

Metarhizium spp.: UN ALIADO MICROSCÓPICO PARA EL MAÍZ Y EL FRIJOL.

Melissa García García ^a, Adriana Reyes García ^a, Juan Mauricio Ibarra Chavira ^a,
Areli Durón Castellanos ^a, Araceli López Andrade ^a, Azul Martínez Vázquez ^a,
Gloria Angelica González Hernández ^a, Juan Carlos Torres Guzmán ^a, Israel
Enrique Padilla Guerrero ^{a*}.

^aDepartamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Noria Alta S/N, CP 36050, Guanajuato, Gto. ie.padillaguerrero@ugto.mx

Resumen

Metarhizium spp. ha sido objeto de múltiples estudios con el fin de demostrar sus cualidades como hongo entomopatógeno, útil para el control de plagas, y como endófito, mejorando la nutrición y el desarrollo vegetal. Actualmente, su uso en la agricultura ha despertado un creciente interés para mejorar el crecimiento en cultivos estratégicos como el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*). Estos cereales son de los más importantes a nivel mundial debido a su amplio consumo, especialmente en América Latina, además de poseer un alto valor nutricional y ser económicamente accesibles. Este artículo de revisión tiene como objetivo principal recopilar información sobre el uso de *Metarhizium* en los cultivos de maíz y frijol, resaltando sus ventajas y limitaciones.

Palabras clave: Entomopatógeno; Plagas; Agricultura sostenible; Endófito; Plantas.

METARHIZIUM SPP.: A MICROSCOPIC ALLY FOR CORN AND BEANS.

Abstract

Metarhizium spp. has been the subject of multiple studies aimed at demonstrating its qualities as an entomopathogenic fungus, useful for pest control, and as an endophyte, improving plant nutrition and

development. Currently, its use in agriculture has garnered increasing interest for enhancing growth in strategic crops such as corn (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*). These cereals are among the most important worldwide due to their widespread consumption, especially in Latin America, in addition to possessing high nutritional value and being economically accessible. This review article's main objective is to compile information on the use of *Metarhizium* in corn and bean crops, highlighting its advantages and limitations.

Keywords: Entomopathogen; Pests; Sustainable agriculture; Endophyte; Plants

1. Introducción

Desde sus orígenes hasta la actualidad, la agricultura ha sido indispensable para la supervivencia humana. Esta disciplina, que integra conocimientos y métodos para trabajar la tierra y obtener recursos vegetales, hoy también funciona como pilar económico dentro del sector primario. En México, la agricultura presenta una producción escasa y fluctuante frente al consumo frecuente, lo que obliga a producir más y mejor con cultivos intensivos. Esto provoca que los cultivos sean cada vez menos apropiados para la tierra, originando la degradación de los suelos y generando un efecto irreversible como la erosión (Bravo y col., 2000).

El cultivo de *Phaseolus vulgaris*, también conocido como frijol, forma parte del grupo de las leguminosas que poseen semillas comestibles. Es una fuente natural de proteína, hidratos de carbono, y presenta una abundante cantidad de vitamina B, además de hierro, cobre, magnesio, zinc, fósforo, potasio y calcio, y un alto contenido de fibra. Esta legumbre se distribuye en los cinco continentes y es un alimento indispensable en la dieta de Centroamérica y Sudamérica. En México, el consumo de frijol es esencial en la alimentación de la población dado su alto

contenido de proteína. Actualmente, la producción de leguminosas se ha reducido en un 3.2% con respecto al crecimiento de la población, superando la producción de estos alimentos. La calidad de esta legumbre está determinada por la variedad, el manejo agronómico, las condiciones de cultivo y su almacenamiento; en cambio, su calidad nutricional se valora por el contenido proteico del grano. A pesar de las diferentes decisiones tomadas para favorecer el sector agrícola y su producción, aún se busca optimizar su industrialización, modernización y eficacia en la producción (Sangerman-Jarquín y col., 2010).

En el caso del cultivo de *Zea mays*, comúnmente conocido como maíz, es considerado uno de los cereales más importantes a nivel mundial después del sorgo y el arroz, dado su alto valor de nutrientes y elementos fitoquímicos, que incluyen vitaminas (A, B, K y E), minerales (Mg, P y K), ácidos fenólicos (ácido ferúlico, ácido cumárico y ácido siríngico), carotenoides y flavonoides (antocianinas) y fibra dietética. En América Latina, los maíces criollos no solo son un elemento central de la alimentación, sino que también sostienen la economía y la cultura local, especialmente entre pequeños agricultores que conservan

estas variedades de manera tradicional (Guzzon y col., 2021).

Dentro del mercado de producción, las condiciones del grano de maíz son cada vez más exigentes al presentar análisis de su composición con respecto a las proteínas, aminoácidos, almidón y aceites, por lo que cada vez se descartan más insumos por la presencia de contaminantes, influenciados o detectados por su textura, color y tamaño (Maíz, el corazón de la agricultura., 2024).

En la actualidad, el monocultivo y la agricultura convencional generan múltiples problemáticas que afectan la sostenibilidad de los sectores productivos. La práctica continua de cultivar las mismas especies, como maíz y frijol, en un mismo terreno provoca el agotamiento progresivo de los nutrientes del suelo, favoreciendo la erosión y aumentando la dependencia de fertilizantes y plaguicidas. Estas condiciones no solo reducen la productividad, sino que también contribuyen a la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad agrícola, afectando negativamente la salud humana. A su vez, la alteración del equilibrio microbiano del suelo, frecuentemente asociada con el uso excesivo de insumos químicos, facilita la proliferación de microorganismos patógenos

como los hongos *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*, así como bacterias fitopatógenas, que afectan la productividad de las cosechas (Elouattassi y col., 2023; Rubio & Fereres., 2005).

Frente a esta problemática, el control biológico mediante microorganismos antagonistas surge como una estrategia sostenible para reducir el impacto de las enfermedades y promover sistemas agrícolas más saludables. Además, los microorganismos desempeñan un papel clave al ayudar a las plantas a tolerar el estrés abiótico, como la sequía, la salinidad o las temperaturas extremas. A través de mecanismos como la producción de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la inducción de respuestas defensivas, ciertos microorganismos del suelo mejoran el crecimiento y la resistencia de los cultivos en condiciones adversas, disminuyendo así la dependencia de insumos químicos (Barrera., 2023; Butt, y col., 2001).

2. ¿Quién es *Metarhizium*?- El Hongo Entomopatógeno Multifacético.

■ Uno de los microorganismos que ha sido objeto de estudio para conocer sus efectos

sobre los cultivos de diversos cereales, como maíz y frijol, es *Metarhizium spp.*, un género de hongos ascomicetos de la familia *Clavicipitaceae*. Estos hongos se caracterizan por estar distribuidos por todo el mundo, teniendo la propiedad de colonizar diferentes entornos, incluidos bosques, sabanas, pantanos, zonas costeras y desiertos (Roberts y St. Leger., 2004).

Metarhizium spp. es reconocido por su carácter entomopatógeno, siendo usado como pesticida en el campo por más de un siglo,

además de ser responsable en gran parte de las enfermedades detectadas en artrópodos. La “Muscardina verde” es la infección más conocida del hongo, donde los conidios verdes del hongo se encuentran en los cadáveres de insectos (Roberts y St. Leger., 2004).

La forma en que el hongo es capaz de infectar al insecto se da por medio de los conidios, que llegan a la cutícula del insecto donde se adhieren gracias a la expresión de proteínas de tipo adhesinas. Cuando los conidios

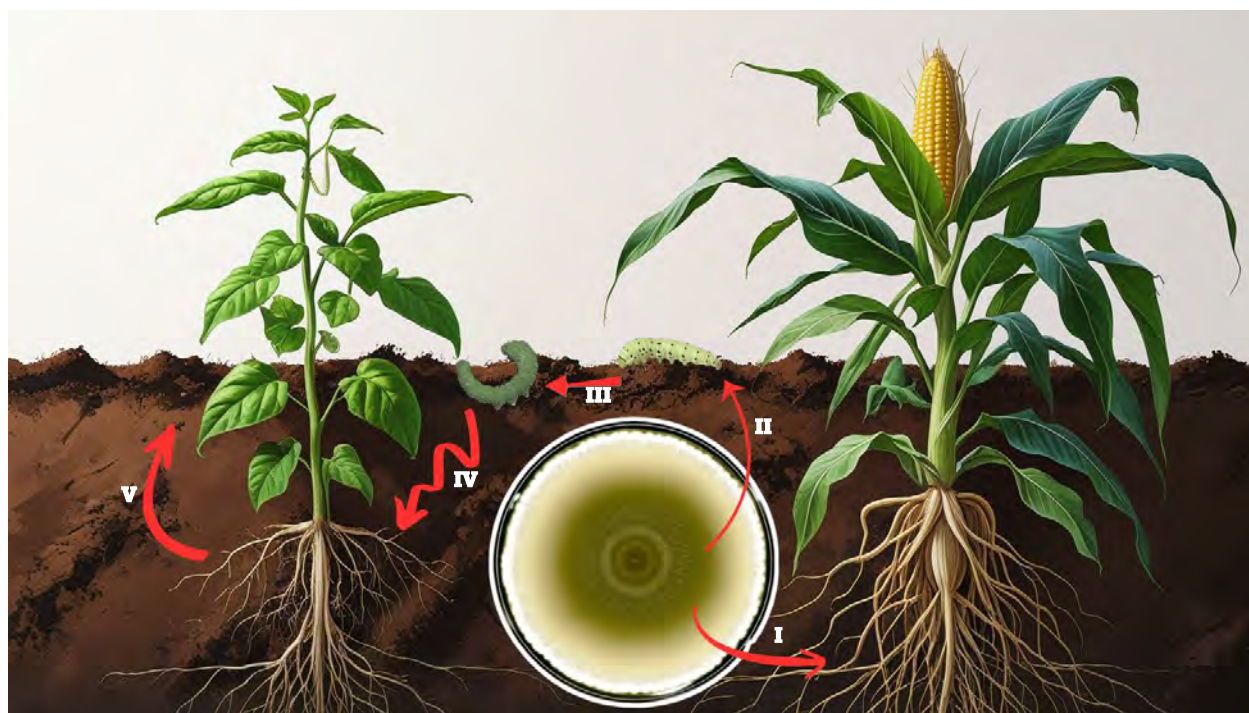


Figura 1. Representación de la interacción de *Metarhizium* con cultivos de frijol y maíz. El hongo *Metarhizium* puede tener un doble papel en la agricultura, puede funcionar como entomopatógeno controlando insectos plaga y al mismo tiempo establecer una relación simbiótica beneficiosa para las raíces de las plantas en los cultivos (I. Interacción con las raíces de las plantas, II. Infección de insectos plaga, III. Muerte de insecto plaga, IV. Translocación de nutrientes del insecto muerto a la planta por parte del hongo, V. Latencia del hongo en el suelo para interactuar con plantas o insectos.).

Imagen creada con Magic Media en Canva.

germinan, se forma una estructura llamada apresorio, la cual penetra la cutícula por la presión mecánica y la secreción enzimática hidrolítica. Una vez dentro, el hongo se multiplica rápidamente y comienza a consumir los nutrientes del insecto, produciendo compuestos como las destruxinas que permiten paralizar y matar al hospedador (Roberts y St. Leger., 2004).

Recientemente se ha descubierto la función del hongo como endófito colonizador de las raíces de las plantas, estimulando su crecimiento tras la aportación de nutrientes por parte del hongo (Sasan y Bidochka., 2012; Lahey y col., 2020). Al fusionar ambas funciones del hongo, se obtiene un bioinsecticida y biofertilizante, es decir, se aprovechan los nutrientes liberados por la descomposición de insectos para fertilizar las plantas. Por ejemplo, diversos estudios han demostrado que el hongo es capaz de transferir nitrógeno a las plantas tras haberlo adquirido de la descomposición de los cadáveres de insectos. Aunado a esto, se ha demostrado que *Metarhizium spp.* es capaz de producir fitohormonas que ayudan al crecimiento de la planta y mejoran la absorción de nutrientes, sin dejar de lado que son el medio de defensa de la planta (Behie y

col., 2012; Liao y col., 2017; Sasan y Bidochka., 2012).

Es de destacar que *Metarhizium spp.* es considerado un microorganismo bastante flexible dada su facilidad de adaptación a ambientes hostiles o de estrés, principalmente osmótico y oxidativo, donde la disposición de nutrientes es escasa. Por ello, *Metarhizium spp.* juega un papel crucial en los ecosistemas naturales (Lovett y St. Leger., 2015; Butt, y col., 2001).

3. Aplicaciones y beneficios del hongo *Metarhizium* en Maíz y Frijol.

Como ya se ha mencionado, *Metarhizium spp.* puede actuar como un plaguicida natural para el control de artrópodos en los cultivos. En el caso del maíz y el frijol, el hongo actúa contra las plagas de gusano cogollero, gallina ciega, salivazo y conchuela del frijol.

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se considera una plaga polífaga, ya que se estima que ataca alrededor de 350 especies de plantas. Es originaria de América del Norte tropical; sin embargo, con el tiempo la plaga ha migrado largas distancias, provocando brotes repentinos en los lugares donde se establece, siendo que las hembras ponen

grandes cantidades de huevos en el suelo cultivado. Al eclosionar, las larvas comienzan a alimentarse de las plantas. Actualmente, la plaga se ha convertido en una nueva especie invasora en África occidental y central, donde se registraron brotes por primera vez a principios de 2016. Estudios han revelado que *Metarhizium anisopliae* es una de las especies de hongo más efectiva para reducir la plaga de estas larvas, alcanzando tasas de mortalidad mayores al 80% en condiciones de laboratorio, por lo que este tratamiento resulta eficaz para mantener a salvo el cultivo de maíz, el cual es el más afectado hasta ahora (Jeon y Kim., 2024).

Phyllophaga spp., mejor conocida como “gallina ciega”, es una plaga que representa una de las mayores problemáticas para el desarrollo de los cultivos agrícolas de maíz y frijol, que abarcan desde los Estados Unidos hasta México. En el caso del maíz, las plántulas no crecen debido a un déficit en el desarrollo radicular. Para eliminar la plaga, se ha recurrido al uso de insumos químicos como los insecticidas sintéticos; sin embargo, se ha observado que el uso prolongado de estos no es tan efectivo para combatir la gallina ciega y, a su vez, provoca la infertilidad del suelo al contaminarlo, eliminando así la fauna benéfica para la

rizosfera. Dada la creciente necesidad de optimizar el desarrollo de cultivos de frijol y maíz, se ha demostrado que *Metarhizium anisopliae* tiene efecto entomopatógeno contra la plaga de gallina ciega, con una tasa de mortalidad del 80% a los 30 días de haber sido aplicado sobre los insectos (Nájera-Rincón y col., 2005).

Aeneolamia spp., conocido como salivazo, es una plaga que afecta la mayor parte de Latinoamérica, abarcando desde México hasta Argentina. Se trata de un insecto que afecta las plantas desde una edad temprana, donde las ninfas succionan la savia del xilema de las raíces, marchitando así la planta. La mayoría de las veces, esta plaga suele identificarse por la secreción de una sustancia espumosa, lo que le da origen a su nombre común: salivazo. Algunas especies de este insecto suelen generar daño también en su edad adulta, como el caso de *Aeneolamia varia*, el cual se alimenta de las hojas, causando una reacción que provoca la aparición de bandas rojizas necróticas longitudinales. Recientemente se ha estipulado que las cepas de *Metarhizium anisopliae* son nocivas para estas plagas, mejorando el desarrollo de las plantas de frijol y caña de azúcar (Obando y col., 2013).

La conchuela del frijol (*Epilachna varivestis*) es una plaga que representa una de las mayores amenazas para los cultivos de frijol en México, dado que se alimenta de sus hojas y el follaje del fruto. Por ello, se han realizado estudios con *Metarhizium anisopliae*, buscando que sea una alternativa para poder eliminar esta plaga que impide el desarrollo de los cultivos. De acuerdo con los resultados, se ha demostrado que este hongo funge como un biopesticida, el cual promete una tasa de mortalidad del insecto mayor al 80% a las 72 horas de haber sido aplicado sobre los insectos (García y col., 2011).

Aunque el uso de *Metarhizium* en cultivos de maíz y frijol es importante dada su función entomopatógena, también se han demostrado múltiples beneficios agronómicos que permiten obtener mejores frutos. Su inoculación aporta un desarrollo más robusto de las plantas, evidenciado en un crecimiento radicular profundo y ramificado, así como en una mayor biomasa en general. Es por ello que las plantas suelen ser más grandes, con tallos firmes y hojas más extensas, lo que optimiza la captación de luz y nutrientes. Estudios también han reportado un incremento en la producción de grano, atribuido a una mejor nutrición vegetal y protección frente a plagas, como ya se ha

detallado con anterioridad. Estos beneficios hacen de *Metarhizium* una herramienta fundamental en la agricultura sostenible.

4. Consideraciones para el uso exitoso de *Metarhizium*.

Al implementar el control biológico la viabilidad de los bioinsumos es indispensable, al suministrar a las plantas con conidios extraídos de un hongo se toman en cuenta las condiciones en las que se cultivó el microorganismo, desde la fecha de siembra hasta el medio en el que se conservó. En el caso de *Metarhizium* su producción masiva en estado sólido se produce mejor en los sustratos de arroz, trigo o maíz molido, estos previamente esterilizados y con una humedad del 60 al 65%, la incubación del cultivo debe mantenerse a una temperatura de 25 a 28 °C para el crecimiento micelial y conidiación. El pH debe ser óptimo para el hongo, ya que en valores extremos pueden llegar a afectar el crecimiento y la producción de conidios, por lo que se recomienda que se mantenga en valores entre 5.5 y 7.0 (Mascarin y Jaronski, 2016; Zimmermann, 2007; Lacey y col., 2015; FAO., 2017).

A pesar del conocimiento en la producción masiva del hongo, los principales problemas para su producción son mantener las condiciones de crecimiento como la temperatura, humedad y contaminaciones con otros microorganismos. Se presentan variaciones entre cada lote producido, como el número de conidios por gramo de sustrato. Cuando los conidios de *Metarhizium* no son correctamente almacenados, pierden viabilidad al exponerlos a luz UV, calor, humedad o productos químicos. El sector agrícola aún no ha sido relacionado con el manejo adecuado de este tipo de bioinsumos, dado que su efectividad depende mucho de cómo se use el microorganismo. La relación de los productores con un especialista de aplicación y manejo de este tipo de hongos es fundamental, dado que muchos productores no saben preparar, ni aplicar correctamente productos con microorganismos. Aunque se presenta como una gran iniciativa, el factor de confianza al ver los resultados va a persistir al no observar resultados inmediatos o por las condiciones climáticas, retrasando aún más los resultados esperados al usar el control biológico (Lacey., 2016).

5. Conclusión

El uso del hongo *Metarhizium* ha demostrado ser mucho más que un simple plaguicida en cultivos de maíz y frijol; su rol como endófito promueve el desarrollo vegetal, resultando en cosechas de mayor calidad y libres de residuos nocivos asociados al uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas químicos.

La evidencia científica respalda a *Metarhizium* como un agente multifuncional que combate las diversas amenazas del sector agrícola. Sus beneficios son variados como:

- Control de plagas.
- Estimulación del crecimiento vegetal.
- Mejor rendimiento.
- Mayor tolerancia al estrés.

Los hongos del género *Metarhizium* tienen el potencial de consolidarse en la agricultura rentable y ecológica. Es un género de hongos multifacético con aplicaciones integrales, por lo cual es necesario seguir realizando investigaciones para perfeccionar las metodologías de aplicación y sus usos.

Referencias bibliográficas

Barrera, G. P. (2023). Multifuncionalidad de los hongos biocontroladores y su aporte a la agricultura. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 3-5.

Behie, S. W., Zelisko, P. M., & Bidochka, M. J. (2012). Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. *Science*, 336(6088), 1576-1577.

Bravo, A. N., Sandoval, B. F., Chaparro, V. M. O., & Cossio, F. V. G. (2000). Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 61-69.

Butt, T. M., Jackson, C. W., & Magan, N. (2001). Introduction-fungal biological control agents: progress, problems and potential. In *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential* (pp. 1-8). Wallingford UK: CABI Publishing.

De Faria, M. R., & Wraight, S. P. (2007). Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological control*, 43(3), 237-256.

Elouattassi, Y., Ferioun, M., El Ghachtouli, N., Derraz, K., & Rachidi, F. (2023).

Agroecological concepts and alternatives to the problems of contemporary agriculture: Monoculture and chemical fertilization in the context of climate change. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 117(2), 41-98.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2017). *ISPM 3: Guidelines for the export, shipment, import and release of biological control agents and other beneficial organisms*. IPPC Secretariat.

García, C., & Bautista, N. (2011). Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 37(2), 217-222.

Guzzon, F., Arandia Rios, L. W., Caviedes Cepeda, G. M., Céspedes Polo, M., Chavez Cabrera, A., Muriel Figueroa, J., ... & Pixley, K. V. (2021). Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy*, 11(1), 172.

Jeon, I., & Kim, J. S. (2024). Soil treatment with *Beauveria* and *Metarhizium* to control

fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, during the soil-dwelling stage. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 27(1), 102193.

Lacey, L. A. (Ed.). (2016). *Microbial control of insect and mite pests: from theory to practice*. Academic Press.

Lahey, S., Angelone, S., DeBartolo, M. O., Coutinho-Rodrigues, C., & Bidochka, M. J. (2020). Localization of the insect pathogenic fungal plant symbionts *Metarhizium robertsii* and *Metarhizium brunneum* in bean and corn roots. *Fungal Biology*, 124(10), 877-883.

Liao, X., Lovett, B., Fang, W., & St Leger, R. J. (2017). *Metarhizium robertsii* produces indole-3-acetic acid, which promotes root growth in *Arabidopsis* and enhances virulence to insects. *Microbiology*, 163(7), 980-991.

Lovett, B., & St. Leger, R. J. (2015). Stress is the rule rather than the exception for *Metarhizium*. *Current genetics*, 61(3), 253-261.

Mascarin, G. M., & Jaronski, S. T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 177.

Nájera-Rincón, M. B., Martínez, M. G., Crocker, R. L., Hernández-Velázquez, V., & del Bosque, L. R. (2005). Virulencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, nativos del occidente de México, contra larvas de tercer estadio de *Phyllophaga crinita* (Coleoptera: Melolonthidae) bajo condiciones de laboratorio. *Fitosanidad*, 9(1), 33-36.

Obando, J. A., Bustillo, A. E., Castro, U., & Mesa, N. C. (2013). Selección de cepas de *Metarhizium anisopliae* para el control de *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 26-33.

Perera, K. T. G. K., & Weerasinghe, T. K. (2014). A study on the impacts of corn cultivation (*Zea mays* (L.) Family-Poaceae) on the properties of Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(7), 1-6.

Roberts, D. W., & St Leger, R. J. (2004). *Metarhizium spp.*, cosmopolitan insect-pathogenic fungi: mycological aspects. *Advances in applied microbiology*, 54(1), 1-70.

Rodríguez-Rodríguez, J. C., Ayala-Zermeno, M. A., Neri-Luna, C., Rodríguez-Vélez, B.,

Gallou, A., & Castruita-Domínguez, J. P. (2023). Presencia natural de *Metarhizium* en suelos agrícolas de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Colima, México. *Manglar*, 20(1), 69-76.

Rubio, V., & Fereres, A. (2005). Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos. En I. Marín Palma, J. L. Sanz Martín, & R. Amils Pibernat (Coords.), *Biotecnología y medioambiente* (pp. 215-230). Ephemera.

Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallego, J. A., Schwenstesius de Rindermann, R., Damián Huato, M. Á., & Larqué Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro

de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 363-380.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). *Maíz, el corazón de la agricultura*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-corazon-de-la-agricultura>

Siyuan, S., Tong, L., & Liu, R. (2018). Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 185-195.

Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6), 553-596.