

# Los hongos entomopatógenos endémicos de México y su uso en el control microbiano de plagas

Roberto Montesinos-Matías<sup>1\*</sup>, Marco A. Mellin-Rosas<sup>1</sup> y Jorge A. Sánchez-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Control Biológico, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, DGSV-SENASICA, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC, Col. Tepeyac, C.P. 28110, Tecomán, Colima, México

\*Autor de correspondencia: montesinosroberto@yahoo.com.mx

## Resumen

### Palabras clave:

cultivo, micoinsecticida, plaga, sustentabilidad

La seguridad agroalimentaria a nivel mundial es amenazada cada año por la aparición de plagas. De las 1 272 plagas reconocidas a nivel global, cerca de 250 están presentes en México y afectan los rendimientos entre el 20 y el 40%. El control químico sigue siendo la principal herramienta de control; sin embargo, en los últimos años, se ha venido promoviendo el uso de hongos entomopatógenos en México, a través de programas implementados por el SENASICA. El desarrollo de esta tecnología es a través del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRF-DGSV-SENASICA), que prioriza el uso de organismos locales, considerando su ventaja adaptativa a las condiciones ambientales de cada región. Se describen las fases de desarrollo del control microbiano para hacer posible su uso y atender plagas de importancia nacional como la langosta, psílido asiático de los cítricos y el pulgón café de los cítricos. El uso de hongos entomopatógenos endémicos ofrece varios beneficios para la sanidad vegetal, es específico para la plaga y no afecta a la fauna benéfica, además no genera resistencia, y es seguro para el ser humano, debido a que son considerados de bajo riesgo.

## Introducción

En la actualidad la población mundial experimenta un crecimiento exponencial y se proyecta que para el 2050 se acercará a los 10 000 millones de personas. El crecimiento demográfico representa un desafío para la producción agrícola de alimentos, de acuerdo con los principios de sostenibilidad agrícola. Según la FAO, entre el 20

Enfoques Transdisciplinarios:  
Ciencia y Sociedad, 2(2),  
111-124. ISSN: 3061-709X.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.12765085>

Recibido: 14 marzo 2024  
Revisado: 28 de mayo 2024  
Aceptado: 04 de julio 2024  
Publicado: 18 de julio 2024

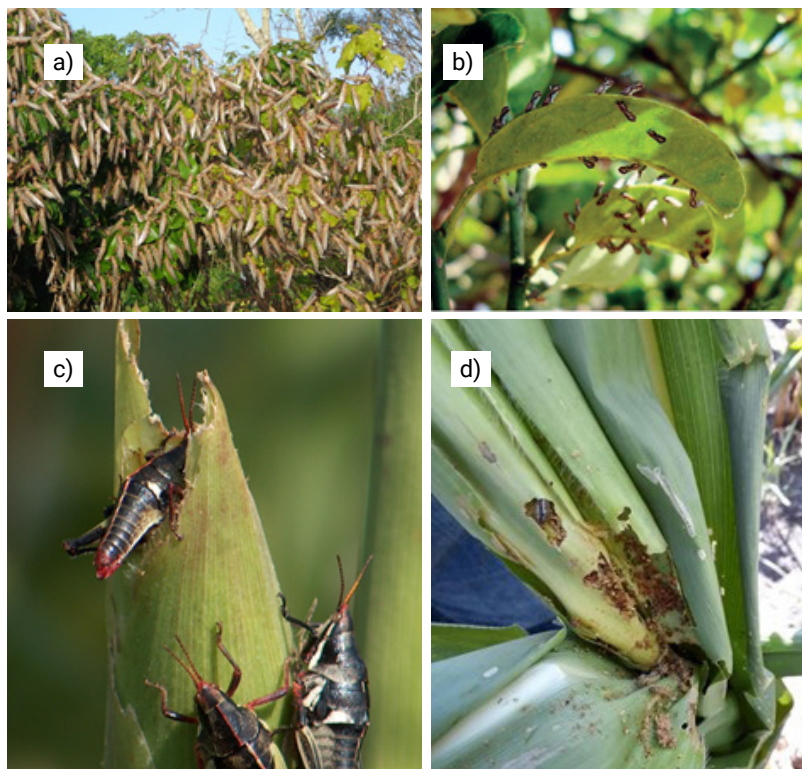


Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



y 40% de la producción agrícola mundial se pierde anualmente debido a las plagas (1 272 plagas reconocidas) (FAO 2019), por lo que el control de plagas surge como una preocupación primordial en la producción de cultivos. El uso de plaguicidas sintéticos ha experimentado un aumento significativo y alarmante en las últimas décadas, convirtiéndose en un elemento central del sistema de producción de cultivos predominantes. A pesar de su efectividad, varios de estos plaguicidas sintéticos están relacionados con una gran cantidad de consecuencias adversas tanto para la salud humana como para el ambiente. Por otra parte, muchos países han integrado en sus políticas públicas la reducción del uso de plaguicidas como un objetivo principal para promover una agricultura sostenible (García-Espinoza, Yousef-Yousef, García del Rosal, Cuenca-Medina, & Quesada-Moraga, 2024).

La asamblea de la ONU declaró en el año 2020 como año internacional de la sanidad vegetal para promover la salud de las plantas, puesto que cada vez están más amenazadas. El cambio climático y las actividades humanas han deteriorado los ecosistemas, reducido la biodiversidad y creado nuevos nichos donde las plagas pueden prosperar (Figura 1).



**Figura 1.** Tipos de plagas insectiles presentes en México. a) langosta, b) psílido asiático de los cítricos, c) chapulines y d) el gusano cogollero (créditos CESAVEG y CESVY)

El uso de hongos entomopatógenos (HEP) es una alternativa al ser respetuosos con el medio ambiente, tienen el potencial de establecer un ecosistema estable y libre de plagas, fomentando la productividad de los cultivos de manera sostenible. Los



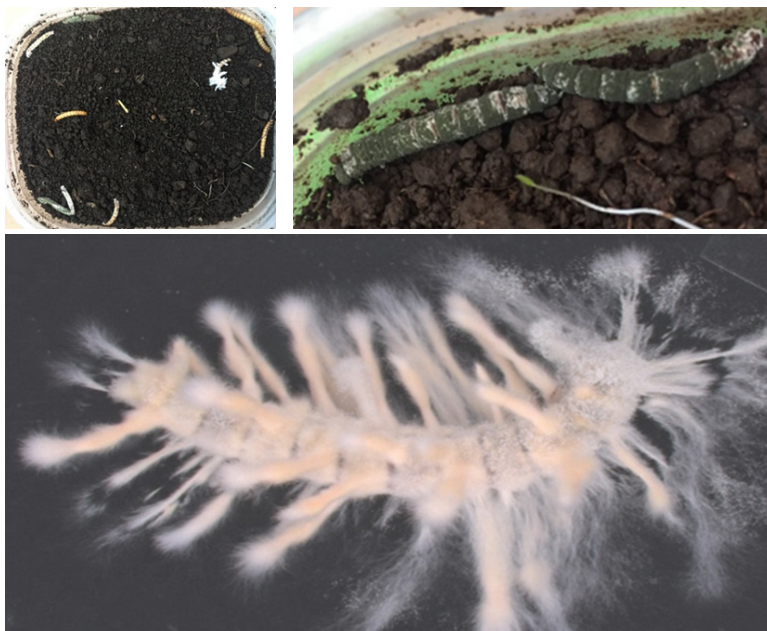
HEP son reconocidos como una herramienta de control biológico para ser utilizados en los programas de manejo integrado de plagas (MIP) un conjunto de estrategias sustentables para el manejo de plagas donde se integran herramientas biológicas, culturales, físicas y químicas para minimizar los riesgos económicos, ambientales y de salud humana (Rodríguez del Bosque, 2020), ya que pueden infectar a varios artrópodos con un modo de acción único por contacto a través del tegumento, desempeñando un papel clave en el control (Quesada-Moraga, Yousef-Naef & Garrido-Jurado, 2020). Entre los HEP, los géneros *Beauveria*, *Isaria* y *Metarhizium* se consideran excelentes ejemplos y son los más utilizados a nivel mundial (Arcas, 2019).

México es un país mega diverso, con varias condiciones edafológicas y climas en sus diferentes regiones, lo que hace un potencial enorme para obtener varios aislamientos de HEP, con grados diferentes de adaptación, y es un recurso muy valioso para el desarrollo de programas de control microbiano de las plagas agrícolas.

En México, el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2024) ha desarrollado programas de CB para mitigar varias plagas de importancia fitosanitaria. Las fases para su desarrollo incluyen: 1) búsqueda y colecta en campo, 2) bioensayos para la selección de cepas por su virulencia, 3) producción de unidades infectivas en sustratos sólidos, 4) formulación, 5) pruebas de seguridad biológica sobre insectos no blanco y mamíferos, 6) evaluación de equipos de aplicación y 7) evaluación de la efectividad biológica en campo (Sánchez-González *et al.*, 2015). A continuación, se describen brevemente las etapas desarrolladas y el impacto en los niveles de control y la superficie atendida.

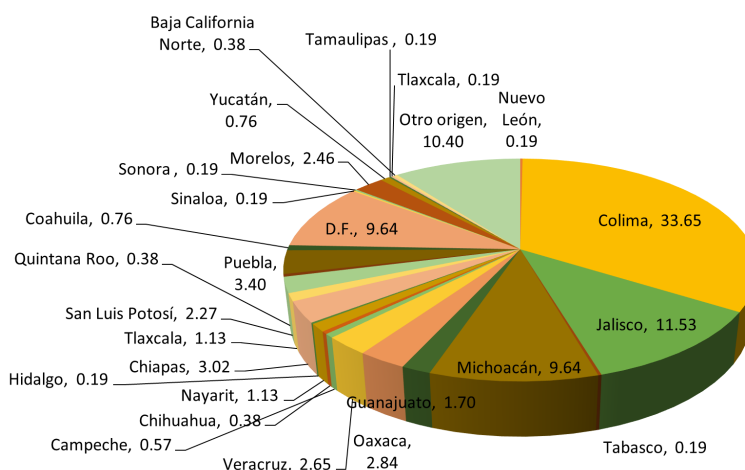
### **Búsqueda y colecta en campo**

En la actualidad, la exploración para la recolecta de agentes de control biológico se ha intensificado de manera general, con el propósito de obtener cepas con diferentes rangos de huéspedes, cultivos y una tolerancia ambiental adecuada (persistencia), además de una alta virulencia y otros rasgos que podrían ser beneficiosos durante su aplicación en campo (Solter, Hajek & Lacey, 2017). Como ejemplo, tenemos la experiencia del CNRCB que, desde su instauración, en 1991, en Tecomán, Colima, recolecta directa e indirecta a través de la exploración ha sido una actividad continua. La recolección directa consiste en la búsqueda *in situ* del HEP, en donde está presente la plaga objetivo. Por su parte, la recolecta indirecta consiste en tomar muestras de suelo de la rizosfera, de manera sistemática, para su análisis en laboratorio (Figura 2) (Berlanga-Padilla, Ayala-Zermeño, Montesinos-Matías & Rodríguez-Rodríguez, 2016).



**Figura 2.** Obtención de aislamientos de hongos entomopatógenos de muestras de suelo con *Tenebrio molitor*. **Nota.** Adaptado de *Aislamiento e identificación de hongos entomopatógenos asociados al cultivo del agave (*Agave cupreata* Trel. & Bergue) para el control de *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) en Michoacán*, de Perla Chávez-Maldonado, 2023. **Fuente:** <https://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/images/PDF/listastesis/licenciatura.pdf>.

Posterior al aislamiento y confirmación de la identidad morfológica de hongo obtenido en laboratorio, el siguiente paso es su preservación en técnicas que aseguren su viabilidad a largo plazo para asegurar el cuidado de la integridad genética y la no degeneración en su virulencia (Ayala-Zermeño *et al.* 2023). Derivado de las actividades de búsqueda y recolecta en campo de HEP, ha sido posible conformar la Colección de hongos del CNRCB, que al día de hoy cuentan con más de 1 200 aislados de más de 40 tipos de cultivos agrícolas y de las 31 entidades de la República Mexicana<sup>1</sup> (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución en porcentaje de cepas de la CHE por entidad federativa de origen

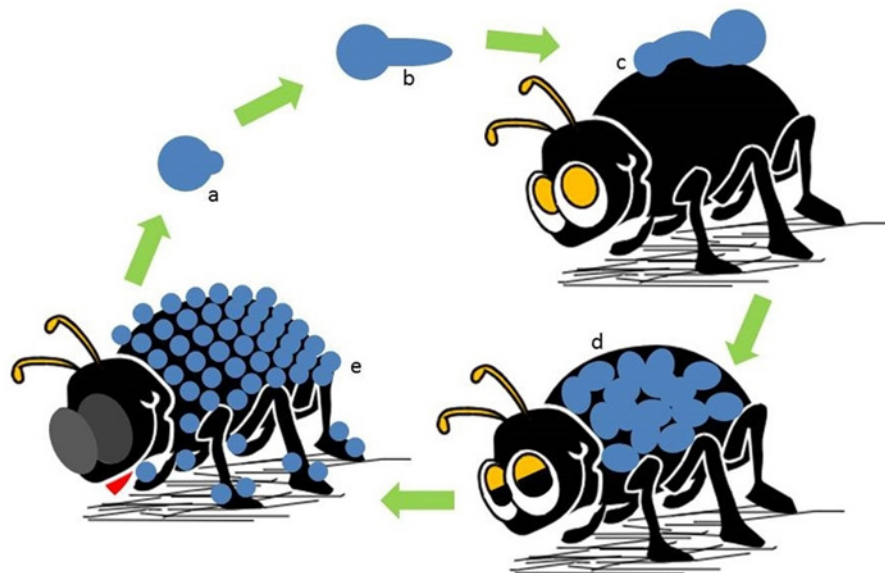
<sup>1</sup> [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/889315/Cat\\_logo\\_CHE\\_2024\\_\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/889315/Cat_logo_CHE_2024__1_.pdf)



El valor de esta colección de HEP del CNRCB radica en el origen geográfico de sus aislamientos ya que tres cuartas partes del total están georreferenciados y abarcan diferentes regiones agroclimáticas (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2024). Por ejemplo, de zonas tropicales, del cultivo de limón se tiene cepas de hongos del estado de Colima, San Luis Potosí, Oaxaca; subtropicales, aislamientos de broca de café y roya, de Chiapas, Colima, Nayarit, Guerrero y Veracruz; y de climas templados, para el cultivo de maíz, Coahuila, Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Zacatecas entre otros estados. Debido a esta diversidad de aislamientos de la colección del CNRCB, en la actualidad es el principal reservorio para la adquisición de cepas de hongos para desarrollo de micoinsecticidas. Del 2013 al 2023 se atendieron 184 solicitudes para proyectos de investigación y 106 solicitudes para su comercialización (pago de productos e5cinco), respectivamente. Continuar con la búsqueda de HEP en nichos no explorados permitirá detectar nuevas especies y variedades, con potencial aplicación en la sanidad vegetal en el futuro.

### **Bioensayos para la selección de cepas por virulencia**

Un paso importante para el desarrollo de bioinsecticidas formulados con HEP es determinar la patogenicidad y su virulencia, por lo cual inicialmente deben establecerse bioensayos en condiciones de laboratorio. Un bioensayo puede definirse como la evaluación de un estímulo con base en la respuesta que se obtiene de la interacción huésped - patógeno (Chan-Cupul, 2019). En este sentido, el estímulo es el HEP y la respuesta es la muerte o efecto fisiológico del huésped (Figura 4), (e.g. reducción de la alimentación, actividad física y pérdida de habilidad de movimiento) (Tamayo-Mejía & Guzmán-Franco 2010). Con los bioensayos se determina la virulencia de uno o varios aislamientos o cepas, la capacidad epizoótica y factores bióticos y abióticos que la impiden o favorecen (Butt & Goettel 2000). Los bioensayos también permiten determinar la amplitud de huéspedes del HEP (Altinok & Sami Koca 2019), lo cual es importante ya que en el control microbiano otro de los objetivos es que los agentes de control sean específicos, de tal modo que no se afecten otros organismos del entorno donde serán liberados.



**Figura 4.** Modo de infección de los hongos entomopatógenos. a) unidad infectiva (conidio) proveniente de cadáveres infectados o de un formulado, b) conidio germinado, c) desarrollo del tubo germinativo y formación del apesporio sobre la cutícula, d) cuando tiene éxito en la penetración del exoesqueleto, entra al cuerpo del insecto, y produce cuerpos hifales para terminar de invadir todos los tejidos del insecto, y finalmente e) el hongo emerge del cadáver para producir más conidios). **Nota.** Adaptado de “Strawberry IPM study 2012: Managing insect pests with chemical, botanical, and microbial pesticides”, S. K. Dara, 2013, E-JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND BIOLOGICALS. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=9595>

Sobre la experiencia del CNRCB (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2024), diferentes métodos de bioensayos se han empleado para evaluar un gran número de aislados endémicos, los cuales han permitido seleccionar cepas virulentas que actualmente se utilizan en programas de control biológico que opera el SENASICA (Arredondo-Bernal & Rodríguez-Vélez 2020). La estrategia empleada para el tamizado de cepas es el siguiente: 1) selección del hongo por huésped original (SADR-SENASICA, s.f.), es decir que el HEP se haya aislado de la plaga que se desea controlar o de un huésped emparentado taxonómicamente; 2) su origen geográfico, que se haya obtenido de una región donde las condiciones climáticas tengan afinidad durante su aplicación en campo y 3) del mismo cultivo agrícola donde se pretende emplear. Posterior a la selección de los HEP del catálogo, se inicia con los bioensayos, acorde al estadio biológico de la plaga que sea más susceptible. Por ejemplo, para buscar alternativas de control del psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri*, vector del Huanglongbing (HLB), se evaluaron 14 cepas de *Metarhizium*, 12 de *Isaria* y dos de *Beauveria* sobre ninfas y adultos de la plaga. De los resultados de bioensayo en laboratorio, la cepa de *Isaria javanica* CHE-CNRCB 307 resultó promisorio para el control, al ser la única que provocó una mortalidad mayor al 95% en ninfas y adultos de *Diaphorina citri* (Mellín-Rosas, Sánchez-González, Cruz-Ávalos, Montesinos-Matías, & Arredondo-Bernal, 2016).



Sin embargo, por desempeño de su efectividad biológica en entidades y regiones cítricas, se emplean cuatro cepas *Isaria javanica* CHE-CNRCB 303 (Tamaulipas), *Isaria javanica* CHE-CNRCB 307 (Colima, Jalisco, Nayarit y Oaxaca), *Isaria javanica* CHE-CNRCB 305 y 307 (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) y *Metarhizium anisopliae* CHE-CNRCB 224 (Hidalgo, San Luis Potosí y Veracruz) (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural/ Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2020).

### **Producción de unidades infectivas en sustrato sólido**

Para el uso de HEP contra insectos plaga se requiere de la producción de conidios o blastosporas, que son las unidades infectivas que enferman a las plagas. Las formas de conidios pueden ser producidos en fermentación en medio sólido (también conocido como fermentación bifásica) o cultivo líquido (también conocido fermentación sumergida o cultivo sumergido). Estos métodos de cultivo ponen a disposición los requerimientos básicos para el crecimiento micelial y conidiación de los hongos, fuentes nutricionales (carbono y nitrógeno), pH, temperatura y asegurar un buen intercambio gaseoso de oxígeno y CO<sub>2</sub> (Vega, Meyling, Luangsa-ard, & Blackwell, 2012).

Previo a la inoculación de los hongos en sustrato sólido o líquido, se involucra la producción *in vitro* en medio superficial como PDA, SDAY, SDAY/4 o medios específicos que se pueden formular a base de quitina para mejorar las características de crecimiento y virulencia (Montesinos-Matías *et al.* 2021). Los conidios de HEP producidos son cosechados con un volumen de Tween 80 (0.05%) y la superficie es raspada con una espátula, para luego ser agitados y filtrados con capas de gasa esteril para descartar el micelio. A continuación, se contabilizan los conidios en cámara de Neubauer para estandarizar suspensiones que se emplean como inóculo en la producción en medio sólido o cultivo sumergido. Durante la evaluación de producción de HEP en sustrato sólido, nos permite seleccionar las cepas con mayor rendimiento y productividad, es vital realizar este estudio debido a que se podría dar el caso de que cepas virulentas no superen esta prueba y deben ser descartadas, considerando el costo beneficio de producción.

En el CNRCB se utiliza el arroz como sustrato principal para la producción de HEP (Figura 5), los cuales posteriormente se emplean en programas de control biológico implementados por el SENASICA (Arredondo-Bernal & Rodríguez-Vélez, 2020) es el caso del psílido asiático de los cítricos, pulgón café de los cítricos, mosca del vinagre, chapulines, langosta y otros que están en desarrollo. Como ejemplo, las condiciones específicas de producción se pueden consultar en el *Manual de producción de Isaria javanica (Bally) Samson & Hywel-Jones para el control de Diaphorina citri* del SENASICA.

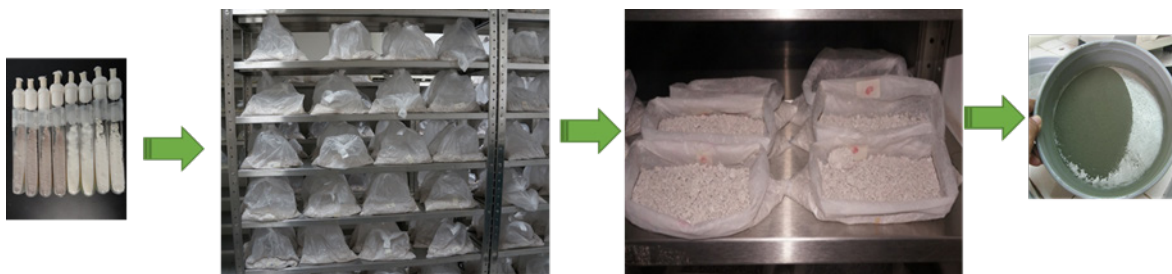


Figura 5. Esquema general de producción de HEP en el CNRCB, cultivo superficial, producción en arroz, secado y cosecha de conidios (Área de hongos entomopatógenos del CNRCB)

## Pruebas de seguridad biológica sobre insectos no blanco y mamíferos

Debido al aumento en la demanda de la población de productos hortofrutícolas libre de residuos químicos y el uso de tecnologías que respeten el equilibrio natural de los agro ecosistemas durante su producción, el desarrollo de micoinsecticidas es una alternativa real en la sanidad vegetal. Sin embargo, durante su aplicación es necesario conocer el efecto de los agentes de control microbiano sobre organismos no blanco, con atención puntual a aquellos que tienen un amplio rango de huéspedes. Los agentes de control microbiano, antes de que puedan ser utilizados en campo, tienen que sujetarse a todas las pruebas técnicas requeridas para garantizar la protección de la salud humana y un bajo impacto ambiental (Toriello & Brunner Mendoza 2020).

En México, para cumplir con la regulación de la producción, manejo, distribución y aplicaciones de los plaguicidas, es facultad de tres dependencias federales. Los aspectos sanitarios son regulados por la Secretaría de Salud (SS); el impacto al ambiente por la Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la eficacia biológica de los productos para uso agrícola por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). El registro sanitario de plaguicidas es una autorización sanitaria que emite la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) en coordinación con la SEMARNAT y SADER, el cual garantiza la eficacia y seguridad del producto registrado, y es requisito necesario para su venta y uso en México (Toriello & Brunner-Mendoza, 2020).

Las cepas de HEP que han resultado promisorias para el control de plagas, implementados por el SENASICA, los estudios de bioseguridad fueron realizados por el Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (Brunner-Mendoza, Navarro-Barranco, León-Mancilla, Pérez-Torres, & Toriello, 2017; Brunner-Mendoza, Reyes-Montes, Moonjely, Bidochka, & Toriello, 2019). La inocuidad de las cepas de HEP del CNRCB fue determinada en ratones, cobayos, hámsteres y conejos utilizados para experimentación. Analizando las interacciones entre HEP y el huésped, la enfermedad ocurre





únicamente en hospederos susceptibles, por el contrario, en los mamíferos antes mencionados fueron incapaces de causar daño, en este caso el hospedero elimina el hongo sin problema, por lo que ya no está disponible el mecanismo patogénico (Toriello & Brunner-Mendoza, 2020).

En relación a los metabolitos secundarios que pueden ser secretados en pequeñas cantidades y pueden variar entre especies de HEP, al día de hoy no se han encontrado riesgos por sí mismos a lo largo de varios ensayos y exposiciones en la naturaleza; sin embargo, el desarrollo de nuevas formulaciones y combinaciones de cepas sugiere que se deben realizar evaluaciones detalladas en el futuro para evitar que ocurran efectos no previstos, especialmente en el impacto a organismos no blancos (Toriello & Brunner-Mendoza, 2020).

### **Evaluación de efectividad biológica en campo**

Los agentes de control microbiano se usaron por primera vez mucho antes de que los insecticidas sintéticos fueran desarrollados. Fue Metchnikoff quien aplicó por primera vez, en 1878, un enfoque biotecnológico sobre el cultivo de HEP; sin embargo, fue Krassistschik el encargado de realizar la primera aplicación en 1888 a gran escala, en Rusia (Arcas, 2019). Desafortunadamente, los avances logrados a partir de estos hallazgos fueron más lentos de lo esperado, en buena medida debido a que entre los años 1930 y 1940 aparecieron en el mercado los plaguicidas sintéticos con marcada efectividad, lo que redujo el interés por los micoinsecticidas. No fue hasta la década de 1960, cuando se hicieron aparentes los problemas ambientales y de salud, asociados al uso de insecticidas químicos, que se retomó el interés por los bioinsecticidas fúngicos (Glare, 2004).

En general, las aplicaciones de productos, ya sea de origen químico o biológico en los cultivos, son realizadas como un proceso automático, donde se asume que todas las variables que influyen en la aplicación han sido tomadas en cuenta. Esta situación no es del todo cierta y tiene amplias repercusiones en el efecto biológico que se produce, lo cual se puede verificar en la variabilidad de los resultados de control que se obtienen lo que hace necesario que se realicen nuevas aplicaciones de los insumos biológico o, peor aún, que se desaliente el uso de estos (Tamayo-Mejía, Alatorre-Rosas, Delgado-Fernández, & Ocampo-Hernández, 2020). Por lo tanto, previo a la aspersión HEP, se deben considerar los siguientes aspectos importantes: tipo de cultivo (densidad, altura, hortícola, frutal), plaga a controlar (estadio más susceptible), las condiciones ambientales (alta humedad >90), el tipo de mós a utilizar (especificidad con el huésped), el equipo y proceso de aplicación (calibración, boquilla, volumen de agua, presión de aplicación, uso de coadyuvantes) y su compatibilidad con agroquímicos, así como con depredadores y parasitoides



(Tamayo-Mejía *et al.*, 2020). La combinación de todos estos factores debe dar como resultado la definición de la «ventana de control» para cada plaga en particular, y el cual se ilustra en la Figura 6.



**Figura 6.** Interacciones del huésped, entomopatógeno, cultivo, ambiente y tecnología de aspersión en la definición de la Ventana de control para el uso de patógeno en el manejo de plagas (Tomado de Tamayo-Mejía *et al.*, 2020)

El CNRCB ha realizado un gran número de evaluaciones en campo con los HEP que han resultado de interés para su aplicación inundativa de acuerdo al tipo de plaga y cultivo. En todas estas evaluaciones se han considerado los factores bióticos (estadio de la plaga y hábitos, HEP (viabilidad y virulencia), altura del cultivo) y abióticos (humedad relativa, temperatura, dirección del viento, horario del día y equipo de aplicación) para elegir el momento más oportuno de la aplicación.

De manera alternativa, la Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995 es la que establece los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico para fines de registro. Para plaguicidas microbianos los valores de efectividad biológica pueden ser igual o mayores al 50%, y que el producto ensayado demuestre ser al menos del mismo orden que el del producto utilizado como testigo regional (plaguicida de referencia, de efectividad biológica conocida, registrado en México, que se usa en una determinada región y se incluye como un tratamiento dentro de la evaluación) (NOM-032).

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la superficie atendida (ha) por cepa (s) de HEP de programas de control biológico vigentes al 2023, así como los estados



donde se han realizado las aplicaciones y los niveles de control alcanzados. Por citar un ejemplo, en el año 2023, para el control *Diaphorina*, se atendió 7 630.55 ha de cítricos, lo cual benefició a 910 productores (SICAFI, 2024). A nivel nacional, un total de 131 062.3 ha se han protegido con cepas de HEP del SENASICA, desde el 2012. Estas acciones de control microbiano han evitado el uso de insecticidas sintéticos, que afectan considerablemente a la fauna benéfica, a la salud humana y la contaminación de mantos freáticos. La cipermetrina es uno de los insecticidas recomendado para el control del psílido asiático de los cítricos, a una dosis de 0.5 L/ha; con el uso de HEP para su control, se estima que se evitó la aplicación de 51 441 L de este principio activo.

**Tabla 1.** Superficie atendida (ha) por cepas de hongos entomopatógenos en los programas implementados por el SENASICA

Programa	Cepas	Periodo	Niveles de control	Superficie atendida	Estados
Langosta/ <i>Schistocerca piceifrons piceifrons</i>	<i>Metarhizium acridum</i> CHE-CNRCB 206, 213	2009-2022	86-90%	15 844.5 ha	Campeche, Chiapas, Colima, Hidalgo, Oaxaca, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán
Psílido asiático de los cítricos/ <i>Diaphorina citri</i>	<i>Cordyceps javanica</i> CHE-CNRCB 303, 305 y 307	2012-2023	60-81.8%	102 881.8 ha	Colima, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, San Luis Potosí y Veracruz
Pulgón café de los cítricos/ <i>Toxoptera citricida</i>	<i>Cordyceps javanica</i> CHE-CNRCB 305	2009-2015	>90%	12 336 ha	Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Yucatán

## Conclusiones

Los HEP son microorganismos capaces de infectar y eliminar a las plagas, y tienen un gran potencial dentro de las estrategias de MIP. Su uso cada vez se recomienda más, debido a que los plaguicidas sintéticos han ocasionado resistencia en los insectos, ha disminuido los enemigos naturales, por lo que la búsqueda de agentes de control microbiano ecológicos sigue siendo una necesidad. A pesar de los avances científicos y de los programas desarrollados por el SENASICA, aún existe la necesidad de realizar estudios para ampliar el número de especies aplicables en el manejo de plagas y mejorar su desempeño en campo, así como aumentar la conciencia de los usuarios sobre su uso correcto, con el objetivo de establecer su adopción generalizada.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.



## Financiamiento

El presente trabajo contó con el financiamiento del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

## Agradecimiento

Se agradece la información proporcionada por el personal técnico de los OASV, sobre superficie atendida con HEP. A la Ing. María Dolores García Cancino y a los revisores por sus valiosos comentarios para mejorar esta versión del artículo.

## Referencias

- Altinok, M.A. & Sami Koca, A. (2019). Modes of Action of Entomopathogenic Fungi. *Current Trends in Natural Sciences*, 8(16), 117-124. [https://www.researchgate.net/publication/338390298\\_Modes\\_of\\_Action\\_of\\_Entomopathogenic\\_Fungi](https://www.researchgate.net/publication/338390298_Modes_of_Action_of_Entomopathogenic_Fungi)
- Arcas, J. A. (2019). Producción de hongos entomopatógenos. En C.C. Lopez Lastra & R.E. Lecuona (Eds.), *Micopatología de artrópodos* (pp.193-231). INTA Ediciones.
- Arredondo-Bernal, H.C. & Rodríguez-Vélez, B. (2020). Biological Control in Mexico. En J.C. van Lenteren, V.H.P. Bueno, M.G. Luna & Y.C. Colmenarez (eds.), *Biological Control in Latin America and the Caribbean: its Rich History and Bright Future* (pp. 308-335). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789242430.0308>
- Ayala-Zermeño, M.A., Berlanga-Padilla A.M., Regla-Márquez, C.F., Lino-López G.J., Muñiz-Paredes, F., Montesinos-Matías. R. & Sánchez-González. J.A. (2023). Long-term preservation and genetic stability of entomopathogenic fungal species. *Journal of Microbiological Methods*, 208, 106711. DOI: 10.1016/j.mimet.2023.106711.
- Berlanga-Padilla, A.M., Ayala-Zermeño, M.A., Montesinos-Matías, R. & Rodríguez Rodríguez, J.C. (2016). *Manual de Exploración para la Colecta de Hongos Entomopatógenos* (pp. 54). Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. Dirección General de Sanidad Vegetal, SAGARPA, SENASICA.
- Brunner-Mendoza, C., Navarro-Barranco, H., León-Mancilla, B., Pérez-Torres, A. & Toriello, C. (2017). Biosafety of an entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* in an acute dermal test in rabbits. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 36(1), 12–18. <https://doi.org/10.3109/15569527.2016.1156122>
- Brunner-Mendoza, C., Reyes-Montes, M. del R., Moonjely, S., Bidochka, M. J., & Toriello, C. (2019). A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. *Biocontrol Science and Technology*, 29(1), 83–102. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1531111>
- Butt, T.M. & Goettel, M.S. (2000). Bioassays of Entomogenous Fungi. En A. Navon y K.R.S. Ascher (eds.), *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes* (pp. 141-195). CAB International. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851994222.0141>



- Chan-Cupul, W. (2019). *Diseño De Bioensayos Para La Evaluación De Hongos Entomopatógenos*. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Colima.
- Chávez-Maldonado, P. (2023). Aislamiento e identificación de hongos entomopatógenos asociados al cultivo del agave (*Agave cupreata* Trel. & Bergue) para el control de *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) en Michoacán. <https://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/images/PDF/listastesis/licenciatura.pdf>
- Dara, S. K. (2013). Strawberry IPM study 2012: Managing insect pests with chemical, botanical, and microbial pesticides. *E-JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND BIOLOGICALS*. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=9595>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (03 de abril 2019). *New standards to curb the global spread of plant pests and diseases*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/New-standards-to-curb-the-global-spread-of-plant-pests-and-diseases/en>
- García-Espinoza, F., Yousef-Yousef, M., García del Rosal, M.J., Cuenca-Medina, M. & Quesada-Moraga, E. (2024). Greenhouse melon crop protection and production through the compatible use of a parasitoid with endophytic entomopathogenic ascomycetes. *Journal of Pest Science*. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01735-0>
- Glare, T. R. (2004). Biotechnological potential of entomopathogenic fungi. En D. K. Arora (ed.), *Fungal biotechnology in agricultural, food, and environmental applications* (pp. 79-90). Marcel Dekker Inc. <https://doi.org/10.1201/9780203913369.ch7>
- Goettel, M. & Inglis, G.D. (1997). Fungi Hyphomycetes. En L. Lacey (ed.), *Manual of techniques in insect pathology* (p. 213-249). USDA, ARS, Academic Press.
- Mellín-Rosas, M.A., Sánchez-González, J.A., Cruz-Ávalos, A.M., Montesinos-Matías, R., & Arredondo-Bernal, H.C. (2016). Patogenicidad de cepas de hongos entomopatógenos sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en condiciones de laboratorio. *Southwestern Entomologist*, 41(3), 791-800. <https://doi.org/10.3958/059.041.0321>
- Montesinos-Matías, R., Ordaz-Hernández, A., Ángel-Cuapio, A., Colin-Bonifacio, Y., García-García, R.E., Ángel-Sahagún, C.A. & Arredondo-Bernal, H.C. (2021). Principal component analysis of the biological characteristics of entomopathogenic fungi in nutrient-limited and cuticle-based media. *Journal of Basic Microbiology*, 61,147–156. <https://doi.org/10.1002/jobm.202000627>
- Quesada-Moraga, E., Yousef-Naef, M. & Garrido-Jurado, I. (2020). Advances in the use of entomopathogenic fungi as biopesticides in suppressing crop insect pests. En N.N. Birch y T. Glare (eds.), *Biopesticides for sustainable agriculture* (pp. 63–98). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2020.0073.05>



- Sánchez-González, J.A., Mellín-Rosas, M.A., Arredondo-Bernal, H.C., Vizcarra-Valdez, N.I., Gonzalez-Hernández, A. & Montesinos-Matías, R. (2015). Psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). En H.C. Arredondo & L.A. Rodríguez del Bosque (eds.), *Casos de control biológico en México*, Vol. 2 (pp. 339-372). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. (1 de agosto 1997). *NORMA Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2020). *Manual operativo de la campaña contra plagas de los cítricos*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614759/Manual\\_operativo\\_Plagas\\_de\\_los\\_Citricos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614759/Manual_operativo_Plagas_de_los_Citricos.pdf).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2024). *Colección de hongos entomopatógenos (CHE)*. (<https://www.gob.mx/senasica/documentos/coleccion-de-hongos-entomopatojenos>).
- Sistema de Información de Campañas Fitosanitarias. (2024). *Superficie atendida con hongos entomopatógenos para el control del Psílido Asiático de los Cítricos y los productores beneficiados para el año 2023*. <https://www.sicafi.gob.mx/DGSV/>
- Solter L.F., Hajek A.E., Lacey L.A. (2017). Exploration for entomopathogens. En L.A. Lacey (ed), *Microbial control of insect and mite pests: from theory to practice* (pp. 13–23). Elsevier Inc.. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00002-0>
- Tamayo-Mejía, F. & Guzmán-Franco, A. (2010). *Bioensayos con hongos entomopatógenos* (pp. 115), XXXIII Congreso Nacional de Control Biológico, Manual del participante, Curso-taller “Control de calidad de insecticidas microbianos: Hongos y nematodos entomopatógenos” 8-10 de noviembre de 2010, Uruapan, Michoacán, México.
- Tamayo-Mejía, F., Alatorre-Rosas, R., Delgado-Fernández, S. & Ocampo-Hernández J.A. (2020). Principios de aplicación de entomopatógenos. En H.C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía & L.A. Rodríguez del Bosque (eds.), *Fundamentos y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades* (pp. 405-425). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Toriello, C. & Brunner-Mendoza, C. (2020). Seguridad Biológica de microorganismos, con énfasis en hongos entomopatógenos. En H.C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía & L.A. Rodríguez del Bosque (eds.), *Fundamentos y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades* (pp. 331-341). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Vega, F. E., Meyling, N.V., Luangsa-ard, J.J. & Blackwell, M. (2012). Fungal entomopathogens. En F.E. Vega y H.K. Kaya (eds.), *Insect pathology*, 2nd Ed. (pp. 171–220). Academic Press.