of social bees in tropical and subtropical regions, stingless bees have received limited attention regarding the potential risks posed by entomopathogenic fungi used in biological control.

Key words. Biopesticides; native bees; mycopesticides; risk assessment.

RESUMEN

Antecedentes: Aunque el control químico de plagas ha sido exitoso ha generado impactos negativos a organismos benéficos como las abejas. Actualmente, existe un amplio interés en el desarrollo de alternativas seguras de control biológico para el reemplazo de los plaguicidas sintéticos por métodos seguros para la conservación de la biodiversidad, una de esas alternativas son los hongos entomopatógenos, efectivos en el control de plagas y de los cuales se deben evaluar sus efectos sobre otros organismos como las abejas sin aguijón. Estas abejas son importantes polinizadores a los que se les atribuye importancia cultural, económica y ecosistémica. **Objetivo:** Realizar una revisión sistemática de los efectos de los biopesticidas a base de hongos entomopatógenos (HE) utilizados en el control biológico sobre las abejas sin aguijón. **Metodología:** Siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA se abordaron cuatro preguntas clave relacionadas con las especies de abejas y hongos evaluados, condiciones experimentales y efectos registrados. Se consultaron las bases de datos de Web of Science, Scopus y Google Scholar. **Resultados:** De veintiséis artículos encontrados, se seleccionaron ocho publicados del 2014 al 2024; realizados en Kenia, Brasil y uno solo en México. Se documentaron nueve especies de abejas sin aguijón estudiadas; y tres especies de hongos entomopatógenos utilizados. Los bioensayos fueron mayormente en laboratorio, con algunos en semi campo y campo. Se registraron efectos negativos en la mortalidad y comportamiento de las abejas. **Implicaciones:** Resulta necesario ampliar las investigaciones en la evaluación de colonias de abejas completas y su comportamiento. Es importante la evaluación específica de los productos comerciales sobre las especies nativas de los sitios donde serán aplicados los hongos entomopatógenos, pues existe una gran variabilidad de los efectos en cada especie de abejas sin aguijón. **Conclusión:** A pesar de que las abejas sin aguijón son el grupo más diverso de abejas sociales, nativas de las regiones tropicales y subtropicales, han sido poco estudiadas frente al uso de hongos entomopatógenos útiles en el control biológico.

Palabras clave. Biopesticidas; abejas nativas; micopesticidas; evaluación de riesgo.

INTRODUCCIÓN

La agricultura emplea frecuentemente plaguicidas para controlar químicamente a las plagas que afectan los cultivos (Del Sarto *et al.*, 2014). Los plaguicidas sintéticos representan aproximadamente el 95% del mercado mundial y previenen alrededor del 50% de pérdidas en los cultivos (Mishra *et al.*, 2015; Technavio, 2015). Aunque el control químico ha sido exitoso, también afecta de forma negativa a organismos benéficos como los polinizadores (Del Sarto *et al.*, 2014).

Existe un amplio interés en la investigación y el desarrollo de alternativas seguras de control biológico para reemplazar los plaguicidas sintéticos y migrar a sistemas de producción sostenibles (van Lenteren *et al.*, 2018). Una de estas alternativas es el uso de hongos entomopatógenos, los cuales son utilizados eficientemente en el control de insectos vectores de enfermedades en diversos cultivos (Sharma y Sharma, 2021). Estos se consideran una alternativa ecológicamente amigable debido a: 1) biopersistencia ecológica, 2) escasa o nula ecotoxicidad (tanto para los humanos como otros organismos), 3) ausencia de desarrollo de poblaciones de plagas resistentes (Kidanu y Hagos, 2020; Maina *et al.*, 2018; Thungrabeab y Tongma, 2007), 4) alta virulencia y 5) su reproducción en el ambiente evitando su aplicación continua (Kaya y Lacey, 2007). Constituyen un grupo de más de 750 especies distribuidas en el medio

ambiente, entre los géneros de mayor importancia en el Manejo Integrado de Plagas se encuentran *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium* (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011), infectan a un amplio rango de hospederos y son patogénicas de diferentes órdenes de insectos como Lepidoptera, Coleoptera o Hemiptera, infectando huevos, larvas, ninfas, pupas o adultos (Carrillo-Rayas y Blanco-Labra, 2009).

Las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) son importantes polinizadores que contribuyen al balance natural de los ecosistemas, la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (IPBES, 2016; Potts *et al.*, 2016). Se les atribuye gran importancia cultural y económica alrededor del mundo pues prestan servicios ecosistémicos esenciales de polinización a una amplia gama de plantas con flores (IPBES, 2016). Dicho servicio ecosistémico está valuado entre 267 y 657 000 millones de dólares (Porto *et al.*, 2020). La meliponicultura, manejo racional de las abejas sin aguijón de la tribu Meliponini (Engel *et al.*, 2023), produce diversos productos de la colmena, como miel, cera, polen y propóleo que son utilizados comúnmente en alimentos nutritivos, farmacología y cosméticos, generando ingresos para los meliponicultores (Silva-Rivera *et al.*, 2025).

Diversas especies de abejas recorren distancias entre 500 y 5, 000 m para encontrar fuentes de alimento

(Campbell *et al.*, 2019), lo que aumenta la posibilidad de que se expongan a hongos entomopatógenos utilizados en el control de plagas (Chapple *et al.*, 2007, Flores *et al.*, 2013). Esto puede ocurrir durante el forrajeo, por ingestión de alimentos contaminados o al estar en contacto con una superficie contaminada (Colombo *et al.*, 2021). Para reducir los riesgos ambientales asociados al uso de hongos entomopatógenos, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura creó las Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias No. 3, que establecen la necesidad de realizar estudios de evaluación de riesgos para organismos no objetivo como es el caso de las abejas (FAO, 2006).

Basados en el fundamento anterior, el objetivo de este trabajo fue sintetizar la evidencia científica disponible sobre los efectos de los hongos entomopatógenos, utilizados en el control biológico de plagas, sobre las abejas sin aguijón. En este sentido, las revisiones bibliográficas son esenciales para la investigación académica (Xiao y Watson, 2017) y proporcionan una visión general de un tema de investigación específico (MacMillan *et al.*, 2019). Uno de sus principales objetivos es responder preguntas o identificar áreas de importancia sobre un tema en específico (Harris *et al.*, 2014). En el presente estudio se abordan las siguientes preguntas de investigación: a) ¿Cuáles son las especies de abejas sin aguijón con las que se están probando los efectos de hongos entomopatógenos utilizados en el control de plagas?, b) ¿Cuáles son las especies de hongos entomopatógenos de los que se están evaluando los efectos sobre las abejas sin aguijón?, c) ¿Cuáles son las condiciones en las que se realizan estas investigaciones (laboratorio, invernadero o campo)?, y d) ¿Cuáles son los efectos registrados sobre las abejas?

METODOLOGÍA

En esta investigación se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura científica, siguiendo las normas de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses; Page *et al.*, 2021). Está dirigida a responder cuatro preguntas de investigación (Tabla 1) y basada en el marco SPIDER (por sus siglas en inglés: Sample, Phenomenon of Interesting, Desing, Evaluation, Research type), que corresponde a muestra, tema de investigación, diseño, evaluación o resultado que se ve afectado y tipo de investigación; (Tabla 2).

Fuentes de información

La búsqueda de artículos se realizó en las bases de datos de Web of Science (WoS), Scopus y el buscador de internet Google Scholar, en un período entre los meses de abril y mayo del 2025, señalándose

el 15 de mayo del 2025 como la fecha de término. Se utilizaron palabras clave (Tabla 3) para construir dos cadenas de búsqueda en las que se incluyeron truncamientos (*) y los operadores booleanos OR y AND a conveniencia. La búsqueda de las palabras clave se realizó dentro del título y el resumen de cada artículo.

Se incluyeron solo artículos científicos y se excluyeron los artículos que no evaluaron hongos entomopatógenos utilizados en el control de plagas. Pues existen hongos entomopatógenos, como *Ascosphaera apis* que causan enfermedades en abejas sociales y solitarias (Reynaldi *et al.*, 2015).

Tabla 1. Preguntas de investigación evaluadas en este trabajo.

P1	¿Cuáles son las especies de abejas sin aguijón con las que se están probando los efectos de hongos entomopatógenos utilizados en el control de plagas?
P2	¿Cuáles son las especies de hongos entomopatógenos de los que se están evaluando los efectos sobre las abejas sin aguijón?
P3	¿Cuáles son las condiciones en las que se realizan estas investigaciones (laboratorio, invernadero o campo)?
P4	¿Cuáles son los efectos registrados sobre las abejas sin aguijón?

Tabla 2. Directrices del marco SPIDER.

Muestra	Publicaciones científicas sobre el efecto de los hongos entomopatógenos sobre las abejas sin aguijón.
Tema de investigación	Efecto de hongos entomopatógenos, utilizados en el control biológico, sobre las abejas sin aguijón.
Diseño	Condiciones en las que se realizaron los bioensayos (laboratorio, invernadero o campo).
Evaluación (resultado que se ve afectado)	Mortalidad, supervivencia o comportamiento de las abejas sin aguijón.

Selección de artículos y evaluación crítica

La selección de artículos consistió en un proceso de cuatro pasos: (1) *identificación*, en esta etapa se realizaron las búsquedas en cada base de datos y se excluyeron los artículos duplicados; (2) *selección*, se llevó a cabo la revisión de los resúmenes y excluyeron los artículos que no concordaban con nuestra búsqueda; (3) *elegibilidad*, se revisó el texto

completo para determinar si los artículos eran elegibles para su inclusión en la revisión sistemática y (4) *inclusión*, en esta etapa se seleccionaron los artículos que se incluirían en este trabajo.

Tabla 3. Palabras clave y cadenas de búsqueda utilizadas en la obtención de literatura.

Palabras clave	
stinglees bee*	entomopathogen*
melipon*	fung*
stinglees bee	entomopathogen fungi
	cordyceps
	hirsutella
	metarhizium
	isaria
	beauveria
	mycopesticide
Cadenas de búsqueda	
i) (stinglees bee* OR melipon*) AND (entomopathogen* AND fung*)	
ii) (stinglees bee OR melipon* or stingless bees) AND (cordyceps OR hirsutella OR metarhizium OR isaria OR beauveria OR entomopathogen fungi OR mycopesticide)	

Las investigaciones se evaluaron considerando las preguntas de investigación (Tabla 1) e información extra como : (I) las etapas del ciclo de vida de las abejas utilizadas en cada estudio, (II) el origen de las cepas de hongos entomopatógenos utilizados, (III) las condiciones en las que se realizaron los bioensayos (laboratorio, semi campo y campo), (IV) las rutas de exposición usadas en los bioensayos, (V) los análisis estadísticos realizados, (VI) el tamaño de la muestra, (VII) la duración del experimento, (VIII) la categoría de toxicidad señalada en cada estudio y (IX) las concentraciones de conidios utilizadas.

RESULTADOS

Derivado de la búsqueda en las bases de datos Web of Science (WoS), Scopus y Google Scholar y después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron un total de 26 artículos, todos en idioma inglés. Se obtuvieron once artículos en WoS, ocho en Scopus y siete en Google Scholar. Los estudios seleccionados para esta revisión sistemática se obtuvieron siguiendo los pasos descritos arriba (*identificación, selección, elegibilidad e inclusión*) y siguiendo el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1).

En total se incluyeron ocho artículos en esta revisión sistemática, los cuales fueron publicados del año 2014 al 2024, en Brasil (Conceição *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2022; Leite *et al.*, 2022; Faiman *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2024), México (Toledo-Hernández *et al.*,

2016); y Kenia (Omuse *et al.*, 2022a; Omuse *et al.*, 2022b). Las referencias, los títulos de las investigaciones y sus fuentes se muestran en el Anexo 1.

Evaluación de las investigaciones

Se detectaron nueve especies de abejas sin aguijón estudiadas, pertenecientes a cinco géneros (Tabla 4). En todos los artículos se utilizaron abejas adultas - forrajeras para llevar a cabo los bioensayos.

Se detectaron tres especies de hongos entomopatógenos, pertenecientes a dos familias, de los que se evaluaron los efectos de diferentes cepas sobre las abejas sin aguijón (Tabla 5). Los bioensayos se realizaron principalmente en condiciones de laboratorio a excepción de dos investigaciones que trabajaron en condiciones de semi campo (Omuse *et al.*, 2022b) y campo (Almeida *et al.*, 2022). Todas las investigaciones evaluaron los efectos de cepas de hongos entomopatógenos de origen comercial.

Se detectaron tres principales rutas de exposición de las abejas a los hongos entomopatógenos: 1) aspersión directa, 2) contacto con una superficie contaminada e 3) ingestión. Los datos registrados correspondientes a las rutas de exposición, variable medida y las concentraciones de conidios utilizadas en cada investigación se detallan en el Tabla 6.

Los análisis estadísticos realizados, el tamaño de la muestra y la duración de los experimentos variaron entre las investigaciones. Los detalles se resumen en la Tabla 7.

Cada investigación incluida en esta revisión, excepto el trabajo de Almeida *et al.* (2022), señala el efecto sobre las abejas o la categoría toxicológica según la Organización Internacional de Control Biológico (Sterk *et al.*, 2002) a la que pertenecen las cepas de hongos entomopatógenos evaluadas de acuerdo con los porcentajes de mortalidad o supervivencia registrados.

Vieira *et al.* (2024) registraron diferentes porcentajes de supervivencia para cada ruta de exposición: a) aplicación directa: *M. anisopliae* (66%), *B. bassiana* (68%), *I. fumosorosea* (72%) y el control (100%), (b) contacto con una superficie contaminada: *M. anisopliae* (70%), *B. bassiana* (64%), *I. fumosorosea* (78%) y el control (98%) y (c) ingestión: *M. anisopliae* (34%), *B. bassiana* (72%), *I. fumosorosea* (42%) y el control (92%). Y señalan a *M. anisopliae* e *I. fumosorosea* como altamente tóxicos al ser ingeridos por las abejas y a *B. bassiana* con toxicidad baja para las abejas de la especie *Melipona scutellaris*.

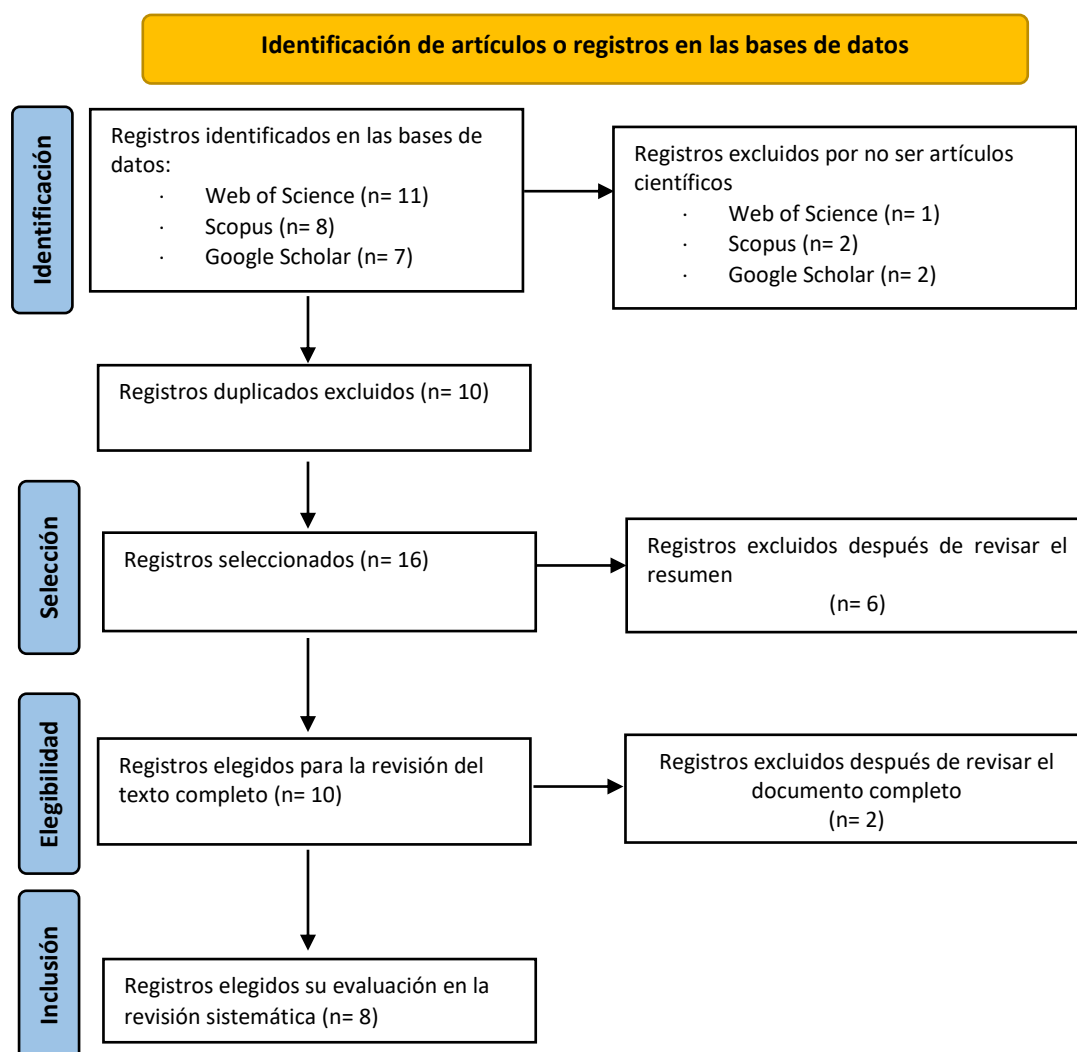


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA que explica el proceso de selección de artículos.

Tabla 4. Géneros y especies de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) utilizadas en las investigaciones evaluadas.

Familia	Tribu	Nombre científico
Apidae	Meliponini	<i>Melipona beecheii</i> Bennet, 1831 <i>Melipona quadrifasciata</i> Lepeletier, 1836 <i>Melipona scutellaris</i> Latreille, 1811 <i>Meliponula ferruginea</i> Lepeletier, 1841 <i>Plebeia droryana</i> Hermann Friese, 1900 <i>Scaptotrigona bipunctata</i> Lepeletier, 1836 <i>Scaptotrigona depilis</i> Moure, 1942 <i>Scaptotrigona mexicana</i> Guérin-Méneville, 1844 <i>Tetragonisca angustula</i> Latreille, 1811

Tabla 5. Familias y especies de hongos entomopatógenos utilizados en las investigaciones evaluadas.

Familia	Nombre científico
Clavicipitaceae	<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, 1912 <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin, ~1879
Cordycipitaceae	<i>Isaria fumosorosea</i> Wize, 1904 ahora <i>Cordyceps fumosorosea</i> (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora, 2017

Tabla 6. Rutas de exposición: aspersión directa (AD), contacto con una superficie contaminada (SC) e ingestión (I); variable medida y concentraciones de conidios.

Referencia	Especie	Ruta de exposición	Variable medida	Conidios (conidios/ml)
Vieira <i>et al.</i> (2024)	<i>B. bassiana</i> , <i>M. anisopliae</i> , <i>I. fumosorosea</i>	AD, SC, I	Supervivencia	<i>M. anisopliae</i> (2.5x10 ⁹) <i>B. bassiana</i> (1x10 ⁷) <i>I. fumosorosea</i> (8.25x10 ⁹)
Faita <i>et al.</i> (2024)	<i>B. bassiana</i> , <i>M. anisopliae</i> , <i>C. fumosorosea</i>	AD	Supervivencia	1x10 ⁷
Leite <i>et al.</i> (2022)	<i>B. bassiana</i> , <i>M. anisopliae</i> , <i>C. fumosorosea</i>	AD, I	Supervivencia	5x10 ⁵ , 1x10 ⁶ , 5x10 ⁶ , 1x10 ⁷ , 5x10 ⁷
Omuse <i>et al.</i> (2022b)	<i>M. anisopliae</i>	SC	Actividad de vuelo, forrajeo y mortalidad. Evaluación de polen y adquisición y persistencia de conidios	1x10 ⁶
Omuse <i>et al.</i> (2022a)	<i>M. anisopliae</i> , <i>B. bassiana</i>	SC	Adquisición de conidios y supervivencia	1x10 ⁸
Almeida <i>et al.</i> (2022)	<i>B. bassiana</i>	AD	Comportamiento de las abejas guardianas. Componentes químicos de la cutícula de las abejas expuestas y no expuestas a <i>B. bassiana</i>	1x10 ⁶
Toledo-Hernández <i>et al.</i> (2016)	<i>M. anisopliae</i> , <i>B. bassiana</i> , <i>I. fumosorosea</i>	AD	Mortalidad	1x10 ⁹
Conceição <i>et al.</i> (2014)	<i>B. bassiana</i>	AD, SC	Mortalidad	1 x 10 ⁵ , 1x10 ⁶ , 1x10 ⁷ , 1x10 ⁸

Tabla 7. Análisis estadísticos, tamaño de muestra y duración de los experimentos realizados en cada investigación.

Referencia	Análisis estadísticos	Tamaño de muestra	Duración del experimento
Vieira <i>et al.</i> (2024)	Curvas de supervivencia (Kaplan-Meier) Prueba de long-rank.	50 abejas	168 horas
Faita <i>et al.</i> (2024)	Índice de mortalidad corregida ANOVA de dos vías Prueba de Tukey Curvas de supervivencia (Kaplan-Meier) Prueba de long-rank.	50 abejas	120 horas
Leite <i>et al.</i> (2022)	Regresión paramétrica de supervivencia (modelo de Weibull) Mortalidad corregida Modelo lineal generalizado Prueba de Tukey Prueba de F.	<i>S. depilis</i> : 150 abejas. <i>T. angustula</i> : 240 abejas.	168 horas
Omuse <i>et al.</i> (2022b)	Actividad de vuelo y de forrajeo: Modelo lineal generalizado Persistencia y adquisición de conidios: regresión binomial negativa. Mortalidad: Regresión logística Prueba de Tukey.	Colonia	Vuelo y forrajeo: 1400-1500 horas. Mortalidad: 20 días (evaluaciones cada 24 horas).

Referencia	Análisis estadísticos	Tamaño de muestra	Duración del experimento
Omuse <i>et al.</i> (2022a)	Adquisición de conidios: Modelo lineal mixto Prueba de Tukey. Mortalidad diaria: Mortalidad corregida. Regresión probit. Supervivencia: Regresión de Cox. Curvas de supervivencia (Kaplan Meier). Micosis: Modelo lineal generalizado de efectos mixtos. Prueba de Tukey. Correlación de Pearson	30 abejas	10 días
Almeida <i>et al.</i> (2022)	Comportamiento: Modelo lineal generalizado. ANOVA de una vía. Prueba de Tukey. Componentes químicos de la cutícula: Modelo lineal generalizado. Análisis de desviación estándar (ANODEV). Análisis de contraste	80 abejas por colonia (10 colonias)	2 horas de observación y 24 horas de exposición
Toledo-Hernández <i>et al.</i> (2016)	Mortalidad: Mortalidad corregida. Prueba de Kruskal-Wallis. Prueba de Wilcoxon.	<i>S. mexicana</i> y <i>T. angustula</i> : 8 colonias cinco grupos de 30 abejas forrajeras por colonia. <i>M. beechii</i> : cinco grupos de 10 abejas forrajeras.	20 horas
Conceição <i>et al.</i> (2014)	Mortalidad corregida. Análisis de varianza. Regresión probit. Tiempo letal medio LT ₅₀ . Chi cuadrada. Prueba de paralelismo. Curvas de supervivencia (Kaplan-Meier). Prueba de long rank. Prueba de Gehan-Breslow-Wilcox.	125 abejas	10 días

Faita *et al.* (2024) determinaron diferentes porcentajes de supervivencia: *M. anisopliae* (58%), *B. bassiana* (38.9%) y *C. fumosorosea* (83.2%). Señalando a las cepas evaluadas como inofensivas o moderadamente dañinas para las abejas; y a la especie *Melipona quadrifasciata* como la más susceptible a la exposición con un 74.1% de mortalidad, *Plebeia droryana* con un 49.4% y finalmente *Scaptotrigona bipunctata* con 45.3%.

Leite *et al.* (2022) determinaron una disminución del 50% en la supervivencia de las abejas al exponerlas a

tres especies de hongos (*B. bassiana*, *M. anisopliae* y *C. fumosorosea*) en dos métodos de aplicación (aspersión directa e ingestión), concluyendo que las cepas evaluadas afectan considerablemente a las especies *Scaptotrigona depilis* y *Tetragonisca angustula*.

Omuse *et al.* (2022a) registraron entre el 6 y 16% de mortalidad en las abejas de la especie *Meliponula ferrugínea* expuestas a *Metarhizium anisopliae* (ICIPE 69). Estableciendo que estas no fueron significativamente afectadas. En otra investigación,

Omuse *et al.* (2022b) evaluaron la sobrevivencia y su comportamiento de polinización (actividad de vuelo, forrajeo y la adquisición de polen); y obtuvieron entre el 80.9-89.1% de sobrevivencia de las abejas *Meliponula ferruginea* a cinco cepas de *Metarhizium anisopliae* y una de *Beauveria bassiana*. Concluyeron que las cepas de hongos no tuvieron un efecto significativo sobre la sobrevivencia y el comportamiento de polinización.

La investigación de Almeida *et al.* (2022) fue la única en la que se evaluó el comportamiento de las abejas guardianas de *Tetragonisca angustula*; las cuales rechazaron al 91.25% de las abejas forrajeras expuestas a *B. bassiana*. Por su parte, Toledo-Hernández *et al.* (2016) evaluaron los porcentajes de mortalidad que producen *M. anisopliae* (40-94.2%), *B. bassiana* (<30.3%) e *I. fumosorosea* (<25%) estableciendo que *B. bassiana* es inofensivo-ligeramente inofensivo, *M. anisopliae* es ligeramente inofensivo a dañino e *I. fumosorosea* es inofensivo sobre las especies de abejas sin aguijón *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona mexicana* y *Melipona beecheii*.

Finalmente, Conceição *et al.* (2014) categorizan a *B. bassiana* como un hongo altamente virulento para *Melipona scutellaris* al causar porcentajes de mortalidad de 20.4% y 69.1%, por aspersión directa y por contacto con una superficie contaminada, respectivamente.

Los resultados muestran una amplia variabilidad en los porcentajes de sobrevivencia y mortalidad, lo que sugiere que los efectos de los hongos entomopatógenos no son homogéneos entre las especies de abejas sin aguijón. Un aspecto relevante es la variabilidad interespecífica entre meliponinos. Algunas especies como *Melipona quadrifasciata* y *Melipona scutellaris*, mostraron mayor susceptibilidad a ciertos hongos, mientras que otras como *Meliponula ferruginea*, presentaron altos porcentajes de supervivencia y ausencia de efectos significativos sobre el comportamiento de polinización.

Los hongos evaluados mostraron desde efectos inofensivos hasta niveles moderados o altos de toxicidad. *M. anisopliae* presentó con mayor frecuencia efectos adversos sobre las abejas sin aguijón, particularmente cuando la exposición ocurrió por ingestión o contacto directo; *B. bassiana* mostró resultados variables, mientras algunos estudios lo clasifican como inofensivo o de baja toxicidad, otros registran niveles elevados de mortalidad y efectos conductuales importantes, como el rechazo de abejas expuestas por parte de las guardianas de la colonia. Esto podría indicar que la patogenicidad de *B. bassiana* puede depender de la cepa utilizada o de las

condiciones experimentales. Por su parte, *C. fumosorosea* tendió a presentar menor toxicidad, aunque algunos trabajos documentaron efectos considerables cuando el hongo fue ingerido.

Asimismo, la vía de exposición constituye un factor determinante en la respuesta de las abejas. La ingestión fue consistentemente señalada como la más riesgosa, generando las menores tasas de supervivencia en comparación con la aspersión directa y el contacto con superficies contaminadas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con esta revisión sistemática se evidencia que la investigación de los efectos de los hongos entomopatógenos (biopesticidas), utilizados en el control de plagas, sobre las especies de abejas sin aguijón aún es escasa. La comprensión de los efectos que una misma especie de hongo podría causar en diferentes especies de abejas es esencial para un uso adecuado de biopesticidas en el manejo de plagas en diferentes regiones del mundo.

Esta síntesis resalta una gran variabilidad en los efectos de los hongos sobre las abejas sin aguijón, lo que puede deberse a diferentes factores como las especies de abejas que se estudiaron, las vías de exposición a las que se sometieron las abejas, las especies y cepas de los hongos evaluados, las concentraciones de conidios, la duración de los experimentos (Mommaerts *et al.*, 2009; Ramanaidu y Cutler, 2012; Colombo *et al.*, 2021; Leite *et al.*, 2022), así como la edad y la nutrición de las abejas en el momento del estudio (Erler *et al.*, 2022). La evidencia resalta la necesidad de realizar evaluaciones ecotoxicológicas específicas para cada especie de abeja, cepa fúngica y método de aplicación antes del uso de estos agentes en programas de control biológico.

De forma general se podría considerar a la aspersión directa y la ingestión, como los métodos de exposición que causan mayor impacto sobre las abejas sin aguijón, por lo que podría recomendarse la aplicación de biopesticidas a base de hongos entomopatógenos durante las horas en las que las abejas no se encuentran en actividades de forrajeo-pecoreo, que corresponden a un horario principalmente nocturno, entre las 18 hrs y las 6 hrs (Jacome-García *et al.*, 2024).

A pesar de que los estudios de laboratorio son una herramienta valiosa en la evaluación de riesgos bajo condiciones estandarizadas y controladas (Vieira *et al.*, 2024), la evaluación de riesgos para las abejas también debe considerar los desafíos en el escenario de campo, considerando los rasgos de comportamiento de las especies de abejas, el cultivo

objetivo, el momento y el método de cada aplicación de los biopesticidas. Una evaluación cuidadosa podría ayudar a decidir el mejor momento para la aplicación, considerando las plagas y los polinizadores (Leite *et al.*, 2022). Al ser las abejas insectos sociales (Blacquiére *et al.*, 2012) resulta necesario ampliar las investigaciones para evaluar los riesgos en colonias completas, en diferentes estadios del ciclo de vida y en su comportamiento.

Todas las investigaciones evaluadas en esta revisión coincidieron en la evaluación de productos comerciales elaborados a base de hongos entomopatógenos. Aunque estos son considerados como una opción más amigable para el ambiente, comparados con los pesticidas sintéticos, también pueden causar mortalidad en las abejas. Esto resalta la importancia de evaluar los productos que existen en el mercado. Actualmente existen protocolos estandarizados para evaluar los efectos de pesticidas químicos sobre las abejas melíferas, los cuales son reconocidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 1998). Sin embargo, aún faltan protocolos para evaluar el efecto de los biopesticidas sobre las abejas sin aguijón (Reinbacher *et al.*, 2021).

A pesar de que se conocen cientos de especies de hongos entomopatógenos, un número reducido de ellos se utiliza en el control de insectos plaga (Carrillo-Rayas y Blanco-Labra, 2009). Entre las especies más utilizadas se encuentran *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Nomuraea rileyi*, *Lecanicillium lecanii* y *Paecilomyces fumosoroseus* (Pacheco-Hernández *et al.*, 2019), sin embargo, esta revisión revela que la evaluación de los efectos de los hongos entomopatógenos sobre las abejas sin aguijón se limita a tres especies (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea*).

Con el desarrollo de esta revisión sistemática además de evaluar los porcentajes de mortalidad o supervivencia que causan los hongos entomopatógenos sobre las abejas sin aguijón también se encontraron estudios que evaluaron variables diferentes como la actividad de vuelo y forrajeo, la adquisición y persistencia de conidios (Omuse *et al.*, 2022a; Omuse *et al.*, 2022b); el comportamiento de las abejas guardianas ante abejas expuestas a un biopesticida así como los componentes químicos de la cutícula de aquellas abejas que se expusieron a los hongos entomopatógenos (Almeida *et al.*, 2022). Variables en las que valdría la pena seguir las investigaciones más allá de medir porcentajes de mortalidad o supervivencia.

Las abejas sin aguijón constituyen el grupo más diverso de abejas sociales, nativas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Michener,

2007), donde son polinizadores destacados con notable importancia cultural (Giannini *et al.*, 2020; Grüter, 2020; Silva-Rivera *et al.*, 2025). Sin embargo, en México no se encuentran incluidas en la Norma Oficial Mexicana (NOM- 059-SEMARNAT-2010) que identifica las especies o poblaciones de flora y fauna en riesgo (SEMARNAT, 2010).

Adicionalmente, se debe destacar que de los trabajos revisados en esta investigación solo uno se llevó a cabo en México (Toledo-Hernández *et al.*, 2016), por lo que resulta importante y pertinente la evaluación de los efectos de los hongos entomopatógenos sobre las abejas sin aguijón presentes en el territorio mexicano, pues solo conociendo los efectos de los agentes entomopatógenos en las abejas, será posible lograr una mayor eficiencia en el control de plagas con un impacto mínimo en estos insectos benéficos.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) antes CONAHCYT, por la beca de doctorado otorgada al primer autor (Convocatoria Becas Nacional (Tradicional) 2022-2, numero de becario 239739).

Funding. El presente trabajo no recibió financiamiento.

Conflict of interest: Los autores declaran que no existe conflicto de interés con respecto a este manuscrito.

Compliance with ethical standards. Debido a la naturaleza del estudio, esto no aplica.

Data availability. Los datos se encuentran disponibles con el primer autor en el correo electrónico nai.ramosrosas@gmail.com, mediante una petición razonable.

Author Contribution Statement (CRediT). N.N. Ramos-Rosas – Conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, escritura de documento original. B. del. S. Bolívar-Cimé – Conceptualización, escritura de documento original, supervisión, revisión y edición. A. Bravo-Vinaja – Metodología, curación de datos, revisión y edición. D. A. Rodríguez-Lagunes – Visualización, revisión y edición. M. A. García-Martínez – Supervisión, revisión y edición. S. Zamora-Juárez – Revisión. G. I. Salazar-Rivera – Revisión. Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

REFERENCES

Almeida, F.C.R., Magalhães, D., Favaris, A.P., Rodríguez, J., Azevedo, K.E.X., Bento,

- J.M.S. and Alves, D.A., 2022. Side effects of a fungus-based biopesticide on stingless bees guarding behaviour. *Chemosphere*, 287, pp. 132147. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132147>
- Blacquiére, T., Smagghe, G., Van Gestel, C.A. and Mommaerts, V., 2012. Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, 21, pp. 973–992. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0863-x>
- Campbell, A.J., Gomes, R.L.C., da Silva, K.C. and Contrera, F.A.L., 2019. Temporal variation in homing ability of the neotropical stingless bee *Scaptotrigona* aff. *postica* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 50, pp. 720–732. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00682-z>
- Carrillo-Rayas, M.T. and Blanco-Labra, A., 2009. Potencial y algunos de los mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga. *Acta Universitaria*, 19, pp. 40–49.
- Chapple, A.C., Downer, R.A. and Bateman, R.P., 2007. Theory and practice of microbial insecticide application. In: L.A. Lacey and H.K. Kaya, eds. *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. The Netherlands: Springer. pp. 9–34.
- Colombo, F.C., Maciel, R.M., Abati, R., Raulino-Domanski, F., Longhi, S.J., Costa-Maia, F.M. and Potrich, M., 2021. Do *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* affect worker survival and the production of Africanized *Apis mellifera* queens? *Journal of Apicultural Research*, 60, pp. 260–269. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1828237>
- Conceição, J.P., Lyra, N.C.M., Sodré, G.S., Carvalho, C.A.L., Souza, A.V., Ribeiro, G.S. and Campos, P.R., 2014. Susceptibility of *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae) worker bees to *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Sociobiology*, 61, pp. 184–188. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i2.184-188>
- Del Sarto, M.C.L., Oliveira, E.E., Guedes, R.N.C. and Campos, L.A.O., 2014. Differential insecticide susceptibility of the Neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honeybee *Apis mellifera*. *Apidologie*, 45, pp. 626–636. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0281-6>
- Engel, M.S., Rasmussen, C., Ayala, R. and de Oliveira, F., 2023. Stingless bee classification and biology (Hymenoptera: Apidae): A review, with an updated key to genera and subgenera. *ZooKeys*, 1172, pp. 239–312. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1172.104944>
- Erlor, S., Eckert, J.H., Steinert, M. and Alkassab, A.T., 2022. Impact of microorganisms and entomopathogenic nematodes used for plant protection on solitary and social bee pollinators: Host range, specificity, pathogenicity, toxicity, and effects of experimental parameters. *Environmental Pollution*, 302, pp. 119051. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119051>
- Faita, M.R., Pereira, E. and Poltronieri, A.S., 2024. Effect of entomopathogenic fungus-formulated bioinsecticides on stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the laboratory. *Journal of Apicultural Research*, 62, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1080/00218839.2023.2230717>
- Flores, S., Campos, S., Villaseñor, A., Valle, Á., Enkerlin, W., Toledo, J., Liedo, P. and Montoya, P., 2013. Sterile males of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) as disseminators of *Beauveria bassiana* conidia for IPM strategies. *Biocontrol Science and Technology*, 23, pp. 1186–1198.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2006. Normas internacionales para medidas fitosanitarias n. 1 a 27 (edición de 2006). Directrices para la exportación, el envío, la importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos NIMF n. 3, pp. 39–51
- Giannini, T.C., Alves, D.A., Alves, R., Cordeiro, G.D., Campbell, A.J., Awade, M., Bento, J.M.S., Saraiva, A.M. and Imperatriz-Fonseca, V.L., 2020. Unveiling the contribution of bee pollinators to Brazilian crops with implications for bee management. *Apidologie*, 51, pp. 406–421. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00727-3>

- Grüter, C., 2020, *Stingless bees. Their Behaviour, Ecology and Evolution*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Harris, J.D., Quatman, C.E., Manring, M.M., Siston, R.A. and Flanigan, D.C., 2014. How to write a systematic review. *American Journal of Sports Medicine*, 42, pp. 2761–2768. <https://doi.org/10.1177/0363546513497567>
- IPBES. Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services., 2016, The assessment report of the Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany.
- Jacome-García, J.C., Gonzalez, V.H., Riano-Jimenez, D.A., Herrera-Motta, A.F. and Cure, J.R., 2024. Foraging behavior and the nest architecture of a high-Andean stingless bee (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) revealed by X-ray computerized tomography. *Apidologie*, 55, pp. 2–13. <https://doi.org/10.1007/s13592-024-01074-8>
- Kaya, H.K. and Lacey, L.A., 2007. Introduction to -microbial control. In L. A. Lacey and H. K. Kaya, eds. *Field manual of techniques in invertebrate pathology*. The Netherlands: Springer. pp. 3–7.
- Kidanu, S. and Hagos, L., 2020. Research and application of entomopathogenic fungi as pest management option: a review. *Journal of Environment and Earth Science*, 10, pp. 32–39. <https://doi.org/10.7176/JEES/10-3-03>
- Leite, M.O.G., Alves, D.A., Lecocq, A., Malaquias, J.B., Delalibera Jr., I. and Jensen, A.B., 2022. Laboratory risk assessment of three entomopathogenic fungi used for pest control toward social bee pollinators. *Microorganisms*, 10, pp. 1800. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091800>
- MacMillan, F., McBride, K.A. George, E.S. and Steiner, G.Z., 2019. Conducting a Systematic Review: A Practical Guide. In: P. Liamputtong, ed. *Handbook of Research Methods in Health Social Sciences*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 805–826.
- Maina, U.M., Galadima, I.B., Gambo, F.M. and Zakaria, D., 2018. A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6, pp. 27–32.
- Michener, C.D., 2007. *The Bees of the World*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Mishra, J., Tewari, S., Singh, S. and Arora, N.K., 2015. Biopesticides: where we stand? In: N.K. Arora, ed. *Plant microbes symbiosis: applied facets*. New Delhi, India: Springer, pp. 37–75. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2068-8>
- Mommaerts, V., Sterk, G., Hoffmann, L. and Smagghe, G., 2009. A laboratory evaluation to determine the compatibility of microbiological control agents with the pollinator *Bombus terrestris*. *Pest Management Science*, 65, pp. 949–955. <https://doi.org/10.1002/ps.1778>
- Motta-Delgado, P.A. and Murcia-Ordoñez, B., 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6, pp. 77–90.
- OECD. Organisation de Coopération et de Developpement Économiques., 1998. Test No. 213: Honeybees, acute oral toxicity test. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/testno-213-honeybees-acute-oral-toxicity-test_9789264070165-en
- Omuse, E.R., Niassy, S., Wagacha, J.M., Ong'amo, G.O., Michael, H., Lattorff, H.M.G., Kiatoko, N., Mohamed, S.A., Subramanian, S., Akutse, K.S. and Dubois, T., 2022a. Susceptibility of the western honey bee *Apis mellifera* and the African stingless bee *Meliponula ferruginea* (Hymenoptera: Apidae) to the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. *Journal of Economic Entomology*, 115, pp. 46–65. <https://doi.org/10.1093/jee/toab211>
- Omuse, E.R., Niassy, S., Kiatoko, N., Lattorff, H.M.G., Wagacha, J.M. and Dubois, T., 2022b. A fungal-based pesticide does not harm pollination service provided by the African stingless bee *Meliponula ferruginea* on cucumber (*Cucumis sativus*). *Apidologie*, 53, pp. 28. <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00938-1>

- Pacheco-Hernández, L., Reséndiz, M.J.F. and Arriola, P.V.J., 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10, pp. 4-32. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, E., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. and Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 71, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Porto, R.G., De Almeida, R.F., Cruz-Neto, O., Tabarelli, M., Viana, B.F., Peres, C.A. and Lopes, A.V., 2020. Pollination ecosystem services: a comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Security*, 12, pp. 1425–1442. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J. and Vanbergen, A.J., 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, pp. 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Ramanaidu, K. and Cutler, G.C., 2012. Different toxic and hermetic responses of *Bombus impatiens* to *Beauveria bassiana*, *Bacillus subtilis* and spirotetramat. *Pest management science*, 69, pp. 949-954. <https://doi.org/10.1002/ps.3456>
- Reinbacher, L., Bacher, S., Praprotnik, E. and Grabenweger, G., 2021. Standard non-target tests for risk assessment of plant protection products are unsuitable for entomopathogenic fungi—A proposal for a new protocol. *Journal of Soils and Sediments*, 21, pp. 2357–2368. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02919-w>
- Reynaldi, F.J., Lucia, M. and García, M.L.G., 2015. *Ascosphaera apis*, the entomopathogenic fungus affecting larvae of native bees (*Xylocopa augusti*): first report in South America. *Revista Iberoamericana de Micología*, 32, pp. 261-264.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones Para su Inclusión, Exclusión o cambio-Lista de Especies en Riesgo. Gobierno de México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.html>
- Sharma, R. and Sharma, P., 2021. Fungal entomopathogens: a systematic review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, pp. 57. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00404-7>
- Silva-Rivera, E., Vázquez-Domínguez, G., Mota-Sánchez, Ó.H., Hernández-De la Cruz, I., Franco-José, R.M.; Velázquez-Rosas, N. and Martínez-Mota, R., 2025. The value of stingless bee bioproducts for human health and conservation: a systematic review. *Diversity*, 17, pp. 191. <https://doi.org/10.3390/d17030191>
- Sterk, G., Heuts, F. Merck, N., Bock, J. and Biobest, N.V., 2002. Sensitivity of non-target arthropods and beneficial fungal species to chemical and biological plant protection products: results of laboratory and semi-field trials. *1st International Symposium on Biological Control of Arthropods, Honolulu*, pp. 306–313.
- Toledo-Hernandez, R.A., Ruiz-Toledo, J., Toledo, J. and Sánchez, D., 2016. Effect of three entomopathogenic fungi on three species of stingless bees (Hymenoptera: Apidae) under laboratory conditions. *Journal of Economic Entomology*, 109, pp. 1015-1019. <https://doi.org/10.1093/jee/tow064>
- Technavio., 2015. Global agrosience market 2015–2019. Infiniti Research Limited, Toronto.
- Thungrabeab, M. and Tongma, S., 2007. Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Balsam) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch) on non target insects. *Current Applied Science and Technology*, 7, pp. 8–12.
- Van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W.J. and Urbaneja, A., 2018. Biological control using invertebrates and

- microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63, pp. 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>
- Vieira, J.B., Aguiar, C.M.L., Chambó, E.D., Fancelli, M., Bragança, C.A.D. and de Carvalho, C.A.L., 2024. Susceptibility of *Melipona scutellaris* Latreille (Hymenoptera: Apidae) to Biopesticides. *Sociobiology*, 71, pp. e9329. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v71i3.9329>
- Xiao, Y. and Watson, M., 2017. Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39, pp. 93–112.

ANEXOS

Anexo 1. Autores, títulos de las investigaciones, fuentes y países donde se realizaron las investigaciones incluidas en esta revisión.

Referencia	Título de la investigación	Fuente	País
Vieira <i>et al.</i> (2024)	Susceptibility of <i>Melipona scutellaris</i> Latreille (Hymenoptera: Apidae) to Biopesticides.	Sociobiology	Brasil
Faita <i>et al.</i> (2024)	Effect of entomopathogenic fungus-formulated bioinsecticides on stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the laboratory.	Journal of Apicultural Research	Brasil
Leite <i>et al.</i> (2022)	Laboratory Risk Assessment of Three Entomopathogenic Fungi Used for Pest Control toward Social Bee Pollinators.	Microorganisms	Brasil
Omuse <i>et al.</i> (2022b)	A fungal-based pesticide does not harm pollination service provided by the African stingless bee <i>Meliponula ferruginea</i> on cucumber (<i>Cucumis sativus</i>).	Apidologie	Kenya
Omuse <i>et al.</i> (2022a)	Susceptibility of the Western Honey Bee <i>Apis mellifera</i> and the African Stingless Bee <i>Meliponula ferruginea</i> (Hymenoptera: Apidae) to the Entomopathogenic Fungi <i>Metarhizium anisopliae</i> and <i>Beauveria bassiana</i> .	Journal of Economic Entomology	Kenya
Almeida <i>et al.</i> (2022)	Side effects of a fungus-based biopesticide on stingless bee guarding behaviour.	Chemosphere	Brasil
Toledo-Hernández <i>et al.</i> (2016)	Effect of Three Entomopathogenic Fungi on Three Species of Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae) Under Laboratory Conditions.	Journal of Economic Entomology	México
Conceição <i>et al.</i> (2014)	Susceptibility of <i>Melipona scutellaris</i> Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae) to <i>Beauveria bassiana</i> (Bals.) Vuill.	Sociobiology	Brasil