



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**USO DE HONGOS *Cordyceps s. l.* COMO CONTROLADORES BIOLÓGICOS  
DE ARTRÓPODOS PLAGA EN CULTIVOS AGRÍCOLAS DE MÉXICO:  
TRABAJO DE REVISIÓN.**

**T E S I N A**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**BIÓLOGA**

**PRESENTA**

**YESSICA LISBETH HERNÁNDEZ DURÁN**

**DIRECTORA DE TESINA  
M. en C. IRENE FRUTIS MOLINA**



**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, febrero de 2024**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **Agradecimientos**

A Dios y a la vida por permitirme estar aquí ahora, concluyendo uno de mis pendientes.

A la UNAM por permitirme ser parte de su comunidad, por dejarme aprender en sus aulas y por darme las facilidades para poder emprender una Carrera que amo, la Biología.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por ser una facultad muy agradable, por tener buenas instalaciones y distintas áreas de desarrollo para las carreras que imparte, especialmente la Carrera de Biología.

A la Micóloga y maestra Irene Frutis Molina, por ser mi asesora, por ser mi maestra la cual me ha compartido gran parte de su conocimiento sobre los hongos. Mil gracias por la paciencia, tiempo y por ser tan buena persona conmigo.

A los profesores que fungieron como mis sinodales: Edith López Villafranco, Ana Lilia Muñoz, Eric Loeza Torres, Marcela Patricia Ibarra, mil gracias por revisar mi trabajo y guiarme para que lo concluyera de la mejor manera.

Al profesor Stanford, por sugerirme y guiarme para culminar mi tesina.

## **Agradecimientos especiales**

A mis padres, pero principalmente a mi madre por ser una parte muy importante en mi desarrollo como persona, por darme todo el apoyo, el amor y cariño. Los amo Mamá y Papá.

A mi David, a mi Emilio por ser mi familia y ser mi todo. Gracias por acompañarme al bosque, gracias por los ánimos, los abrazos y por darme tiempo para poder concluir esto. ¡Los amo!

A mis hermanas Nancy y Gaby, a mi hermano Pablo, a mis sobrinos y sobrina gracias por darme todo su cariño, tiempo y días divertidos.

A mis amigos de la Carrera Tannia, Elizabeth, Rodrigo, Ismael y Diana (03) a Gloria, Andy, Hada, César y Carlos Inge (53), gracias por todos los momentos tan geniales, por las risas y prácticas en compañía de ustedes, sin duda el estudiar Biología junto a ustedes fue una experiencia muy linda, los quiero mucho.

A Dianita, gracias por invitarme al bosque de vez en cuando y por animarme siempre que lo necesito.

A mis amigas de otras ciudades Dani, Brenda, Dania, Nely, Itzel, Shar, Lluvia, Lau, Mers, Mazi y María, gracias por ser un gran soporte en momentos difíciles, es un placer coincidir en gustos (Paramore). Las quiero mucho.

## Dedicatoria

*Este trabajo lo dedico a mi hijo Emilio y mis sobrinos Mateo, Alonso, Nathalia, Fer y Julian, porque el futuro está en ustedes. Con todo mi cariño, estoy feliz y agradecida de poder compartir momentos en el bosque con mis niños, de poder transmitir lo que sé y sembrar ese amor hacia la naturaleza.*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PARTE HISTÓRICA-CRONOLÓGICA <i>Cordyceps s.l.</i> .....	2
ANTECEDENTES.....	4
COMENTARIO.....	6
JUSTIFICACIÓN .....	6
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
MATERIALES Y MÉTODO.....	7
RESULTADOS.....	9
Especies de <i>Cordyceps s.l.</i> reportadas en México .....	9
Especies anamórficas encontradas en México.....	30
<i>Cordyceps s.l.</i> : potencial controlador de plagas agrícolas .....	34
Especies de <i>Cordyceps s.l.</i> para uso como control de plagas.....	36
Análisis de algunas investigaciones realizadas con hongos <i>Cordyceps s.l.</i> como control de plagas .....	37
Comparación de resultados de las investigaciones revisadas .....	45
Parámetros a considerar en la utilización de hongos entomopatógenos <i>Cordyceps s.l.</i> como control biológico .....	46
Ventajas y desventajas de utilizar hongos entomopatógenos .....	47
CONCLUSIONES .....	48
COMENTARIOS .....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Metodología seguida para la realización de este trabajo .....	8
Figura 2: <i>Cordyceps militaris</i> (Hagen, 2021) .....	10
Figura 3: <i>Ophiocordyceps melolonthae</i> (Fuentes, 2018). .....	11
Figura 4: <i>Cordyceps scarabaeicola</i> , peritecios emergiendo (Jiaming, 2017). .....	13
Figura 5: Estromas de <i>Cordycepioideus octosporus</i> (actualmente llamado <i>Ophiocordyceps octospora</i> ) emergiendo de un hemiptero del suborden Auchenorrhyncha, (Blackwell y Gilbertson, 1981). .....	14
Figura 6: <i>Cordyceps takaomontana</i> (Richter, 2017). .....	15
Figura 7: <i>Cordyceps dipterigena</i> parasitando una mosca, (López y García, 2006). .....	16
Figura 8: <i>Ophiocordyceps entomorrhiza</i> (Матершев, 2017). .....	18
Figura 9: <i>Cordyceps polyarthra</i> (Rockefeller, 2018). .....	19
Figura 10: <i>Paraisaria gracilioides</i> , estromas emergiendo del sustrato (Rockefeller, 2013). .....	20
Figura 11: Estroma de <i>Cordyceps pruinosa</i> creciendo en un hospedero desconocido dentro de un pedazo de madera, (Guzmán et. al, 2001). .....	21
Figura 12 <i>Ophiocordyceps gracilis</i> , estromas emergiendo de una larva de lepidóptero (Cortés., 2012). .....	22
Figura 13: <i>Ophiocordyceps sobolifera</i> (Pelissier, 2011). .....	23
Figura 14: <i>Ophiocordyceps stylophora</i> (Meade. 2020). .....	24
Figura 15: <i>Ophiocordyceps sphecocephala</i> creciendo sobre una avispa muerta, (Sourell, 2016). .....	25
Figura 16: <i>Cordyceps ophioglossoides</i> (Siegel, 2008). .....	26
Figura 17: <i>Tolyptocladium capitatum</i> observado en Michoacán, Mex. (Herrera, 2012). .....	27
Figura 18: <i>Ophiocordyceps camponoti-atricipis</i> parasitando una hormiga, (Robles, 2022). .....	28
Figura 19: <i>Cordyceps mexicana</i> (Rockefeller, 2022). .....	29
Figura 20: <i>Beauveria bassiana</i> (Rockefeller, 2022). .....	31

Figura 21: <i>Beauveria pseudobassiana</i> hospedero de insecto del orden Coleoptera, encontrado en Tahoe National Forest, Calpine, CA, US (Bright, 2023). .....	32
Figura 22: Muestras del hongo <i>Metarhizium Anisopliae</i> en laboratorio e infectando diferentes insectos, (Noticias UNSAM, 2013). .....	33
Figura 23: Pruebas para control del psílido asiático de los cítricos ( <i>Diaphorina citri</i> ) con <i>Cordyceps fumosorosea</i> (Sistema Integral de Comunicación, 2018). .....	34

## INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido una de las actividades esenciales a lo largo de la historia, puesto que implica el establecimiento de un sistema de subsistencia, la producción y el consumo de plantas cultivadas, principalmente las domesticadas (McClung de Tapia, 2013). No obstante, el hombre con el propósito de poseer el control del ecosistema, ha realizado actividades que causan daños a los ciclos naturales, todo a consecuencia del desconocimiento, así como el mal uso de los nuevos avances científicos, como son la utilización de maquinaria para cambio de uso de suelo y la aplicación desmedida de plaguicidas y herbicidas químicos, etc. Por esta razón, se han ido generando más problemas en la actividad agrícola, al punto de ocasionar un desequilibrio ecológico muy grave. Una de estas adversidades es la aparición de artrópodos plaga, pues el uso de “tecnologías modernas” impiden el establecimiento de los enemigos naturales de dichas plagas (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Hace algunas décadas, en el intento de dominar las distintas formas en que las plagas atacaban los cultivos, y además la fuerte demanda de producción agrícola, se optó por recurrir al desarrollo de medios químicos de control, así surgieron los plaguicidas (García y Rodríguez, 2012). Está claro que no es correcto aplicar de forma intensiva capital y tecnología en un sistema agrícola, para que sea altamente productivo y competitivo, pues con ello se acarrearán una serie de problemas de tipo económico, social y ambiental, (Nava-Pérez, 2012). La aplicación excesiva de plaguicidas, conlleva riesgos para el ser humano, tanto directa como indirectamente, pues las zonas de cultivo de plantas son tratadas con plaguicidas sintéticos y por ende son contaminadas. De manera general, se deterioran los cultivos, el suelo, su entorno, además del agua, algo esencial para las necesidades básicas, para el ganado, para la flora y fauna nativa, y en definitiva para el funcionamiento del ecosistema (Fenik *et al.*, 2011).

En ese mismo contexto, a causa de la preocupación sobre la contaminación ambiental, la resistencia de plagas y el severo daño a la salud del ser humano, se han buscado

alternativas más amigables para un control biológico de artrópodos plagas, una de estas son los hongos entomopatógenos. Los hongos entomopatógenos, como su nombre lo dice, producen enfermedades a insectos y éstas a diferencia de otras son fáciles de identificar (Evans, 1993). La estrategia de invasión que utilizan estos hongos es penetrar la cutícula del huésped con ayuda de una combinación de mecanismos químicos (enzimas extracelulares) y físicos (presión mecánica), y es así como en esta fase se determina el éxito o falla del proceso de infección.

Los hongos entomopatógenos y su importancia ecológica se conocen desde el comienzo de la micología, a inicio del siglo XIX; sin embargo, en Asia ya se habían hecho observaciones desde hace más de 1000 años atrás, los cultivadores de hierbas ya habían sido testigos de esta relación entre el gusano de seda (*Bombix mori* L.) y la enfermedad que provoca, además de algunos otros casos similares (Evans, 1993). En específico, dentro del grupo de los hongos entomopatógenos, el género *Cordyceps* es uno de los principales, no sólo por provocar enfermedades a insectos y ser un potencial controlador biológico, sino que también, se le han atribuido propiedades medicinales en el continente asiático en países como Japón, China y Corea. Al igual, podrían ser utilizados como alimento funcional, a pesar de eso, es casi desconocido en México (López y Burrola, 2019).

El género *Cordyceps* pertenece al filo Ascomycota y al orden Hypocreales. Principalmente se encuentra en las regiones tropicales de Asia y América.

### **PARTE HISTÓRICA-CRONOLÓGICA *Cordyceps s.l.***

La ciencia no es estática y avanza con el tiempo. Pasan los años y hay nuevos descubrimientos, así se genera el conocimiento. Tal es el caso de la Biología y con ello, la clasificación de los seres vivos, pues va cambiando de acuerdo al avance tecnológico y científico.

Un caso específico son los hongos, pues hace algunos siglos, y todavía hasta la mitad del siglo pasado, se creía que eran parte del reino Plantae. Aunque ya se clasificaban en los dos grandes grupos actualmente conocidos: Ascomycetos y Basidiomycetos, aún se necesitaba separarlos de los vegetales, pues tienen muchas diferencias a pesar de proliferar en entornos muy parecidos. Así, Robert H. Whittaker establece el reino Fungi y otros cuatro reinos en 1969 (Parchés, 2019).

A lo largo de la historia, se sabe que distintas especies de hongos han sido utilizadas con fines alimenticios y medicinales, una de ellas es *Cordyceps militaris*, que desde tiempos muy antiguos se ha utilizado en la medicina tradicional, y así es como se le han atribuido muchos beneficios hasta el momento (Das *et al.*, 2010) y no sólo en la alimentación, sino también se sabe que es un excelente controlador biológico (Rivera, 2019) En tiempos antiguos se le conocía como “Clavaria”, debido al parecido de sus estromas con los de otros hongos de ese género (Shrestha *et al.*, 2014).

Linnaeus describió al género con el mismo nombre genérico “Clavaria” e incluso mencionó algunas especies de *Cordyceps* en su gran obra *Species Plantarum* (Linnaeus, 1753). Esto atrajo la atención de importantes micólogos a lo largo de la historia, algunos de ellos fueron Persoon (1799), Fries (1823), Link (1833), Tulasne Brothers (1865), los cuales fueron creando categorías de hongos, observando su sustrato, el clima donde crecían, color, forma y hasta olor de los esporomas, posteriormente Berkeley (1843) y Saccardo (1883) aportaron describiendo estructuras de hongos microscopicos para conocer su diversidad (Saucedo, 2023). Así es como *Cordyceps s. l.* fue cambiando de nombre, primero *Clavaria*, luego *Sphaeria*, *Torrubia* y finalmente Link, en 1833 propuso a *Cordyceps* como un nuevo nombre genérico (Shrestha *et al.*, 2014).

El género *Cordyceps* ha pasado por muchos cambios en cuanto a su clasificación taxonómica, principalmente porque cuando se comenzó a estudiar, no existía la tecnología con la que se cuenta hoy (por ejemplo, análisis filogenéticos), aun así, fue posible encontrar nuevos hallazgos acerca de este género.

Hace algunos años, *Cordyceps* todavía se incluía dentro de la familia *Clavicipitaceae*, recientemente, se hicieron estudios filogenéticos a partir de datos moleculares y se

llegó a la conclusión de desglosar a *Cordyceps* en 3 familias y 4 géneros: *Cordyceps* s. s. en *Cordycipitaceae*, y *Elaphocordyceps* G. H. Sung & Spatafora y *Ophiocordyceps* Petch emend G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora en *Ophiocordycipitaceae*. Además se agrega a *Metacordyceps* como género, este incluye a especies de *Cordyceps* que son parásitos de gramíneas. Los resultados concluyen la existencia de tres clados clavicipitáceos y rechazan la monofilia de *Cordyceps* y *Clavicipitaceae* (Sung *et al.*, 2007).

También, gracias a las pruebas filogenéticas, hoy sabemos que existen algunas formas asexuales de *Cordyceps* (anamorfos) y varias de ellas son muy conocidas y utilizadas como control biológico de plagas, un ejemplo es: *Beauveria bassiana*, recientemente llamada *Cordyceps bassiana* al teleomorfo (fase sexual) (Rehner & Buckley, 2005).

## **ANTECEDENTES**

López-Rodríguez *et al.* (2022) describieron una nueva especie dentro del complejo *Cordyceps militaris*, la cual se distribuye en bosques de *Pinus-Quercus* en el centro de México, la llamaron *Cordyceps mexicana*, se observó que a pesar de ser una especie muy parecida morfológicamente a *Cordyceps militaris*, es una especie filogenéticamente distinta, aun así, se consideran especies hermanas. En este proyecto se detalla la morfología, relaciones filogenéticas y el ciclo de vida de *Cordyceps mexicana*.

Ballesteros-Aguirre (2020) hizo análisis acerca de la morfología y ecología de *Ophiocordyceps unilateralis s.l.* del occidente de Jalisco, en donde se registra por primera vez. Se observó que la interacción del hongo con sus hospederos (hormigas del género *Camponotus*), es muy distinta a otras partes del mundo, pues por lo regular, el hongo parásito provoca que las hormigas suban a las ramas más altas de la vegetación. Sin embargo, en la zona de estudio, la mayoría de especies de *O. unilateralis s.l.* ocasionan que sus hospederos mueran en lugares más oscuros y húmedos. Además, se encontró a una especie de *Ophiocordyceps*, parasitando a *Cephalotes goniodontus*, la cual es una hormiga distinta a las encontradas en estudios anteriores. Concluye que este complejo de hongos se adapta a diferentes condiciones ambientales, en particular a la humedad,

temperatura, luz, tipos de vegetación y sustratos presentes. Las condiciones ambientales determinan de qué manera se expresan las diferentes estrategias de infección sobre diferentes especies de hormigas, es decir, que estimulan a los hongos a producir diferentes tipos de estromas, sinemas o esporodoquios.

Pérez-Villamares *et al.* (2017) realizaron muestreos micológicos en el sureste del Estado de México. Examinaron un total 236 especímenes, las cuales se agruparon en 7 especies identificadas: *Ophiocordyceps entomorrhiza*, *O. gracilioides*, *O. gracilis* y la fase conidial de *Ophiocordyceps stylophora*, contribuyendo así, a nuevos registros para el Estado de México, y *Cordyceps takaomontana* y *C. scarabaeicola*, las cuales se citan por primera vez para México. Con este trabajo se incrementan a 17 las especies registradas para México.

Guzmán *et al.* (2001) llevaron a cabo una investigación acerca de los hongos de género *Cordyceps* en México, registraron en total quince especies de dicho género y otros géneros afines. Reportaron por primera vez en el país a *C. dipterigena* y *C. pruinosa*, además de descubrir que *Cordyceps militaris* y *C. melolonthae var. rickii*, tienen una amplia distribución, pues se encontraron en otros estados de la República Mexicana.

Pérez-Silva (1978) cita por primera vez a *C. entomorrhiza* y *C. stylophora*, así como las fases conidiales *Hirsutella stylophora* y *Paecilomyces fumoso-roseus*, así para ese momento, eran 10 especies de *Cordyceps* reportadas para México. El material estudiado en este trabajo se encuentra depositado en el Herbario MEXU.

Pérez-Silva (1977) contribuyó al conocimiento de material depositado en el Herbario ENCB. MEXU, describió cinco especies del género *Cordyceps* en México en estado ascógeno y una en forma conidial.

## COMENTARIO

*Cordyceps sentu lato* es un grupo de hongos muy poco conocidos en México, se sabe que hasta el momento sólo se tiene registrada una pequeña parte del total, pues México es uno de los cinco países megadiversos en todo el mundo.

Se conoce poco acerca de *Cordyceps s.l.*, debido a la falta de investigaciones enfocadas en estos hongos, a pesar de que estos pudieran ofrecer una alternativa muy eficaz como control de plagas, un problema en la agricultura nacional. Es necesario recopilar la información obtenida hasta el momento, para dar pie a futuras investigaciones, además de despertar el interés y curiosidad por este tipo de hongos en futuros biólogos, micólogos y público en general.

## JUSTIFICACIÓN

*Cordyceps Fr. sentu lato (s.l.)* es un grupo parafilético del cual se conocen alrededor de 1300 especies hasta el momento, no obstante, en México sólo se han registrado 17, hasta el año 2017, y recientemente, gracias a pruebas filogenéticas, se encontró que existe una especie muy parecida a *Cordyceps militaris*, a la cual se le dio el nombre de *Cordyceps mexicana* (López-Rodríguez *et al.*, 2022). Aun así, el interés por estudiarlos ha sido poco, a pesar de que el uso como controladores biológicos en la actividad agrícola puede ser redituable y traería notables mejoras en el costo-beneficio, no sólo hablando económicamente, sino también en el ámbito ecológico, pues específicamente, este género tiene como hospederos a insectos de distintos órdenes, además de varias especies de la clase Arachnida, y algunos otros, son parásitos de hongos del género *Elaphomyces* (Nikoh & Fukatsu, 2000; Pérez-Villamares *et al.*, 2017). Es de gran importancia conocer los proyectos en los que se han utilizado estos hongos, para saber que tanto avance hay en México específicamente y así poder dar lugar a nuevos estudios, para dar difusión a estrategias más naturales para el control biológico.

## **OBJETIVO GENERAL**

Conocer el uso y la importancia de hongos del género *Cordyceps* como potenciales controladores biológicos de insectos sobre cultivos agrícolas en México.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Registrar las especies de *Cordyceps sensu lato* que se han encontrado en México, sus características generales y sus posibles asociaciones con insectos plaga.
- Analizar algunos proyectos de investigación en donde se hayan utilizado especies del grupo *Cordyceps s.l.* como controladores biológicos de plagas agrícolas en México.
- Comparar los resultados obtenidos de los estudios realizados hasta el momento.
- Definir los parámetros a considerar para el éxito en la utilización de hongos entomopatógenos *Cordyceps s.l.* como control biológico de plagas en cultivos agrícolas.
- Proporcionar los pros y contras acerca de la utilización de las especies *Cordyceps s.l.* en la agricultura.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

Se realizó una extensa búsqueda de distintos artículos científicos, libros, tesis y tesinas para la introducción a temas relacionados con los hongos *Cordyceps s.l.* Se revisaron en total 57 distintas publicaciones hechas desde que se comenzó a estudiar dicho grupo parafilético de hongos hasta el año 2022 (Ver figura 1).

Se leyeron y analizaron cada una de las publicaciones para entender la caracterización morfológica de cada especie, su ecología y su posible uso como control biológico, para algunas especies que no cuentan con una caracterización por parte de investigaciones mexicanas, se consultaron trabajos de algunos otros países.

Se realizó un listado de especies de *Cordyceps sentu lato*, en donde se incluyeron sus características morfológicas, habitat, hospederos y foto. Además, se revisaron distintos artículos de investigaciones en donde se han utilizado hongos entomopatógenos del grupo *Cordyceps s.l.* como control biológico en México, para comparar los métodos de aplicación y resultados obtenidos.

En la búsqueda de las primeras publicaciones hechas en México (1977) con respecto a *Cordyceps sentu lato*, se utilizó la leyenda “*Cordyceps especies en México*” y para los proyectos en donde se registra la aplicación de *Cordyceps s.l.* como control biológico de insectos plaga, se consideró el intervalo de tiempo de 10 años (de 2012 a 2022) y se escribió la leyenda: “*Cordyceps control de plagas en México*”.

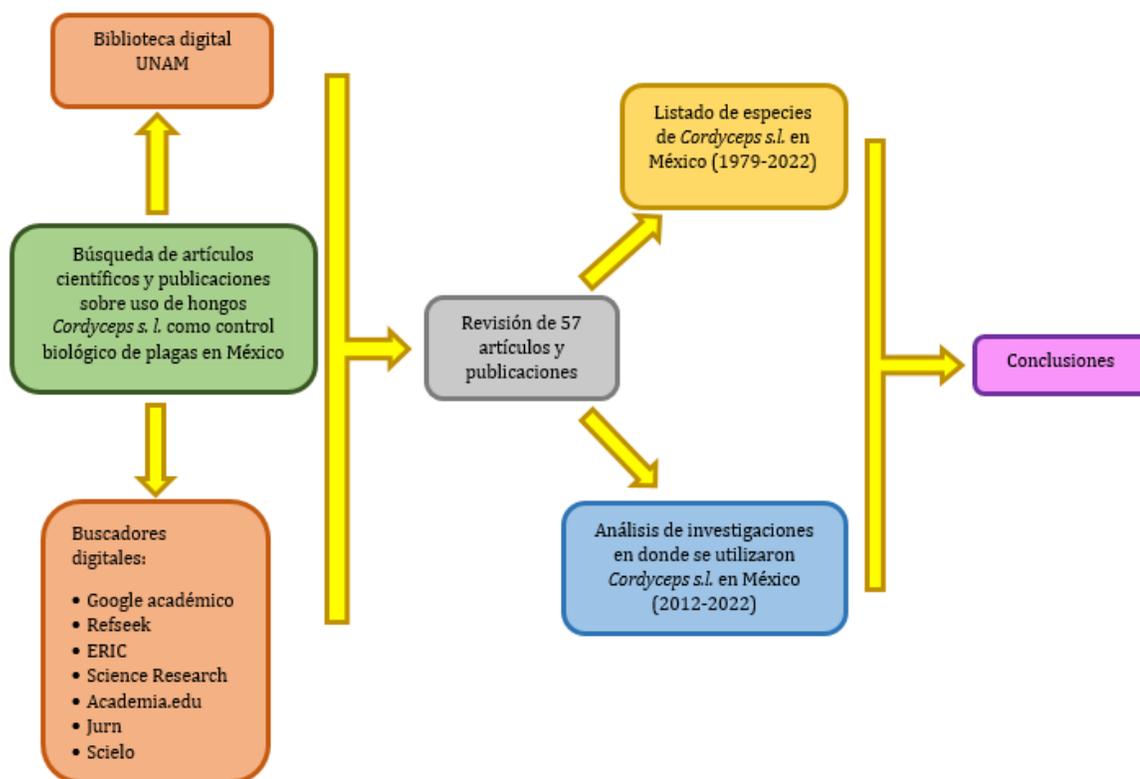


Figura 1: Metodología seguida para la realización de este trabajo

## RESULTADOS

### Especies de *Cordyceps s.l.* reportadas en México

En este trabajo se recopilaron las caracterizaciones morfológicas de cada una de las especies de *Cordyceps sensu lato* encontradas en México, para así conocer su morfología, el hábitat donde se encuentran, sus hospederos y el posible uso como control biológico de plagas agrícolas.

#### 1. *Cordyceps militaris* (L.) Fr. (Index fungorum, 1818).

*C. militaris* es una especie con estromas solitarios o gregarios, cilíndricos a clavados de 2-8 cm de longitud. La parte fértil puede ser cilíndrica o clavada, de 1.8-3 cm de largo × 5-8 mm de diámetro, de color anaranjado o amarillo (Figura 2). Estípite de forma cilíndrica, textura lisa y carnosa, de 2-5 cm de largo y 1-5 mm de ancho, color anaranjado claro a amarillo. Los peritecios son ovoides, completamente inmersos en el estroma, en ángulo recto, miden 580-670 × 315-325 μm (n = 20). Ascas cilíndricas y filamentosas, de 3-6 μm de ancho (n = 20). Ascosporas hialinas, filiformes, multiseptadas que se fragmentan en porciones de 3.5-4.2 × 1.4-2 μm (n = 20) (Pérez-Villamares *et al.*, 2017).

Hábitat: Constantemente se han encontrado en bosques de *Quercus L.*-*Pinus L.*; vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Quercus*.

Hospedero: Se ha observado parasitando pupas y larvas de *Paradirphia lasiocampina* (R. Felder et Rogenhofer) (Lepidoptera: Saturniidae) enterradas en el suelo.

A *C. militaris* se le puede encontrar en pupas de diferentes lepidópteros nocturnos, y algunos autores argumentan que la adaptación de *C. militaris* a tener como hospederos a insectos de diferentes grupos taxonómicos se debe a su presencia en diversas regiones geográficas y zonas ecológicas (Kobayasi, 1941; Mains, 1958; Sung y Spatafora, 2004).



Figura 2: *Cordyceps militaris* (Hagen, 2021).

2. ***Ophiocordyceps melolonthae var. Rickii*** (Lloyd) GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora, Stud. Micol. 57: 44 (2007), actualmente llamado ***Ophiocordyceps melolonthae*** (Tul. & C. Tul.) GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora (Index Fungorum, 2007).

Estromas claviformes de 30 a 60 x 3-5 mm de longitud, en la parte terminal se observa la zona ascogena; de color amarillo ocre, acentuándose el color al secarse. La capa del peritecio es completa en la parte fértil. Peritecios ovoides, periféricos e inmersos en el estroma. Las ascas son cilíndricas; ascosporas octosporadas, filiformes, fragmentadas en segmentos de 4-8 x 1-1.5  $\mu\text{m}$  (Pérez-Silva, 1977).

Especie con estromas de 26 x 0.5-1.5 mm, este es subclavado a subcapitado, regularmente solitario. La parte fértil mide 5.5 x 1.5 mm, carece de zonas estériles, es de color amarillo azufre con un ligero tono rojizo en el ápice, El estípote mide 20.5 x 0.8

mm, de forma cilíndrica, y color amarillo claro. La corteza es estromática no es muy definida, está constituida por hifas un poco perpendiculares, con respecto al borde, pero no de forma empalizada. Las hifas más externas de la corteza miden 3.2-4.4  $\mu\text{m}$  de grosor. Los peritecios miden 410-540 x 197-276 $\mu\text{m}$ . son piriformes, completamente inmersos en el estroma en ángulo recto, de color ámbar muy claro (Figura 3). La pared peritecial mide 13.8-23.5  $\mu\text{m}$  de grosor, pseudoparenquimatosa, recubierta internamente por una capa delgada mucilaginosa. Las ascas de (208-)240-384 x 6-6.4  $\mu\text{m}$ , sub cilíndricas. de pared delgada, hialinas, pared apical de 2.4-3.2  $\mu\text{m}$  de grosor. Ascosporas filiformes, se fragmentan en porciones unicelulares con extremos rectos, segmentos de las ascosporas de 4.8-7.2 x 0.9-1.2  $\mu\text{m}$ , hialinas (Rubio-Bustos *et al.*, 2000).

Hábitat: Bosque de *Quercus-Pinus*

Hospedero: Larvas y coleopteros adultos de la familia Melolonthidae género *Phyllophaga* (grupo Blanchardi; Pérez-Silva, 1977; Rubio-Bustos *et al.*, 2000).



Figura 3: *Ophiocordyceps melolonthae* (Fuentes, 2018).

3. *Cordyceps scarabaeicola* Kobayasi, actualmente llamado *Beauveria scarabaeicola* (Kobayasi) SA Rehner & Kepler, en Kepler, Luangsa-ard, Hywel-Jones, Quandt, Sung, Rehner, Aime, Henkel, Sanjuan, Zare, Chen, Li, Rossman, Spatafora, Shrestha (Index Fungorum, 2017).

*C. scarabaeicola* es una especie que emerge de escarabajos adultos enterrados en tierra u hojarasca (Figura 4). Sus estromas son solitarios o gregarios, estos se observan clavados, miden 1.5-80 mm de longitud. Estípote cilíndrico de textura lisa, mide 8-3.5 cm de longitud × 2-4 mm de diámetro, de color amarillento a amarillo pálido. La parte fértil puede ser cilíndrica a subclavada, de de 3 a 4.5 cm de longitud × 2.5-6 mm de diámetro, color Amarillo intenso a amarillo pálido, en la parte fértil tienen ostiolas, de color amarillo intenso a oscuro, se diferencia un poco del estípote, ya que son casi iguales en cuanto a diámetro. Los peritecios son ovoides con una punta obtusa, semi-inmersos, apiñados en el ápice de los estromas, miden 590-630 × 280- 380µm (n = 15). Ascas cilíndricas, de 5-6.4µm de diámetro (n = 15). Ascosporas hialinas, filiformes, multiseptadas que se fragmentan en ascosporas secundarias o individuales de 5.2-7.5 × 1.3-1.8µm (n = 15) (Wang *et al.*, 2022).

Hábitat: Se ha encontrado en bosque de *Quercus-Pinus*; ecotono entre vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Juniperus* L. y una zona agrícola; vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Quercus*.

Hospederos: Coleopteros adultos de la familia Scarabaeidae: *Cotinis mutabilis* Gory et Percheron (subfamilia Cetoniinae), 2 especies no identificadas del género *Phyllophaga* (subfamilia Melolonthinae) y *Xyloryctes thestalus* Bates (subfamilia Dynastinae), además de algunas pupas de Lepidoptera (Wang *et al.*, 2022).



Figura 4: *Cordyceps scarabaeicola*, peritecios emergiendo (Jiaming, 2017).

4. *Cordycepioideus octosporus* M. Blackw. y Gilb. 1981 Actualmente llamado *Ophiocordyceps octospora* M. Blackw. y Gilb. GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora (Index Fungorum, 2007).

Los estromas periteciales surgen de la cutícula del insecto, se perciben como estacas, de forma claviforme, y a veces rizada en la punta, miden de 2-3 mm de alto, son de color blanco a café claro, la parte fértil comprende un 1/2-2/3 de todo el cuerpo, excepto en el ápice. Peritecios subglobosos a ovoides, miden 180-220 X 200  $\mu\text{m}$ , tiene una capa externa de tejido estromal ostiolado. Paráfisis apicales presentes, disolviéndose como ascas maduros; las ascas miden 250 X 60  $\mu\text{m}$ , claviformes, evanescentes en la madurez; se producen 8 ascosporas por asco, estas son cilíndricas, planas por un lado y curvo por el otro, con extremos cónicos, miden 40-70 X 15-30  $\mu\text{m}$ , se oscurecen en la madurez y

se ven de color gris violáceo a la luz. (Blackwell & Gilbertson, 1981). Posteriormente se observó de nuevo dicha especie y se encontró con perífisis y paráfisis apicales presentes, además de desarrollo del centro hipocreáceo; de 2 a 8 ascosporas por asco, de forma elipsoidal a elipsoidal-fusiforme, y en la madurez, se forman 7-15-ascosporas septadas (Blackwell y Gilbertson, 1984).

Hábitat: Desconocido.

Hospedero: Isopteros adultos de la familia Termitidae (especie: *Tenuirostitermes tenuirostris*) y hemipteros. (Blackwell & Gilbertson, 1984).



Figura 5: Estromas de *Cordycepioideus octosporus* (actualmente llamado *Ophiocordyceps octospora*) emergiendo de un hemiptero del suborden Auchenorrhyncha (Blackwell y Gilbertson, 1981).

5. *Cordyceps takaomontana* Yakush. et Kumaz (Index fungorum,1941)

Hongo con estromas solitarios, a veces subgregarios, de forma cilíndrica a clavada, de 2-6 cm de largo, color amarillo. Se divide en dos partes, la fértil que es cilíndrica o clavada, de 2-3 cm de longitud  $\times$  0.3-0.4 cm de diámetro con ostiolas superficiales, densos, mamiformes, de color amarillo intenso a amarillo pálido. Estípites cilíndricos, de textura lisa o estriada longitudinalmente, de 1-3.5 cm de longitud  $\times$  1-4 mm de diámetro de color amarillo intenso o amarillo pálido. Peritecios ovoides, semi-inmersos o superficiales, en forma de matrás miden 450-580 $\times$ 220-250 $\mu$ m; ascas cilíndricas con pared transparente muy fina 4.4-5.6 $\mu$ m de diámetro; ascosporas alargadas truncadas en ambos extremos, de 4.5-7.2  $\times$  0.7-1.2 $\mu$ m (Vied *et al.*, 2022).

Hábitat: bosque de *Quercus-Pinus*; vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Quercus* y el ecotono entre vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Juniperus* y zona agrícola.

Hospedero: Pupas y larvas de lepidópteros enterradas en el suelo o entre ramas caídas o madera podrida (Figura 6).



Figura 6: *Cordyceps takaomontana* (Richter, 2017).

6. *Cordyceps dipterigena* Berk. & Broome, actualmente llamada *Ophiocordyceps dipterigena* (Berk. & Broome) GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora, Stud. Mycol. 57: 42 (Index fungorum, 2007).

Hongo con estromas de color naranja canela o marrón canela, con cabezas de alrededor de 1-2,5 mm de ancho, hemisféricos o subgloboides. Las ascas son delgadas, hialinas, de más de 320  $\mu\text{m}$  de largo por 6-10  $\mu\text{m}$  de ancho, con casquetes hialinos prominentes, de 5-7 x 6-6,5  $\mu\text{m}$ . Las ascosporas son filiformes, multiseptadas, rompiéndose en fragmentos cilíndricos o fusiforme-elípticos, hialinos, de 6-8 x 1-1,5  $\mu\text{m}$  (Figs. 6-7 y 14-16). No se nota estadio conidial (Mains, 1958).

Hábitat: Desconocido.

Hospedero: Moscas (Fig. 7) probablemente del género *Eucalliphora* (Diptera, Calliphoridae), que, a su vez, son parásitos de larvas de lepidópteros. (Guzmán, 2001).



Figura 7: *Cordyceps dipterigena* parasitando una mosca (Tighe, 2023).

7. *Cordyceps entomorrhiza* (Dicks.) P., Summa veg. Escanear., Sección Publicación. (Estocolmo): 381 (1849), actualmente llamado *Ophiocordyceps entomorrhiza* (Dicks.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones et Spatafora (Index fungorum, 2007).

Esta especie se caracteriza por sus estromas solitarios o subgregarios, capitados, de 3-8 cm de longitud. La parte fértil se encuentra en el extremo superior, es esférica y mide de 2-5 × 3-5 mm, algunas veces es de color rojizo pálido, otras un rojizo/marrón o café amarillento, su textura se percibe rugosa por la presencia de ostiolos. Estípites de forma cilíndrica, de color blanco o de color café, este mide 25-75 × 1.5-2 mm. En la base se observan varios cordones miceliales, todos emergiendo del sustrato donde se encuentra *O. entomorrhiza*, estos miden de 1-3 cm de longitud y no más de 1 mm de diámetro son de color blanco a café claro (Fig. 8). Ascas delgadas de forma cilíndrica, ascosporas filiformes, multiseptadas 475-535 × 1-1.5 μm (López y García, 2002).

Hábitat: vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Quercus*.

Hospedero: larvas de coleóptero enterradas en el suelo.



Figura 8: *Ophiocordyceps entomorrhiza* (Матершев, 2017).

8. ***Cordyceps polyarthra*** Möller. Bot. Guante. tropo. 9: 213 (Index fungorum, 1901)

*Cordyceps polyarthra* es una especie con estromas de 19-22 x 1-3 mm, clavados, de 1 a 2 por hospedero. La parte fértil mide 8-9 x 2-3 mm, por lo regular es de color amarillo claro, pero a veces se encuentra con una tonalidad rojiza. Estípite de 10-12 x 1-2 mm, de forma cilíndrica, del mismo color que la parte fértil (Fig 9).

La corteza estromática no se ve muy definida. Sus peritecios miden: (285.6-)386-492.5 x 143.8-236.4 (-266)  $\mu\text{m}$ , son piriformes, y están completamente inmersos en el estroma en ángulo recto, de color café rojizo. La pared peritecial mide 19.7-29.5  $\mu\text{m}$  de grosor, es pseudoparenquimatosa, recubierta en la parte interna por material de apariencia gelatinosa. Ascas de 221.6-380 x (4.4-) 4.8-5.6  $\mu\text{m}$ , de forma subcilíndricas, de pared delgada, hialinas, su pared apical mide 2.2-2.8  $\mu\text{m}$  de grosor. Las ascosporas son filiformes, y se fragmentan en porciones unicelulares con extremos rectos. segmentos de las ascosporas de 4.4-5.6(-7.2) x 0.8-1.2  $\mu\text{m}$ , hialinas (Rubio-Bustos *et. al.* 2000).

Habitat: Desconocido

Hospedero: Pupas de Lepidoptera, de 18-21 x 9-11 mm, recolectado en los meses de agosto (Rubio-Bustos *et al.* 2000).



Figura 9: *Cordyceps polyarthra* (Rockefeller, 2018).

9. *Ophiocordyceps gracilioides* (Kobayasi) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones et Spatafora (2007), actualmente llamado *Paraisaria gracilioides* (Kobayasi) CR Li, MZ Fan & ZZ Li, en Li, Ming, Fan & Li (Index fungorum, 2004).

*O. gracilioides*, es una especie con estromas ensanchados, solitarios, a veces subgregarios, miden 1.5-2 cm de longitud, la parte fértil es de forma esférica u ovoide (2-3 mm de longitud × 3.5-4 mm de diámetro), de color café claro (Fig. 10), o café rojizo. El estípote es cilíndrico, de 1.7-1.8 cm de largo × 1.5-2 mm de ancho, color crema, de vez en cuando naranja claro. Peritecios ovoides completamente inmersos y elongados, de 800-890 × 220-280µm. Ascas cilíndricas, de 5.8-7µm de diámetro. Ascosporas cilíndricas, hialinas, que se rompen en fragmentos individuales (Mongkolsamrit *et al.*, 2019).

Hábitat: Ecotono entre vegetación secundaria arbustiva de bosque de *Juniperus* y una zona agrícola. (Pérez-Villamares *et al.*, 2017).

Hospedero: Larvas de coleóptero enterradas en el suelo.



Figura 10: *Paraisaria gracilioides*, estromas emergiendo del sustrato (Rockefeller, 2013).

#### **10. *Cordyceps pruinosa* Petch (Index fungorum, 1924).**

Este hongo produce varios estromas de color naranja brillante en forma de racimo por cada huésped. La longitud de los estromas varía de 1 a 3 cm, la parte fértil se encuentra en la mitad superior del estroma. La cabeza apical consta de peritecios semi sumergidos, estrechamente ovoides, de color anaranjado, superficiales y apretados perpendicularmente al estroma, miden  $360-400 \times 180-200 \mu\text{m}$ , ascas de  $150 \mu\text{m}$  de longitud y  $2.8-3 \mu\text{m}$  de diámetro. Ascosporas con estructuras delgadas en forma de hilo en el medio y esporas parciales adheridas en ambos lados que miden  $124-141 \mu\text{m}$  de longitud (Shin *et al.*, 2004).

Hábitat: Desconocido.

Hospedero: Pupas de lepidópteros (Shin *et al.*, 2004).



Figura 11: Estromas de *Cordyceps pruinososa* creciendo en un hospedero desconocido (Apolo. 2023)

**11. *Ophiocordyceps gracilis*** (Grev.) G.H. Sung, J.M. Sung (2007), actualmente llamado ***Paraisaria gracilis*** (Grev.) Luangsa-ard, Mongkols. & Samson, en Mongkolsamrit, Noisripoom, Arnamnart, Lamlerthton, Himaman, Jangsantear, Samson & Luangsa-ard (Index fungorum, 2019).

Especie de estromas delgados, con abultamiento globular en forma de esfera, los estromas pueden ser solitarios o en pares, acomodados de forma erecta o curvada, de 2-4cm de largo, se han observado emergiendo del tórax de su hospedero. La parte fértil es esférica, mide 2-5 × 2-4mm, de color salmón claro (Figura 12) a rojizo. El estípite es de forma cilíndrica, puede ser recto o curvado, de 15-35mm de longitud × 1-2mm de diámetro, puede ser de color amarillo claro o color crema. Ascas llenas de muchas esporas, Ascosporas hialinas, filiformes y lisas, acomodadas una sobre otra 6-10m × 1-2µm) (Medel, 2013).

Hábitat: Se ha encontrado en bosques de niebla, pero también entre vegetación secundaria de bosque de *Juniperus* y zonas agrícolas.

Hospedero: larvas de lepidóptero.

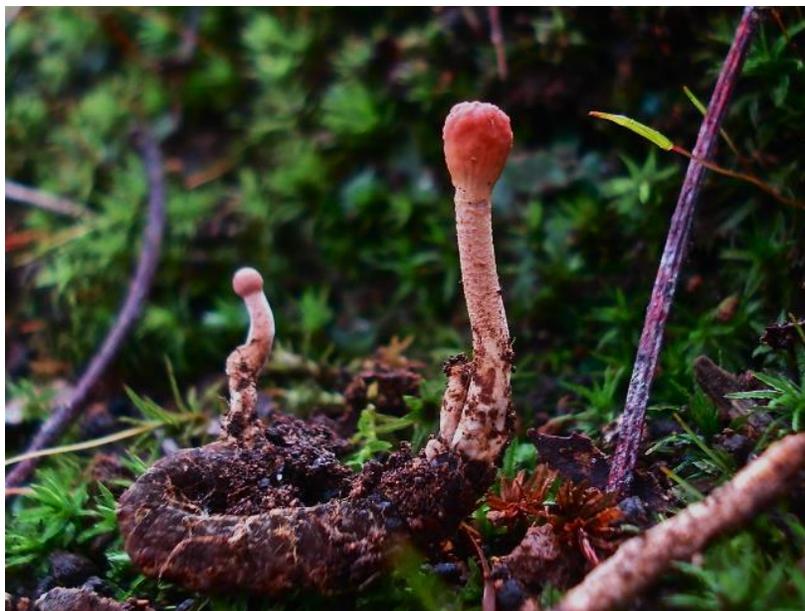


Figura 12 *Ophiocordyceps gracilis*, estromas emergiendo de una larva de lepidóptero (Cortés, 2012).

12. ***Cordyceps sobolifera*** (Hill ex Watson) Berk. & Broome (1873), actualmente llamado ***Ophiocordyceps sobolifera*** (Hill ex Watson) GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora (Index fungorum, 2007).

Estromas claviformes de 4-6 cm de longitud, purpuráceos; parte fértil capitada o semejando la parte apical de una espátula, de 1-1.5 (-2) x 0.5-0.8 cm. Estípite rimoso-areolado, del mismo color del estroma, o con tonos rosa-liláceo (Fig. 13) de la parte central sale un cúmulo de ramificaciones conidiales que dan la apariencia de estromas más pequeños de aspecto y color semejantes al estroma que se describe. Peritecios de 470-570 x 60-130  $\mu\text{m}$ , elipsoides, dispuestos perpendicularmente respecto a la superficie; la pared mide de 17-25  $\mu\text{m}$ . Ascas de 200 -300 x 5 -7.5  $\mu\text{m}$ , cilíndricoclaviformes, la base terminada en un largo y delgado estípite, inamiloides. Ascosporas de 8-12 x 1-2  $\mu\text{m}$ , cilíndricas, con extremos truncados, hialinas, al principio

filamentosas después septadas y, por último, se separan en pequeños fragmentos que se convierten en una espora viable (Méndez, *et al.*, 2007).

Hábitat: Se desconoce

Hospedero: una ninfa de *Quesada gigas* (Hemiptera, Cicadidae; Méndez, *et al.*, 2007).



Figura 13: *Ophiocordyceps sobolifera* (Pelissier, 2011).

**13. *Cordyceps stylophora*** Berk. & Broome (1857), actualmente llamado, ***Ophiocordyceps stylophora*** (Berk. et Broome) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones et Spatafora (Index fungorum, 2007).

Estromas solitarios y delgados, miden 12 a 15 mm de longitude (Fig. 14). Se aprecia la porción peritecial rodeando al estroma sobre una superficie de 4 mm, de color café oscuro, con ápice acuminado y estéril, de 3 x 0.5 mm de diámetro, concoloro con el estípote. Tanto el estípote, como el ápice, están constituidos de hifas longitudinales, por lo regular hialinas, irregularmente esféricas en corte transversal. Las hifas de la parte externa del estípote son de color oscuro. La pared estromática peritecial es gruesa, de 10-12  $\mu\text{m}$ , en la cual quedan los cuellos de los peritecios, son de forma ovoide y tienen pared gruesa, miden 30-40  $\mu\text{m}$  de diámetro, se observan inmersos en ángulo recto en el tejido estromático. Las ascas son sub cilíndricas de más de 200  $\mu\text{m}$  de longitud x 8.5

$\mu\text{m}$ . Las ascosporas son filiformes y multiseptadas, ocupando la longitud del asca, con segmentos de 15-17  $\mu\text{m}$  que difícilmente se pueden fragmentar (Pérez-Silva, 1978).

Hábitat: Bosque de *Quercus-Pinus*.

Hospedero: Larvas del orden Coleoptera y adultos del orden Hymenoptera.

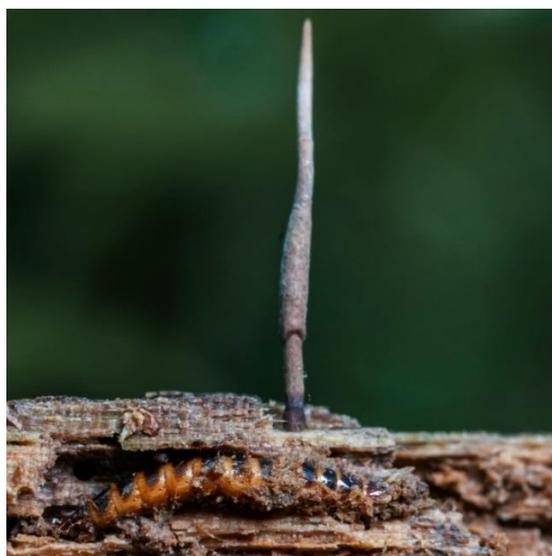


Figura 14: *Ophiocordyceps stylophora* (Meade. 2020).

14. ***Cordyceps sphecocephala*** Berk. & MA Curti (1843), actualmente llamado ***Ophiocordyceps sphecocephala*** (Klotzsch ex Berk.) GH Sung, JM Sung, Hywel-Jones & Spatafora, en Sung, Hywel-Jones, Sung, Luangsa-ard, Shrestha & Spatafora (Index fungorum, 2007).

Estromas solitarios o a veces dos, delgados, de color amarillo cremoso, de 72–106 mm de largo, que surgen de la región entre la cabeza y el tórax del insecto huésped. Estípite grueso, 0,7–1,0 mm de diámetro. Cabeza fértil blanda cuando está fresca, 10–13 × 1,5–2,0 mm. Peritecios largos, en posición oblicua, de paredes gruesas e inmersos en la cabeza fértil, 610–730 × 130–220  $\mu\text{m}$ . Ascosporas filiformes y fragmentadas, 120–260 × 4–6  $\mu\text{m}$ . Parte esporas fusoides, 7,5-8,5 × 1,5-2,0  $\mu\text{m}$  (Sung, *et al.*, 2007).

Hábitat: Desconocido

Hospedero: Insectos del orden Hymenoptera.



Figura 15: *Ophiocordyceps sphecocephala* creciendo sobre una avispa muerta (Sourell, 2016).

15. ***Cordyceps ophioglossoides*** (JF Gmel.) P. (1818), actualmente llamado ***Tolypocladium ophioglossoides*** (JF Gmel.) CA Quandt, Kepler & Spatafora, en Quandt, Kepler, Gams, Araújo, Ban, Evans, Hughes, Humber, Hywel-Jones, Li, Luangsa-ard, Rehner, Sanjuan, Sato, Shrestha, Sung, Yao, Zare y Spatafora (Index fungorum, 2014).

Especie de estromas solitarios de color oscuro (Fig. 16), en la madurez se tornan de color negro, hasta de 70 x 4 -5 mm de diámetro. Claviformes; estípite de color amarillo y la parte fértil de estroma, de superficie rugosa por la presencia de los ostiolas, de esporada blanquecina sobre la superficie. Peritecios periféricos inmersos en el tejido estromático. Ascas cilíndricas, ascosporas filiformes fragmentadas en segmentos cortos doliformes, de 2.5- 3µm (Pérez-Silva, 1977).

Hábitat: Bosques de *Pinus* y *Quercus*.

Hospedero: Hongos de las especies *Ephalomyces granulatus* y *E. reticulatus*.



Figura 16: *Cordyceps ophioglossoides* (Siegel, 2008).

16. *Cordyceps capitata* o *Cordyceps canadensis* (Holmsk.) P. (1818), actualmente llamado *Tolypocladium capitatum* (Holmsk.) CA Quandt, Kepler & Spatafora (Index fungorum, 2014).

Estromas capitados de hasta 7cm de longitud, dilatándose bruscamente en la parte terminal en una cabeza esférica u ovoide de 5-10mm de diámetro (Fig. 17), negra y de superficie rugosa por la presencia de ostiolas. Estípites amarillo liso de 60x4-5mm de diámetro, peritecios ovoides, periféricos inmersos en el tejido estromático. Ascas cilíndricas. Ascosporas filiformes, hialinas, fragmentadas en segmentos fusoides de 8-15 x 2.5-3 $\mu$ m.

Hábitat: Bosques de *Pinus* y *Quercus* (Pérez-Silva, 1977).

Hospedero: Hongos de la especie *Elaphomyces granulatus* y *Elaphomyces variegatus*.



Figura 17: *Tolypocladium capitatum* observado en Michoacán, Mex. (Herrera, 2012).

17. ***Ophiocordyceps camponoti-atricipis*** Araújo, H.C. Evans & D.P. Hughes (Index fungorum, 2015).

Estroma solitario, filiforme, con base ensanchada y delgada hacia el ápice, de color café pálido, a color rosa pálido hacia el ápice, de (11.5–) 16–23 × 0.15– 0.2 mm, zona fértil hemisférica u ovoide, rugosa al madurar debido a los ostiolos periteciales, negras a color café a café oscuro, de 1–2(–7), de 1.3–2 × 0.7– 1.2 mm. Peritecios subinmersos, algunos inmersos, ampliamente lageniformes, de (224–) 240– 320 × (104–) 120–160 (–200) μm, cuello corto, perpendiculares a la superficie del estroma. Ascas cilíndricas a clavadas, base adelgazada, hialinas, de (98–) 124–180 × 6–8 (–10) μm, con 8 ascosporas; región apical de 4–5 × (3–) 4–5 μm. Ascosporas fusoide-alongadas, extremos agudos, curvadas a sigmoidales, rara vez rectas, con 5 septos, pared delgada,

hialinas, con abundantes gotas de contenido, de (76–) 80–108 (–120) × (1.6–) 2.5 (–3)  $\mu\text{m}$  (Ballesteros, 2020).

Hábitat: Bosque tropical perennifolio (Araújo et al., 2015), bosque lluvioso (Hughes & Libersat, 2019) y bosque Atlántico (Sobczak et al., 2017). Produce epizootias focalizadas en los bosques mesófilo de montaña y de galería de la zona de estudio. Las 19 hormigas se encontraron mordiendo las nervaduras principales y márgenes de las hojas de árboles y arbustos.

Hospedero: Hormigas de la especie *Camponotus atriceps* (Figura 18), (Ballesteros, 2020).



Figura 18: *Ophiocordyceps camponoti-atricipis* parasitando una hormiga (Robles, 2022).

**18. *Cordyceps mexicana*** L. López-Rodríguez, C. Burrola-Aguilar & R. Garibay-Orijel Estrada-Zúñiga, Matías-Ferrer & Argüelles-Moyao (Index fungorum, 2022).

López-Rodríguez *et al.* (2022) Describieron una nueva especie, muy parecida a *C. militaris* complejo, se diferencia por la morfología de su conidióforo, asociación de huéspedes y distribución geográfica. Es una especie de estromas grandes, de hasta 10 cm de largo, la parte fértil es de color amarillo brillante (Fig. 19). *C. mexicana* desarrolla cordones miceliales blanquecinos que emergen de los estromas y crecen hacia el huésped. Microscópicamente, desarrolla ascos con ascosporas filiformes que se desarticulan en esporas parciales (López-Rodríguez *et al.*, 2022).

Hábitat: Bosque de *Pinus-Quercus*

Hospedero: Pupas de *Paradirphia* sp. (Lepidoptera: Saturniidae: Hemileucinae), (López-Rodríguez *et al.*, 2022).



Figura 19: *Cordyceps mexicana* (Rockefeller, 2022).

## Especies anamórficas encontradas en México

Se presentan cuatro especies de hongos entomopatógenos anamórficos que han sido muy utilizados en el control biológico de plagas.

1. ***Beauveria bassiana*** (Bals. -Criv.) Vuill. (1912), actualmente llamado ***Cordyceps bassiana*** Z. Z. Li, CR Li, B. Huang y MZ Fan (Index fungorum, 2001).

*B. bassiana*, un hongo anamórfico que produce conidios hialinos esféricos. Filogenéticamente se ha evidenciado que *Beauveria* está asociado con la familia Cordycipitaceae del orden Hypocreales. *B. bassiana* representa la parte asexual, mientras que *Cordyceps bassiana* la parte sexual (Rehner y Buckley, 2005). Conidióforos formados por racimos de células conidiógenas dispuestas en verticilos, hialinas, de pared lisa. Célula conidiógena simpodial, globosa en la parte basal de 3-4 x 2-3.5  $\mu\text{m}$  ó elongadas formando un raquis denticulado, dando la apariencia de crecimiento en zig zag de 10-20  $\mu\text{m}$  de largo. Conidios hialinos globosos a ampliamente elipsoidales, algunas veces con la base apiculada de 2.5-3 (-4) x 2.5-3  $\mu\text{m}$  (Carrion *et al.*, 1996).

Hábitat: *B. bassiana* se ha encontrado habitualmente en los suelos no cultivados y ambientes forestales (González, *et al.*, 2019).

Hospederos: Varias especies de insectos plaga, dentro de los órdenes: Dermaptera, Hemiptera, Orthoptera Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera (Figura 20) además de algunos arácnidos. Se ha documentado que *B. bassiana* crece naturalmente en más de 700 especies de huéspedes (Inglis *et al.*, 2001).



Figura 20: *Beauveria bassiana* (Rockefeller, 2022).

## 2. *Beauveria pseudobassiana* SA Rehner & Humber (Index fungorum, 2011).

Se ha observado que esta especie presenta las características morfológicas típicas del género *Beauveria* (Rehner et.al, 2005; Hassan, et.al, 2020). Se pueden definir varios grupos de células conidiógenas, de forma esférica y apariencia globosa. También se nota un raquis denticulado apical, este forma un *zigzag*. *Beauveria pseudobassiana*, tiene conidias sésiles, hialinas y lisas (Hassan, et al., 2020).

Wang et al. (2020) hicieron la comparación morfológica de *B. pseudobassiana* con otras especies del mismo género. En registros anteriores, se muestra que *B. pseudobassiana* es fenotípicamente similar a *B. bassiana* en casi todas sus características, a excepción del tamaño de sus conidios, pues son ligeramente más pequeños (Rehner et al, 2011), *B. pseudobassiana*, podría distinguirse de otras por el tamaño de sus estructuras fértiles (1,6–6,5 × 0,9–1,8 mm) y asci (40–80 × 0,8–1,5 μm). Sin embargo, Wang et al, 2020, no observaron diferencias significativas en el tamaño de los conidios entre *B. pseudobassiana*. (1,7–3,2 × 1,5–2,8 μm) y *B. bassiana* (2,0–3,0 × 2,0–3,0 μm).

Habitat: Pastizales (Montesinos et al., 2022).

Hospederos: Insectos del orden Orthoptera, en específico de la familia Acrididae y de algunos del orden Coleoptera (Figura 21).



Figura 21: *Beauveria pseudobassiana* hospedero de insecto del orden Coleoptera, encontrado en Tahoe National Forest, Calpine, CA, US (Bright, 2023).

### 3. *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokīn (Index fungorum, 1883).

Este hongo se puede diferenciar porque el micelio se observa blanco y aterciopelado, muy abundante en cultivo EMA, crece 42 mm de diámetro a los pocos días de cultivarlo. La masa conidial es de color verde grisáceo pálido (Figura 22). Los conidióforos forman placas compactas por su distancia entre cada uno, miden 50-70  $\mu\text{m}$  de longitud. Células conidiógenas fialídicas, cilíndricas a estrechamente elipsoidales 8-12 x 3-5  $\mu\text{m}$ , ramificándose en verticilos o estructuras que semejan un candelabro. Conidios arreglados en masas columnares de 30-55  $\mu\text{m}$  de altura, cilíndricos, de 5-8 x 3  $\mu\text{m}$ , de pared lisa (Carrion *et al.*, 1996).

Hábitat: *M. anisopliae* se encuentra en suelos cultivados y en varios huertos de árboles frutales (González *et al.*, 2019).

Hospederos: *M. anisopliae* tiene un rango amplio de hospedantes naturales, más de 200 especies de insectos, dentro de los órdenes Orthoptera, Dermaptera, Hemiptera, Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera y Coleoptera.

Coleoptera es el orden en donde se ha reportado el mayor número de especies hospederas, con un total de 134 especies, principalmente en las familias Curculionidae, Elateridae, y Escarabaeidae (Zimmermann, 1993).



Figura 22: Muestras del hongo *Metarhizium Anisopliae* en laboratorio e infectando diferentes insectos (Noticias UNSAM, 2013).

**4. *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha y Spatafora (Index fungorum, 2017).**

*Isaria fumosorosea* o recién nombrada por Kepler (2017) *Cordyceps fumosorosea*, es una especie formada por hifas de pared delgada, estas son hialinas y septadas, las cuales forman ramificaciones irregulares. En los extremos de cada rama, tienen grupos de fialides, que también pueden ser solitarias. Las fialides son cilíndricas, y en algunas partes se adelgazan, formando “cuellos”. Los conidióforos están formados por cadenas de conidios, las cuales son de forma ovoide, hialinas y unicelulares (Bustillo, 2001; Trejo, 2022).

Habitat: áreas de cultivo, principalmente cultivos de cítricos y sandía.

Hospederos: Isopodos e insectos del orden lepidóptera, díptera, coleóptera, neuróptera, himenóptera, thysanóptera, hemíptera y homóptera (Figura 23) (Sistema Integral de Comunicación, 2018).



Figura 23: Pruebas para control del psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*) con *Cordyceps fumosorosea* (Sistema Integral de Comunicación, 2018).

### ***Cordyceps s.l.*: potencial controlador de plagas agrícolas**

Durante mucho tiempo los alimentos se obtenían por medio de la de la caza de animales y recolecta de plantas y sus frutos, pero debido a la constante demanda y temporadas de escasas, se recurrió a la domesticación tanto de plantas como de animales. Hablando de plantas, estas se fueron seleccionando, y así se prosiguió a su cuidado y preservación, con ello nace la agricultura mesoamericana.

La agricultura, en un principio no era como la conocemos actualmente, pues utilizaban técnicas que se adecuaban al entorno, se recurría a los policultivos, a la rotación de la tierra y por lo regular se acentuaban cerca de cuerpos de agua. Posterior a esto, nace la agricultura tradicional Mexicana, en la cual se combinan diferentes hortalizas en un mismo sistema. Se considera que sus características estructurales, funcionales y de manejo son similares a los métodos antiguos (González, 2003).

No obstante, con la demanda alimentaria y la producción en masa, nace la agricultura convencional, dando un giro total en la manera en la que se cultivaba antes, pues este sistema se ha centrado principalmente en ser de manejo mecánico, la excesiva siembra de monocultivos y el descontrolado uso de agroquímicos sintéticos, para disminuir o erradicar las afectaciones por plagas. La FAO (2018) tiene registro que, en países latinoamericanos incluido México, se ha aumentado excesivamente la aplicación de plaguicidas sintéticos, rebasando un 97.7%; desde 1992 al 2016. Esto es preocupante, ya que si bien, los plaguicidas vienen a mejorar la calidad de las cosechas, también traen consigo un impacto negativo.

Ahora se sabe que productos como estos, que aparentemente han dado buenos resultados al utilizarlos, también generan daños irreparables a la salud humana, afectando a más del 78% de los agricultores y personas que aplican dichos productos químicos en sus cultivos (Zelaya *et al.*, 2022), contaminan los alimentos producidos, y no menos importante, alteran el equilibrio ecológico. Al aplicar los agroquímicos, no sólo se ataca a las plagas, sino también se rompen cadenas tróficas, pues eliminan a todo tipo de insectos, incluidos los polinizadores, y con ello, la preservación de importantes especies vegetales.

Es por ello que, desde hace algunas décadas, se ha recurrido a los organismos entomopatógenos y entomófagos. Los organismos entomopatógenos son aquellos que infectan al insecto y se reproducen en él hasta causarle la muerte. Tal es el caso de los hongos entomopatógenos (Tamez *et al.*, 2001).

En la época actual, el uso de hongos entomopatógenos en la agricultura, se considera una práctica sostenible, ya que este método representa una forma más natural de

control de plagas (Negrete *et al.*, 2017). Además es una estrategia amigable con el ecosistema, pues como pudimos darnos cuenta, los Hongos entomopatógenos tienen sus hospederos específicos, evitando así el daño a otros insectos benéficos nativos.

### **Especies de *Cordyceps s.l.* para uso como control de plagas**

Los hongos que son parte del grupo monofilético *Cordyceps s. l.* más utilizados en México, son *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea*, ya que tienen un amplio espectro de hospederos (Pacheco *et al.*, 2019).



Figura 20: Saltamontes (*Melanoplus sp.*) invadidos por el hongo *Beauveria bassiana* (Jaronski, 2013).

Aún no se han utilizado otras especies, ya que como podemos darnos cuenta, la mayoría son muy específicas en relación con su hospedero. En México (1956) ya se había atacado a la mosca pinta o del salivazo *Aeneolamia postica* (González, 1988), utilizado el hongo *Cordyceps militaris*. En los años posteriores, la mayoría de investigaciones se han centrado en la evaluación de cepas de *Beauveria bassiana*, *Beauveria pseudobassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea* contra plagas de cultivos de importancia económica.

El interés por realizar estudios taxonómicos no ha mostrado relevancia, a pesar de que existe una diversidad muy grande en el grupo parafilético *Cordyceps sensu lato*.

### **Análisis de algunas investigaciones realizadas con hongos *Cordyceps s.l.* como control de plagas**

A continuación se presentan algunas investigaciones de México en donde se han utilizado hongos *Cordyceps s.l* como control biológico, ya sea en laboratorio o en campo. Se seleccionaron de acuerdo al intervalo de tiempo (2012-2022).

En su tesis “Patología de insectos” González (1988), menciona que los hongos entomopatógenos se comenzaron a estudiar en México, desde 1956, como se menciona en el capítulo anterior, el hongo *Cordyceps militaris*, en ese tiempo ya se utilizaba para atacar a la mosca pinta o del salivazo *Aeneolamia postica*, que es una plaga muy frecuente en cultivos de la caña de azúcar. En dicho trabajo se pudo observar, que las plagas que fueron expuestas a dichos hongos, tuvieron un daño en su capacidad locomotora y alimenticia, además de que sufrieron un cambio físico, ya que se observó un aspecto distinto en su cutícula. Además, se pudo concluir, que las condiciones óptimas para que los hongos tuvieran mayor éxito de infección, fueron cuando había más de un 70% de humedad relativa y una temperatura de 24°C a 30°C.

También se menciona que, el mecanismo de infección comienza cuando el hongo penetra al insecto, se desarrolla y va aumentando rápidamente su número por fisión o gemación, hasta que finalmente lo mata por exceso de toxinas. En esta época todavía no existían productos a base de hongos entomopatógenos, pero sí se habían registrado observaciones en el entorno natural.

✓ **Uso de *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps bassiana* (Ascomycetes) para el control de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en limón mexicano.**

Autores: Roberto Lezama Gutiérrez, Alberto Ramírez Mancilla, Heraclio Castrejón Agapito, Juan José Peralta Manzo, Oscar Rebolledo Domínguez.

Febrero, 2014.

Por muchos años, se ha tenido una constante problemática en la citricultura, todo a causa del psílido asiático *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), que es una plaga que se alimenta y deforma hojas y brotes de los árboles de cítricos, pues excreta

una fuerte tóxina que se encuentra en su saliva, además de que algunas de sus secreciones cerosas, conllevan el establecimiento de fumagina en las hojas, también se sabe que son vectores de distintas bacterias, entre ellas "*Candidatus Liberibacter spp.*", que provoca la enfermedad HLB, la cual ocasiona daño y muerte en árboles de cítricos, dando como resultado una severa disminución en la producción. Al momento de llevarse a cabo este estudio en México, se sabía que el total de Ha de cultivos era de 549, 000ha de cítricos, distribuidas en 23 estados de la República Mexicana y en 11 de ellos se detectó la enfermedad HBL en sus cultivos cítricos. En este proyecto se utilizaron dos especies de hongos *M. anisopliae* y *C. bassiana*, además de un tratamiento químico para medir su efecto sobre la densidad de ninfas y adultos de *D. Citri*.

Se concluye que no existen diferencias significativas en la utilización de ambas especies de hongos para la erradicación de ninfas y adultos de *D. citri*, Incluso, el tratamiento químico también presentó poca diferencia con los hongos, pero se debe tener en cuenta que los insecticidas químicos sintéticos, sólo dan protección al cultivo un tiempo muy corto y que además provocan severos daños a la entomofauna benéfica.

Parámetros considerados:

Se realizaron aplicaciones de una suspensión de esporas a dosis de  $2 \times 10^{13}$  conidios/ha de *M. anisopliae* y *C. bassiana*, respectivamente, con un turbo-aspersor con tirón de tractor. Se utilizó lo mismo para la aplicación alternada de insecticidas químicos, y la solución de aceite mineral al 0.5% como control.

Se utilizó un dispositivo Datalogger, marca Hobo, para registrar la temperatura y humedad relativa, y así conocer los rangos a los que estuvieron expuestos los tratamientos.

✓ **Capacidad de *Cordyceps bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control biológico de *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) en plantaciones de banano orgánico mexicano: Ensayos de laboratorio y campo.**

Autores: Damián Negrete González, Marco A. Ávalos Chávez, Roberto Lezama Gutiérrez, Wilberth Chan Cupul, Jaime Molina Ochoa, Edelmira Galindo Velasco.

Año: 2017.

El barrenador de la raíz *Cosmopolites sordidus* es la plaga más dañina que afecta actualmente las plantaciones de banana orgánica en México, en esta investigación se buscó evaluar la actividad entomopatógena de aislamientos nativos de *Cordyceps bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, realizando ensayos en laboratorio y en campo. Todos los aislamientos se obtuvieron de la colección de hongos entomopatógenos del departamento de ciencias biológicas y ciencias agrícolas de la Universidad de Colima, México.

Se concluye que el porcentaje de micosis en adultos de *C. sordidus* es superior al 50% para todo el periodo de evaluación (1.6 meses), lo que comprueba la eficacia de dos cepas, a las cuales llamaron: Cb174 (*Cordyceps bassiana* de Colima) y Ma148 (*Metarhizium anisopliae* de Colima), por lo cual se considera que son muy buenos candidatos para desarrollar productos para el manejo de *C. sordidus* en plantaciones de banano Mexicano.

Parametros considerados: La aplicación de hongos entomopatógenos se hizo con mochila de bomba aspersora (HYD20L-Ecomaqmx®, Guadalajara, Jalisco, México), durante la tarde para evitar la radiación solar, se hicieron 5 aplicaciones, durante mes y medio.

✓ ***Beauveria bassiana* blastospores produced in selective medium reduce survival time of *Epilachna varivestis* Mulsant Larvae**

Autores: Jesus E. Castrejon-Antonio, Gricelda Nuñez-Mejia, Maria M. Iracheta, Ricardo Gomez-Flores, Fernando Tamayo-Mejia, Jaime A. Ocampo-Hernandez, Patricia Tamez-Guerra.

Año: 2017.

El escarabajo mexicano del frijol, *Epilachna varivestis* Mulsant, es una plaga de importancia económica, ya que afecta a los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México y el Este de los Estados Unidos.

Esta investigación plantea que algunas cepas de *Beauveria bassiana* llamadas: TM0307 y SyDBbh5001M requieren grandes cantidades para ser efectivos en el campo, para esto se evaluó un medio de cultivo líquido que contenía harina de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) para mejorar la virulencia de las blastosporas de *B. bassiana* frente a *E. varivestis*.

Se utilizaron varios medios de cultivo y caldo dextrosa Sabouraud (CDS) como control, probando el potencial de harina de algodón contra Peptona como fuente de nitrógeno y como fuentes de quitina, la quitina coloidal y exuvia de lepidópteros.

Los resultados indicaron el potencial de la harina de algodón para aumentar la virulencia de las blastosporas de *B. bassiana* contra larvas de tercer estadio de *E. varivestis*, al elevar la producción de enzimas que degradan la cutícula de los insectos.

Parámetros considerados: Se utilizaron frascos Erlenmeyer, los cuales fueron incubados por 5 días a 25°C y posteriormente se utilizó agitador (SEVMR Mod 6040, Mexico DF) at 180 rotaciones por minute (rpm), posteriormente se fueron aumentando las rpm.

✓ **Patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre estados inmaduros de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), bajo condiciones de laboratorio y jaula de campo.**

Autor: Damaris Cruz Cruz.

Año: 2016.

Este proyecto se realizó en Chiapas, México ya que se tiene un problemática con la plaga *Diaphorina citri*, dicho insecto causa un daño directo al extraer la savia de las hojas, peciolos y brotes tiernos de árboles de cítricos, además en infestaciones fuertes provoca deformación de los mismos así como la caída de follaje y flores. Como se mencionó en uno de los proyectos antes mencionados, transmite la enfermedad HBL. En este estudio se evaluó la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre estadios inmaduros de *D. citri*; demostrando que una concentración de  $1 \times 10^8$  conidios/mL de las cuatro cepas y del producto comercial *B. bassiana* (Bb-Rhy, Bb-Dc, Bb-18, Botanigard y Bb-Hy) causaron 58, 56, 45, 43 y 21 % de mortalidad en estadios de ninfa, respectivamente. Además que el mayor número de mortalidad se alcanza el día 8 y 9.

Las concentraciones letales de las cepas más patógenas en los estadios IV-V de ninfa fueron  $8.34 \times 10^6$  para la cepa Bb-Dc, mientras que para la cepa Bb-Rhy fue de  $1 \times 10^7$  conidios/mL. Sin embargo, ninguna de las cepas evaluadas ni el producto comercial tuvieron efecto sobre los huevos de *D. citri*; 95% de los huevecillos siguieron su desarrollo y los insectos llegaron a la edad adulta con normalidad.

Parámetros considerados: Temperatura de  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  y Humedad relativa de  $75 \pm 2\%$

✓ **Control microbiano de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Walker, 1870) basado en el uso de los hongos entomopatógenos**

## ***Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en la península de Yucatán, México.**

Autor: Alejandro Del Jesús Trejo Pérez.

Año: 2017.

La langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker 1870) ha causado severos daños a muchos cultivos de importancia económica en distintas zonas de la península de Yucatán, México, que es donde habita permanentemente, estos lugares se conocen como zonas gregarígenas. En esta investigación se utilizaron algunas cepas de hongos entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* nativas del estado de Campeche para ser probadas en laboratorio y campo, y así conocer su capacidad infectiva sobre *S. piceifrons piceifrons*. En laboratorio se evaluó la susceptibilidad de este insecto, en función de la concentración y el tiempo que ocurre la mortalidad con varias cepas y se seleccionaron las más infectivas, para posteriormente probarlas en campo. A las cepas se les denominó HBb005 (*B. bassiana*) y HMa014 (*M. anisopliae*).

En campo se utilizaron las formulaciones realizadas a ultrabajo volumen (ULV) con ciertas dosis de cada una de las cepas y posteriormente se utilizaron jaulas tramperas para darle seguimiento a los manchones de langosta por 20 días para evaluar la disminución de los individuos.

Se concluye que en el área tratada durante todo el periodo, el porcentaje de mortalidad fue del 93.3% en 14 días con la cepa HBb005 y las que se trataron con la cepa HMa014 disminuyeron un 88.9% en 16 días. Los resultados muestran que *B. bassiana* puede reducir sustancialmente las poblaciones de ninfas y adultos de *S. piceifrons* en campo.

Parámetros considerados:

Laboratorio T°= 28°C; Utilización de cámara húmeda para facilitar el crecimiento del micelio de cada hongo.

Campo: Para realizar la aplicación se necesitaron dos bombas aspersoras de ultra bajo volumen ULBV marca STHIL® modelo SR 450 con capacidad de 20 litros cada una, todas las aplicaciones se hicieron en la tarde.

✓ **Mortalidad de *Brevipalpus yothersi* ocasionada por la interacción entre *Amblyseius swirskii*, *Neoseiulus californicus* y tres hongos entomopatógenos**

Autor: José Andrés Vázquez Benito.

Año: 2022.

*Brevipalpus yothersi* es un ácaro que transmite el virus de la leprosis en cítricos y afecta a distintas especies, este ácaro se distribuye en varias zonas de México. Este trabajo se planteó determinar la acción individual de tres hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea*) y de dos ácaros depredadores: *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii*, así como la combinación de ambos (Hongos entomopatógenos y ácaros depredadores) en la mortalidad de *B. yothersi* en laboratorio.

El primer paso fue aplicar suspensiones de conidios a hembras adultas de *B. yothersi*, en concentraciones de 1 x 10<sup>8</sup> conidio/mL, además, se introdujeron adultos de cada depredador junto a cada uno de los estadios de *B. yothersi*. También se utilizaron a los ácaros depredadores como posibles vectores de conidios de *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Se observó que los hongos entomopatógenos causaron mortalidades alrededor del 80% en hembras adultas de *B. yothersi*, mientras que los depredadores consumieron huevos, larvas y ninfas del ácaro. Las combinaciones de *A. swirskii* con cualquier hongo entomopatógeno, y la combinación de *N. californicus* con *M. anisopliae*, causaron mayor número de mortalidades que la acción individual de cada agente de control. La combinación de ambos agentes de control redujo las poblaciones de huevos y hembras

adultas. En conclusión, los ácaros depredadores fueron capaces de transportar conidios de hongos entomopatógenos y eso favoreció el control biológico de *B. yothersi*.

Parametros utilizados: Temperatura de 25°C en cámara de incubación y un fotoperiodo de 16-8 Luz y oscuridad para mantener una cria de *B. yothersi*. Humedad relativa del 60%.

### **Comparación de resultados de las investigaciones revisadas**

En los seis proyectos revisados, podemos darnos cuenta que se utilizaron *Beauveria bassiana*/ *Cordyceps bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea*, ya que son tres especies a las cuales se les ha dado mayor importancia de estudio en muchos países, incluido México.

Se pudo concluir que la mayoría de los resultados fueron favorables, esto se debe a que dichas especies tienen un amplio espectro de infección en distintos órdenes de insectos plaga, varios de importancia económica (Pacheco *et al.*, 2019).

En la investigación de Castrejon *et al.* (2017) se trabajó con dos cepas de *Beauveria bassiana* que requieren de mayores dosis para ser eficaces en campo contra *Epilachna varivestis* Mulsant. Utilizaron un medio de cultivo con harina de algodón, el cual ayudó a elevar la producción de enzimas que degradan la cutícula de larvas de tercer estadio de *E. varivestis*, y así se aumentó la virulencia de las blastosporas de *B. bassiana*. Como mencionan Shahid y colaboradores (2012), cuando el hongo entra en contacto con el insecto, se necesitan de distintos factores como son: el contenido de agua, iones, ácidos grasos y nutrientes en la superficie de este, así como el estado fisiológico de dicho hospedero.

## **Parámetros a considerar en la utilización de hongos entomopatógenos *Cordyceps s.l.* como control biológico**

Existen distintos aspectos bióticos y abióticos que se deben considerar al utilizar hongos entomopatógenos.

### **Aspectos bióticos**

Para tener una buena efectividad en campo, lo principal es hacer una correcta aplicación de las unidades infectivas, llamadas conidios, y para esto es necesario conocer la cantidad de follaje y la altura de los cultivos, pues de eso dependerá la cantidad de agua para la aplicación de la suspensión de los conidios.

También, es necesario conocer la biología de la plaga a controlar y el estado de desarrollo más susceptible a los hongos entomopatógenos.

Los hongos entomopatógenos se deberán aplicar a una concentración cercana de  $1 \times 10^{13}$  conidios/hectárea (Tamayo *et al.*, 2021), para cada cepa de hongos es un valor específico, por lo tanto, se deben conocer la concentración y viabilidad de los conidios de la especie de hongo entomopatógeno a utilizar.

### **Aspectos abióticos**

Otros parámetros importantes, son las condiciones ambientales del lugar en donde se quieren aplicar hongos entomopatógenos. Por lo regular, los hongos requieren entre 20 a 25 °C y una humedad relativa alta de más del 70%.

Igual es considerada la luz UV, por ello la aplicación de los hongos entomopatógenos siempre se hace en la mañana o en la tarde para disminuir los efectos de la luz ultravioleta sobre la viabilidad de los conidios. Pues según Smits y Sinoquet (2004) la radiación ultravioleta (uv) del sol afecta la persistencia de los conidios de los hongos en campo.

Para la aplicación se puede emplear una bomba de mochila, ya sea manual o motorizada, pero también se puede ayudar de un equipo de aspersión montado a un tractor, es necesario elegir la boquilla apropiada, puede ser de abanico o cono hueco para poder cubrir homogéneamente todo el cultivo con los conidios de los hongos entomopatógenos (Enriquez-Vara, 2021).

## **Ventajas y desventajas de utilizar hongos entomopatógenos**

### **Ventajas:**

Los hongos entomopatógenos están presentes naturalmente en los ecosistemas, y gracias a la observación minuciosa de estas interacciones hemos podido conocer acerca de ellos.

Se sabe que son una de las mejores alternativas para implementarse como control biológico de plagas agrícolas, es una solución económica, sustentable y segura, pues no afecta al ambiente (Enriquez, 2021). Permiten la preservación de cadenas tróficas naturales y con ello, la autorregulación de los agroecosistemas.

La utilización de hongos entomopatógenos no genera resistencia de plagas y además son de fácil aplicación.

### **Desventajas:**

El uso de hongos entomopatógenos como control de plagas agrícolas tiene pocas desventajas, quizá la más notoria es que no causan un efecto rápido en comparación con los agroquímicos sintéticos y esto se debe a que necesitan de un contacto directo con la plaga para poder diseminarse. Además, es necesario crear las condiciones ambientales adecuadas para su establecimiento (Temperatura, humedad, luz UV).

Pero también, otra desventaja, es que a pesar de la capacidad que tienen, por ejemplo: *Beuveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, de ser generalistas, existen diferencias en la susceptibilidad entre aislamientos (cepas) y especies de plagas a controlar. Muchas veces, es necesario llevar a cabo investigaciones sobre los determinantes moleculares y bioquímicos relacionados con la especificidad hongo-huésped (Pacheco *et al.*, 2019).

## CONCLUSIONES

- Hasta 2022, se han reportado 18 especies de *Cordyceps sentu lato* para México y cuatro especies anamórficas de gran importancia.
- De las 18 especies reportadas en México, sólo se tiene registro (1956) del uso una especie en fase teleomorfa (*Cordyceps militaris*) para atacar la plaga de la mosca pinta o del salivazo (*Aeneolamia postica*).
- *Beauveria bassiana/ Cordyceps bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea* son hongos de amplio espectro, es decir que pueden ser parásitos de distintos ordenes de insectos y arácnidos.
- Las condiciones bióticas y abióticas son algo de gran importancia para la aplicación de hongos entomopatógenos.
- Los hongos entomopatógenos, requieren entre 20 a 25 °C y una humedad relativa alta de más del 70%.
- Es necesario hacer una investigación previa sobre la ecología de la plaga a atacar, para así obtener mejores resultados al momento de utilizar hongos entomopatógenos.
- El uso de hongos entomopatógenos es una herramienta de control biológico muy económica, sustentable y ecológica, pues no generan residuos tóxicos, no afectan a fauna benéfica y no contaminan el agua ni el suelo.
- El conocer la interacción ecológica de los hongos *Cordyceps s.l.*, nos permite saber que muchos de ellos son controladores biológicos de insectos y arácnidos, y que por ende, tienen mucho potencial para ser controladores de plagas agrícolas.

- Es de gran importancia fomentar el estudio de ciertas especies porque eso nos llevaría a nuevos horizontes en cuanto al control biológico de plagas agrícolas, pecuarias y forestales.

## **COMENTARIOS**

En las últimas décadas se ha vuelto necesario buscar medios alternativos para el control biológico de plagas para así poder minimizar el uso de agroquímicos y plaguicidas. El uso de hongos entomopatógenos nos permite romper ciclos de resistencia, ayuda a regenerar los sistemas naturales y, por ende, tener mayor calidad en nuestros alimentos.

El campo de investigación y uso en hongos entomopatógenos en México aún es poco, a pesar de que existe una gran diversidad biológica, pues se ha centrado en especies anamorficas, debido a su amplio espectro de infección.

Es necesario consolidar la participación de los centros de investigación y de educación mexicanos junto con el sector industrial, para así hacer frente a la problemática ambiental en el sector agropecuario.

En México existe El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria SENASICA, el cual monitorea y controla la sanidad vegetal y animal, la seguridad alimentaria y la inspección de productos agrícolas y animales en las fronteras nacionales y puntos de inspección. Este organismo ha apoyado fuertemente el control biológico, pues con ayuda del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) tienen la misión de desarrollar y establecer estrategias de control biológico para plagas (CNRCB, 2020). Igualmente, existe una Colección de Hongos Entomopatógenos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), la cual sirve como proveedor de cepas a laboratorios que trabajan en proyectos y programas específicos coordinados por SENASICA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Apolo, N. (2023). Estromas de *Cordyceps pruinosa* creciendo en un hospedero desconocido. [Foto]. Recuperado de: <https://enciclovida.mx/especies/4373-cordyceps-pruinosa>
- Ballesteros, A. C. E. (2020). *Ophiocordyceps unilateralis s.l.* sobre hormigas zombi en el occidente de Jalisco, México. Universidad de Guadalajara.
- Blackwell, M., & Gilbertson, R. L. (1981). *Cordycepioideus octosporus*, a termite suspected pathogen from Jalisco, Mexico. *Mycologia*, 73(2), 358-362.
- Blackwell, M., & Gilbertson, R. L. (1981). *Cordycepioideus octosporus*, a termite suspected pathogen from Jalisco, Mexico. [Foto]. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00275514.1981.12021355>
- Blackwell, M., & Gilbertson, R. L. (1984). New Information on *Cordycepioideus bisporus* and *Cordycepioideus octosporus*. *Mycologia*, 76(4), 763-765. <https://doi.org/10.2307/3793239>
- Bright, T. (2023). *Beauveria pseudobassiana*. [Foto]. Recuperado de: [www.naturalista.mx/taxa/907173-Beauveria-pseudobassiana](http://www.naturalista.mx/taxa/907173-Beauveria-pseudobassiana)
- Bustillo, A. (2001). Hongos en insectos y posibilidades de uso en el control biológico de plagas en Colombia. *Seminario sobre uso de entomopatógenos en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá. p*, 30-53.
- Carreón, G., Quiroz, L., & Valenzuela, J. (1996). Hongos entomopatógenos de las hormigas arrieras *Atta mexicana* en México. *Scientia Fungorum*, (12), 41-48.

- Carrillo, M. T., & Blanco, A. (2009). Potencial y algunos de los mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga. *Acta universitaria*, 19(2), 40-49.
- Castrejon-Antonio J. E., Nuñez-Mejia, G., Iracheta, M. M., Gomez-Flores, R., Tamayo-Mejia, F., Ocampo-Hernández, J. A., & Tamez-Guerra, P. (2017). Beauveria bassiana blastospores produced in selective medium reduce survival time of Epilachna varivestis Mulsant Larvae. Universidad Autónoma de Nuevo León. *Southwestern entomologist*, 42(1), 203-220.
- Castro, B. D., Acosta, M. L., Valenzuela, R., & Burgos, A. (2012). Hongos entomopatógenos del género *Cordyceps* s. l (Fungi: Ascomycota) en el estado de Morelos. *Entomología mexicana*, 273-276.
- Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB). 2020. Introducción al CNRCB. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/centro-nacional-de-referencia-de-control-biologico-103097> (6 de diciembre de 2022).
- Cruz, D. C. (2016). *Patogenicidad de Beauveria bassiana sobre estados inmaduros de Diaphorina citri (Hemiptera: Liviidae), bajo condiciones de laboratorio y jaula de campo* [Tesis]. (Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur).
- Cortés, P. A. (2012) *Ophiocordyceps gracilis* en Veracruz, México. [Foto]. Recuperado de: <https://www.flickr.com/photos/ehecatlfungus/8186545416>
- Das, SK, Masuda, M., Sakurai, A. y Sakakibara, M. (2010). Usos medicinales del hongo *Cordyceps militaris*: estado actual y perspectivas. *Fitoterapia*, 81 (8), 961-968.

- Enriquez-Vara, J. N. (2021). Control Biológico de Plagas con Microorganismos Entomopatógenos. *ópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola (73-80)*. Guadalajara, Jalisco México: CIATEJ.
- Evans, H. (1993). Uso actual y potencial de los hongos entomopatógenos para el control biológico de artrópodos plagas. *Revista Palmas*, 14(1), 60/ 37-46. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/368/368>
- FAO. 2018. El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050. Versión resumida. Rome. 64 pp.
- Fenik, J., Tankiewicz, M., & Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(6), 814-826.
- Fuentes, D. (2018). *Ophiocordyceps melolonthae* [Foto]. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/observations/33987758>
- García, A. S. (2023). Historia de la micología. *Revista de la Universidad de México*, (3), 15-19.
- García, C., y G. D. Rodríguez (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 8(3), 1-10. [http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25barticulosPDF/1%](http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25barticulosPDF/1%25b)
- González-Jácome, A. (2003). Ambiente y cultura en la agricultura tradicional de México: casos y perspectivas. En *Anales de Antropología* (Vol. 37, No. 1).
- González, G., Venegas, C. S., González, O. J., Vargas, H., Jiménez, M. A., Pérez, E., & Domínguez, A. (2019). Abundancia y distribución de hongos entomopatógenos

en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(3), 669–681.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1550>

- González. M. F. J. (1988). Patología de insectos. [Tesis publicada]. Universidad de Guadalajara, México. En: <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/>
- Guzmán, G., Moron, M. A., & Ramirez, F. (2001). Entomogenous *Cordyceps* and related genera from Mexico with discussion on their hosts and new records. *Mycotaxon*, 78, 115-126.
- Guzmán, G., Moron, M. A., & Ramirez, F. (2001). *Cordyceps pruinosa*. [Foto]. Recuperado de: Entomogenous *Cordyceps* and related genera from Mexico with discussion on their hosts and new records. *Mycotaxon*, 78, 115-126.
- Hagen-Zajicek, S. (2021). *Cordyceps militaris*. [Foto]. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/observations/104146258>
- Herrera, E. (2012). *Tolyptocladium capitatum* [Foto]. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/observations/470606>
- Index fungorum. (2022). Authors of fungal names [Consultado el 14 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.indexfungorum.org/names>
- Inglis, G. D., Goettel, M. S., & Butt, T. M. (2001). for Managing Insect Pests. *Fungi as biocontrol agents: progress problems and potential*, 23.
- Jaronski S. (2001) Grasshoppers (*Melanoplus sp.*) killed by the fungus *Beauveria bassiana*. [Foto]. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Beauveria\\_bassiana](https://es.wikipedia.org/wiki/Beauveria_bassiana).

- Jiaming, H. (2017) *Cordyceps scarabaeidicola*. [Foto]. Recuperado de: <https://fungi-journal.blogspot.com/2020/12/no1235-beauveria-scarabaeidicola.html>
- Kepler, R. M., Luangsa-Ard, J. J., Hywel-Jones, N. L., Quandt, C. A., Sung, G. H., Rehner, S. A., Shrestha, B. (2017). A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA fungus*, 8, 335-353.
- Lezama-Gutiérrez R., Ramírez-Mancilla, A., Castrejón, H., Peralta, J. J., & Rebolledo, O. (2014). Uso de *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps bassiana* (Ascomycetes) para el control de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en Limón Mexicano. *Entomología Mexicana*, 1, 219-224.
- Liu, H. J., Hu, H. B., Chu, C., Li, Q., & Li, P. (2011). Morphological and microscopic identification studies of *Cordyceps* and its counterfeits. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 1(3), 189-195.
- Lopez, A. y Garcia, J. (2002). *Cordyceps entomorrhiza* Ascomycetes: Clavicipetales: Clavicipetaceae. *Funga Veracruzana*. 75. 1-2.
- López-Rodríguez L., y C. Burrola-Aguilar (2019). Hongos parásitos de insectos y otros hongos: una alternativa de alimento funcional. *Agroproductividad*, 12(5), 57-62. <https://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1398/1143>
- López-Rodríguez L., Burrola-Aguilar, C., Garibay-Orijel, R., Estrada-Zúñiga, M. E., Matías-Ferrer, N., & Argüelles-Moyao, A. (2022). *Cordyceps mexicana* sp. nov., parasitizing *Paradirphia* sp. moths: A new sister species of the *Cordyceps*

*militaris* complex, distributed in central Mexican Quercus-Pinus mixed forests. *Mycologia*, 1-16.

- Mains, E.B., (1958) North American Entomogenous Species of *Cordyceps*, *Mycologia*, 50:2
- Матершев, И. (2017). *Ophiocordyceps entomorrhiza*. [Foto]. Recuperado de: [www.naturalista.mx/taxa/868520-Ophiocordyceps-entomorrhiza](http://www.naturalista.mx/taxa/868520-Ophiocordyceps-entomorrhiza)
- McClung de Tapia, E. (2013). La agricultura en Mesoamérica. *Arqueología mexicana*, 120, 36-41. <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/el-origen-de-la-agricultura>
- Meade, B. (2020). *Ophiocordyceps stylophora* [Foto]. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/observations/69060510>
- Medel, R., Morales, O., del Moral, R. C., & Cáceres, R. (2013). New ascomycete records from Guatemala. *Mycotaxon*, 124(1), 73-85.
- Méndez-Mayboca, F. R., Chacón, S., Coronado, M. L., & Esqueda, M. (2007). Ascomycetes de Sonora, México, II: Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Revista Mexicana de Micología*, (25), 33-40.
- Mongkolsamrit, S., Noisripoom, W., Arnarnart, N., Lamlertthon, S., Himaman, W., Jangsantear, P. & Luangsa-ard, J. J. (2019). Resurrection of *Paraisaria* in the Ophiocordycipitaceae with three new species from Thailand. *Mycological Progress*, 18, 1213-1230.
- Nava-Pérez E., García-Gutiérrez C., & Camacho-Báez, J. R., y Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3b),17-29. [fecha de Consulta 12 de noviembre de 2020]. ISSN: 1665-

0441.

Disponible

en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=461/46125177003>

- Negrete, D., Ávalos, M. A., Lezama, R., Chan, W., Molina, J., & Galindo, E. (2018). Suitability of *Cordyceps bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: *Curculionidae*) in an organic Mexican banana plantation: laboratory and field trials. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(1), 73-81.
- ✓ Nikoh, N., & Fukatsu, T. (2000). Interkingdom host jumping underground: phylogenetic analysis of entomoparasitic fungi of the genus *Cordyceps*. *Molecular biology and evolution*, 17(4), 629-638.
- Noticias UNSAM. (2013). Muestras del hongo *Metarhizium Anisopliae* en laboratorio e infectando diferentes insectos [Foto]. Recuperado de: <https://noticias.unsam.edu.ar>
- Pacheco, M., Reséndiz, J., & Arriola, V. J. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 4-32.
- Pachés, M. A. V. (2019). Sistema de clasificación de los seres vivos. México.
- Pelissier, M. (2011). *Ophiocordyceps sobolifera* [Foto]. Recuperado de: <https://www.mycodb.fr/fiche.php?genre=Ophiocordyceps&espece=sobolifera>
- Pérez-Silva, E. (1977). Algunas especies del género *Cordyceps* (Pyrenomycetes) en México. *Scientia Fungorum*, (11), 145-153.

- Pérez-Silva, E. (1978). Nuevos registros del género *Cordyceps* (Pyrenomycetes) en México. *Scientia Fungorum*, (12), 19-25.
- Pérez-Villamares J. C., Burrola-Aguilar, C., Aguilar-Miguel, X., Sanjuan, T., & Jiménez-Sánchez, E. (2017). Nuevos registros de hongos entomopatógenos del género *Cordyceps* s. l. (Ascomycota: Hypocreales) del Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 773–783. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.013>
- Rehner, S. A., & Buckley, E. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1- $\alpha$  sequences: evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps* teleomorphs. *Mycologia*, 97(1), 84-98.
- Richter, R. (2017) *Cordyceps takaomontana*. [Foto]. Recuperado de: [colombia.inaturalist.org](http://colombia.inaturalist.org)
- Rivera, R. R. (2019). El control biológico y natural como tecnología que propende al desarrollo sostenible de los ecosistemas urbanos y forestales en Colombia. [Tesis] Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Ingeniería Ambiental, Bogotá.
- Robles, S. (2022). *Ophiocordyceps camponoti-atricipis* parasitando una hormiga. [Foto]. Recuperado de: [ecuador.inaturalist.org/taxa/890161-Ophiocordyceps-camponoti-atricipis](http://ecuador.inaturalist.org/taxa/890161-Ophiocordyceps-camponoti-atricipis)
- Rockefeller, A. (2007) *Cordyceps pruinosa*, Popocatepetl, México [Foto]. Recuperado de: <https://www.shroomery.org/forums/showflat.php/Number/25356108>

- Rockefeller, A. (2013). *Paraisaria gracilioides*. [Foto]. Recuperado de: [www.inaturalist.org](http://www.inaturalist.org)
- Rockefeller, A. (2022) *Beauveria bassiana*. [Foto]. Recuperado de: [www.naturalista.mx](http://www.naturalista.mx)
- Rockefeller, A. (2022) *Cordyceps Mexicana*. [Foto]. Recuperado de: <https://ecuador.inaturalist.org/observations/128474951>
- Rubio-Bustos, S. Y., Guzmán-Dávalos, L. y Navarrete-Heredia, J. L. (2000). Especies entomopatógenas de *Cordyceps* (Fungi, Ascomycotina) en México. *Boletín Del Instituto de Botánica*, 7, (Botánica), 135–157. [www.cucba.udg.mx](http://www.cucba.udg.mx)
- Shahid, A. A., Rao, Q. A., Bakhsh, A., & Husnain, T. (2012). Entomopathogenic fungi as biological controllers: new insights into their virulence and pathogenicity. *Archives of Biological Sciences*, 64(1), 21-42.
- Shin, J. C., Shrestha, B., Lee, W. H., Park, Y. J., Kim, S. Y., Jeong, G. R., ... & Sung, J. M. (2004). Distribution and favorable conditions for mycelial growth of *Cordyceps pruinosa* in Korea. *The Korean Journal of Mycology*, 32(2), 79-88.

- Shrestha, B., Tanaka, E., Han, J. G., Oh, J., Han, S. K., Lee, K. H., & Sung, G. H. (2014). A brief chronicle of the genus *Cordyceps* Fr., the oldest valid genus in Cordycipitaceae (Hypocreales, Ascomycota). *Mycobiology*, 42(2), 93-99.
- Siegel, N. (2008). *Cordyceps ophioglossoides*. [Foto] Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/observations/3590082>
- Sistema Integral de Comunicación. (2018). Pruebas con *Cordyceps fumosorosea* para el control del psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*). [Foto]. Recuperado de <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=3473>
- Smits, N., & Sinoquet, H. (2004, June). Fungal bioinsecticide survival in response to UVB in 3D digitized grapevine canopies: a simulation study. In *4th International workshop on functional-structural plant models* (pp. 7-11).
- Sourell, S. (2016). Hongo *Ophiocordyceps sphecocephala* creciendo en una avispa muerta. [Foto]. Recuperado de: [wikipedia.org/wiki/Ophiocordyceps\\_sphecocephala](https://wikipedia.org/wiki/Ophiocordyceps_sphecocephala)
- Sung, G. H., Hywel-Jones, N. L., Sung, J. M., Luangsa-Ard, J. J., Shrestha, B., & Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in mycology*, 57, 5-59.
- Tamayo-Mejía, F., Alatorre-Rosas, R., Delgado-Fernandez, S., & Ocampo-Hernández, J. A. (2021). Principios de aplicación de entomopatógenos. *Fundamento y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades. Biblioteca Básica de Agricultura, México*, 405-425.

- Tamez, P., Galán, L. J., Medrano, H., García, C., Rodríguez, C., Gómez, R. A., & Tamez, R. S. (2001). Bioinsecticidas: su empleo, producción y comercialización en México. *Ciencia UANL*, 4(2), 143-152.
- Tighe, D. (2023). *Ophiocordyceps dipterigena* parasitando una mosca. [Foto]. Recuperado de: <https://mexico.inaturalist.org/observations/149814601>
- Trejo, M. N. (2022). *Modo de acción de Isaria fomosorosea como micoinsecticida sobre plagas de importancia económica*. (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA).
- Trejo, A.D.J. (2017). *Control microbiano de la langosta centroamericana Schistocerca piceifrons piceifrons (Walker 1870) basado en el uso de los hongos entomopatógenos Metarhizium anisopliae y Beauveria bassiana en la península de Yucatán, México* [Tesis de maestría].
- Vázquez, J. A. (2022). *Mortalidad de Brevipalpus yothersi ocasionada por la interacción entre Amblyseius swirskii, Neoseiulus californicus y tres hongos entomopatógenos* (Doctoral dissertation).
- Viet, N. D., Lam, T. X., & Lam, D. M. (2022). Morphological and molecular characteristics of *Cordyceps* collected from xuan son national park and copia natural reserve. *TNU Journal of Science and Technology* 227(10): 311 – 318.
- Wang, Y., Fan, Q., Wang, D., Zou, W. Q., Tang, D. X., Hongthong, P., & Yu, H. (2022). Species diversity and virulence potential of the *Beauveria bassiana* complex and *Beauveria scarabaeidicola* complex. *Frontiers in Microbiology*, 13, 841604.

- Zelaya, L. X., Chávez, I. F., de los Santos, S., Cruz, C. I., Ruíz, S., & Rojas, E. (2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE27), 69-79.