

## Abundancia y distribución de hongos entomopatógenos en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas

Guadalupe González Baca<sup>1</sup>  
Crystian S. Venegas Barrera<sup>1</sup>  
Othón J. González Gaona<sup>1</sup>  
Haidel Vargas Madriz<sup>2</sup>  
Marco A. Jiménez Gómez<sup>1</sup>  
Edgar Pérez Arriaga<sup>1</sup>  
Ausencio Azuara Domínguez<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP. 87010. Tel. 01(834) 1532000. (lubacgo@gmail.com; crystianv@gmail.com; othonjavier@hotmail.com; m-jimenez81@yahoo.com.mx; satmex7@hotmail.com). <sup>2</sup>Departamento de Producción Agrícola-Centro Universitario de la Costa Sur. Autlán de Navarro, Jalisco, México. CP. 48900. Tel. 01(317) 3825010. (haidel-vargas@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: azuarad@gmail.com.

### Resumen

Con el fin de generar un registro de los hongos entomopatógenos con el potencial para el control de insectos plaga en el área agrícola del estado de Tamaulipas. En este estudio se cuantificó la abundancia y determinó la distribución de los hongos entomopatógenos en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas, México. En 2016, los hongos entomopatógenos fueron recolectados en la Brecha de Corpus Christi, Villa Cuauhtémoc, Esteros y Miradores. En cada localidad se seleccionaron los siguientes ambientes: parcelas cultivadas con gramíneas (sorgo y maíz), fabáceas (soya, frijol y jícama), árboles frutales (limón, papaya, litche, mango y naranja), hortalizas (cebolla, chile, tomate y acelga) y parcelas sin cultivar (ambiente natural). En cada ambiente se recolectaron muestras de suelo. Posteriormente, en el suelo recolectado, se trampearon a los hongos entomopatógenos con larvas de *Tenebrio molitor* L. En total, se recolectaron 134 aislados de los géneros: *Beauveria* sp., *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp. e *Isaria* sp. De los cuales, *Beauveria* sp. presentó la mayor abundancia y distribución. Mientras que, los otros géneros fueron recolectados en localidades y ambientes específicos. Este resultado indica la posibilidad de que los géneros de los hongos encontrados estén fuertemente adaptados a los factores bióticos y abióticos del ambiente.

**Palabras clave:** *Beauveria* sp., *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp.

Recibido: febrero de 2019

Aceptado: mayo de 2019

## Introducción

Los hongos entomopatógenos están presentes en diferentes ambientes (Klingen y Haukeland, 2006; Jaronski, 2010). Actualmente, 90 géneros y 700 especies son reportadas en las áreas forestales, agrícolas, matorrales, desiertos y zonas urbanas (Chandler *et al.*, 1997; Onofre *et al.*, 2001; Meyling y Eilenberg, 2007). En estos ambientes, los hongos entomopatógenos participan en la regulación de insectos plaga (Chandler *et al.*, 1997). Esto ha maximizado el interés por el estudio de la presencia, abundancia y distribución de los hongos en diferentes partes del mundo (Meyling y Eilenberg, 2007).

Actualmente, los más estudiados son: *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin (Chandler *et al.*, 1997; Bidochka *et al.*, 1998; Klingen *et al.*, 2002; Keller *et al.*, 2003; Meyling y Eilenberg, 2006b; Zimmermann, 2008; Meyling *et al.*, 2009; Ormond *et al.*, 2010). De acuerdo con Toledo *et al.* (2008) y Zimmermann (2008), ambos hongos se hospedan en una amplia gama de insectos y tiene una distribución cosmopolita. Así mismo, tienen una preferencia por un ambiente en particular. Por ejemplo, *B. bassiana* se presenta en mayor abundancia en los suelos no cultivados y ambientes forestales. Por su parte, *M. anisopliae* es más abundante en los suelos cultivados y en los huertos de árboles frutales (Bidochka *et al.*, 1998; Bruck, 2004; Meyling y Eilenberg, 2006b; Quesada-Moraga *et al.*, 2007; Fisher *et al.*, 2011; Wyrebek *et al.*, 2011).

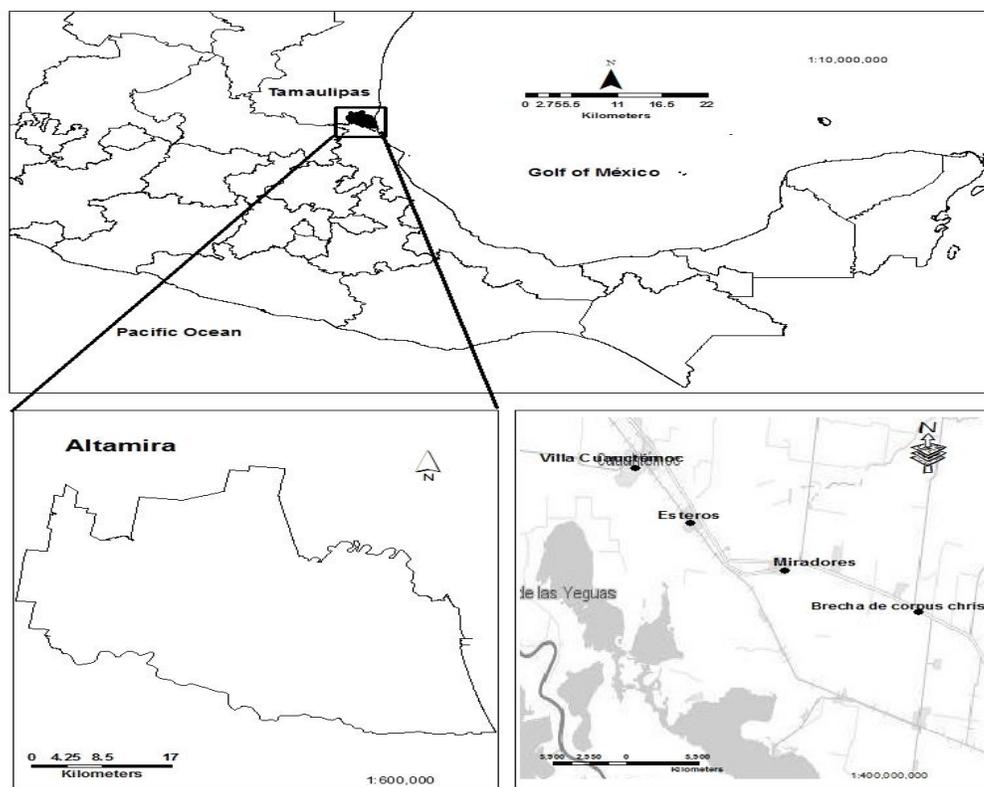
El conocimiento de la abundancia y distribución de los hongos entomopatógenos en un ambiente permite seleccionar a las especies mejor adaptadas (Meyling *et al.*, 2011). También, coadyuva a pronosticar el éxito de los hongos en el control biológico de plagas (Meyling y Eilenberg, 2007). En México, recientemente se ha registrado a *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp. y *Paecilomyces* sp. en diferentes ambientes (Lezama-Gutiérrez *et al.*, 2001; Sánchez-Peña *et al.*, 2011). Este resultado muestra la adaptación de los hongos a diferentes zonas geográficas y proporcionan información base para el desarrollo de futuras investigaciones enfocadas a su ecología y biología. Considerando lo anterior, en el presente estudio se cuantificó la abundancia y determinó la distribución de los hongos entomopatógenos en localidades y ambientes del sur de Tamaulipas, México.

## Materiales y métodos

### Sitios de muestreo

El estudio se realizó de agosto a noviembre de 2016, en las siguientes localidades: Brecha de Corpus Christi, Villa Cuauhtémoc, Esteros y Miradores, pertenecientes al municipio de Altamira, Tamaulipas, México (Figura 1).

En el área de estudio predomina un clima cálido húmedo, con régimen de lluvias de junio a septiembre, con la dirección de los vientos de sureste a noreste. La temperatura y precipitación promedio anual es de 16 °C y 1 000 mm. Al norte y al oeste de las localidades, el suelo es Vertisol pélico y en la parte sureste es Cabisol cálcico y Calcárico. En lo que respecta a la tenencia y uso de la tierra, las localidades son ejidales enfocadas a la producción agrícola (INEGI, 2018).



**Figura 1. Distribución de las localidades muestreadas en el presente trabajo de investigación**

### **Recolecta de las muestras de suelo**

En cada localidad se seleccionaron los siguientes ambientes: parcelas cultivadas con gramíneas (sorgo y maíz), fabáceas (soya, frijol y jícama), árboles frutales (limón, papaya, litche, mango y naranja), hortalizas (cebolla, chile, tomate y acelga) y parcelas sin cultivar (ambiente natural). En cada ambiente se seleccionaron cinco puntos de muestreo con base en el método ‘cinco de oros’ (Rendón 1994; Infante y Zarate 2003). Cada punto estuvo conformado de 10 m<sup>2</sup>, en esta área se recolectó una muestra de suelo de cinco sitios seleccionados al azar. Antes de recolectar la muestra, se retiró la maleza o los residuos de la cosecha de la superficie del suelo.

Después, en cada punto, se recolectaron 500 g de suelo a 20 cm de profundidad con ayuda de una pala jardinera. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno etiquetadas y fueron transportadas al Laboratorio de entomología del Campo experimental ‘Las Huastecas’ perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La herramienta utilizada fue desinfectada con alcohol al 70% en cada toma de la muestra. Así mismo, los sitios fueron georreferenciados con un geoposicionador satelital (GPS; Marca: Garmin, Modelo: Corp Etrex<sup>®</sup>).

En total, se recolectaron 348 muestras, distribuidas de la siguiente manera: 96 en parcelas cultivadas con gramíneas (sorgo y maíz), 96 muestras en parcelas sembradas con fabáceas (soya, frijol y jícama), 54 muestras de suelo en parcelas sin cultivar (Ambiente natural), 54 muestras de suelo en huertos cultivados con árboles frutales (limón, papaya, litche, mango y naranja) y 48

muestras en parcelas cultivadas con hortalizas (cebolla, chile, tomate y acelga). El número de muestras estuvo con base en la disponibilidad de las parcelas agrícolas de los productores cooperantes.

### **Procesamiento de las muestras de suelo para la recolecta de los hongos**

Las cinco muestras recolectadas en cada sitio fueron mezcladas. Posteriormente, se obtuvieron seis muestras de 60 g. Estas, de manera independiente, fueron vertidas en recipientes de plástico de 155 ml. Enseguida, se añadieron tres mililitros de agua destilada y se colocaron cinco larvas del coleóptero *Tenebrio molitor* L. (Sánchez-Peña *et al.*, 2011). El insecto *T. molitor* fue criando en el laboratorio hasta obtener la tercera generación con el fin de minimizar la presencia de hongos y bacterias en estas.

Finalmente, los recipientes fueron sellados con tapas perforadas e incubados en una cámara climática (Thermo Scientific®) a 24 °C y 12 h luz y 12 h de oscuridad por 30 días. Los recipientes fueron invertidos cada 24 h por 10 días a fin de poner en contacto a las larvas de *T. molitor* con los hongos (Mietkiewski *et al.*, 1997). Al finalizar el periodo de incubación, las larvas muertas fueron lavadas con alcohol al 70% e hipoclorito de sodio al 1%. Asimismo, fueron lavadas dos veces con agua destilada y colocadas sobre papel absorbente por tres minutos a fin de minimizar la humedad (Chandler *et al.*, 1997).

Enseguida, las larvas fueron colocadas de forma independiente en recipientes de 20 ml que contenía algodón húmedo y papel filtro Whatman del número 1. Por último, los recipientes fueron sellados e incubados a 25 °C por siete días. Al finalizar el periodo de incubación, se sembró una muestra del hongo en una caja Petri con medio de cultivo SDA (Sabouraud Dextrosa Agar). Las cajas Petri fueron incubadas a temperatura ambiente hasta la esporulación de los hongos.

### **Identificación taxonómica de los hongos**

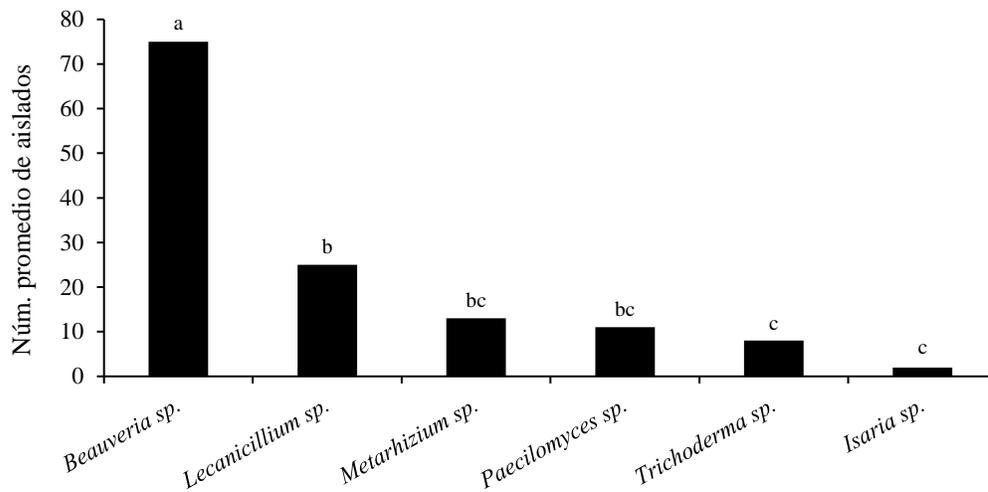
Los hongos desarrollados en el medio de cultivo fueron sembrados en el medio de Sabouraud Dextrosa Agar (SDA) hasta obtener cultivos monospóricos. Después, fueron identificados con claves taxonómicas (Barnett y Hunter, 1999; Humber, 2012).

### **Análisis estadísticos**

El número promedio de los aislados fue analizado por género, localidad y ambiente. Asimismo, se analizaron los mismos parámetros para los géneros con el mayor número de aislados y esto fue realizado con la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis seguido por la comparación de medias de Bonferroni con un alfa de 0.05. Los análisis fueron realizados con el software estadístico de SAS versión 9.4 (SAS, 2012).

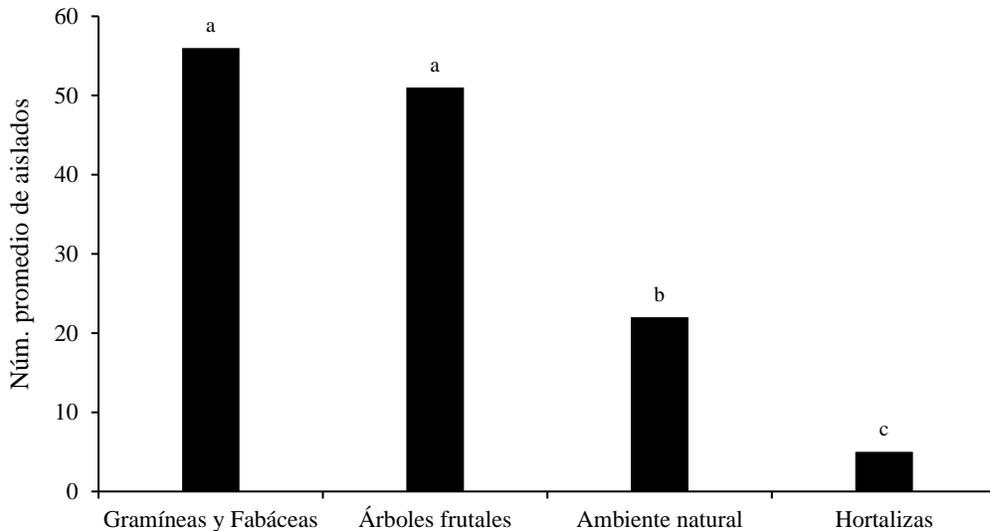
## **Resultados y discusión**

En las localidades y ambientes muestreados, se recolectaron seis géneros de hongos entomopatógenos. De los cuales, la abundancia de estos fue diferente (*P*-value: 0.01). De los hongos recolectados, *Beauveria* sp., presentó la mayor abundancia seguido por *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp. e *Isaria* sp. (Figura 2).



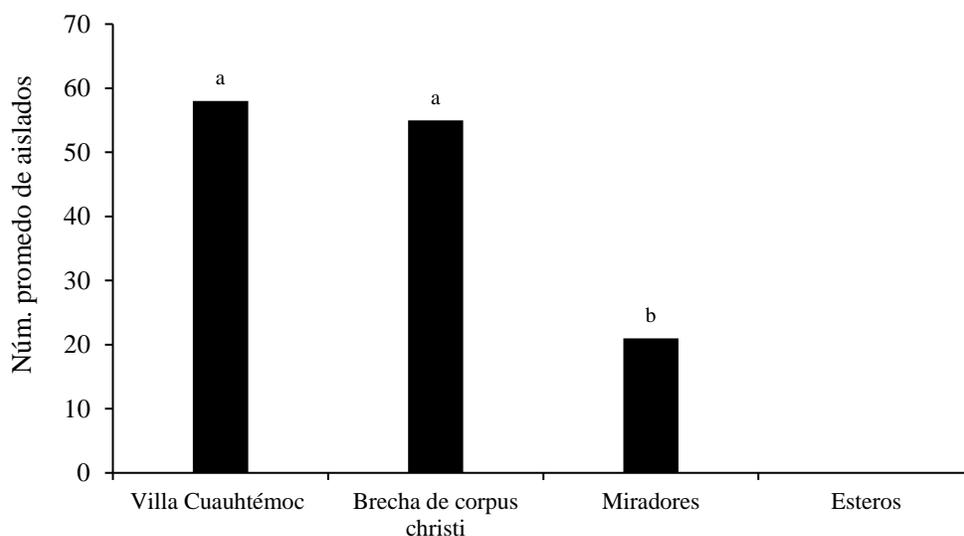
**Figura 2. Análisis de la abundancia de los géneros de los hongos entomopatógenos recolectados en el área de estudio.**

Los hongos entomopatógenos recolectados estuvieron distribuidos en los cuatro ambientes, donde la abundancia de cada uno de los hongos fue diferente ( $P$ -value: 0.003). La mayor abundancia de los aislados fue observada en los huertos de árboles frutales y en las parcelas cultivadas con gramíneas y fabáceas, seguido por las áreas naturales y los cultivos de hortalizas (Figura 3).



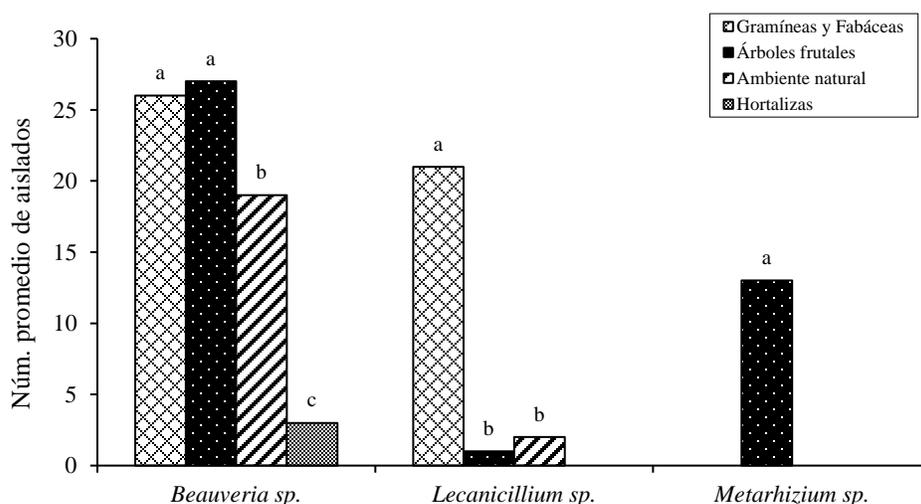
**Figura 3. Análisis de abundancia de los hongos entomopatógenos por tipo de ambiente.**

Por otro lado, los hongos estuvieron distribuidos en tres de las cuatro localidades muestreadas. En las localidades, la abundancia de los hongos fue diferente ( $P$ -value: 0.001). La mayor abundancia de los aislados fue registrada en el ejido de Villa Cuauhtémoc y en la Brecha de Corpus Christi con respecto a la abundancia observada en el ejido Miradores y Esteros, en este último sitio no se obtuvieron aislados de los hongos entomopatógenos (Figura 4).



**Figura 4. Análisis de la abundancia de los hongos entomopatógenos por tipo de localidad.**

Por otra parte, en el análisis estadístico realizado entre los tipos de géneros y ambientes mostró diferencia estadística significativa (Figura 5). En el caso del género *Beauveria* sp., la abundancia de este hongo fue diferente en los ambientes ( $P$ -vaule: 0.003). La mayor abundancia se recolecto en los huertos con árboles frutales y en las parcelas cultivadas con gramíneas y fabáceas. Lo anterior, con respecto a la abundancia del hongo observada en las áreas naturales y en las parcelas cultivadas con hortalizas.

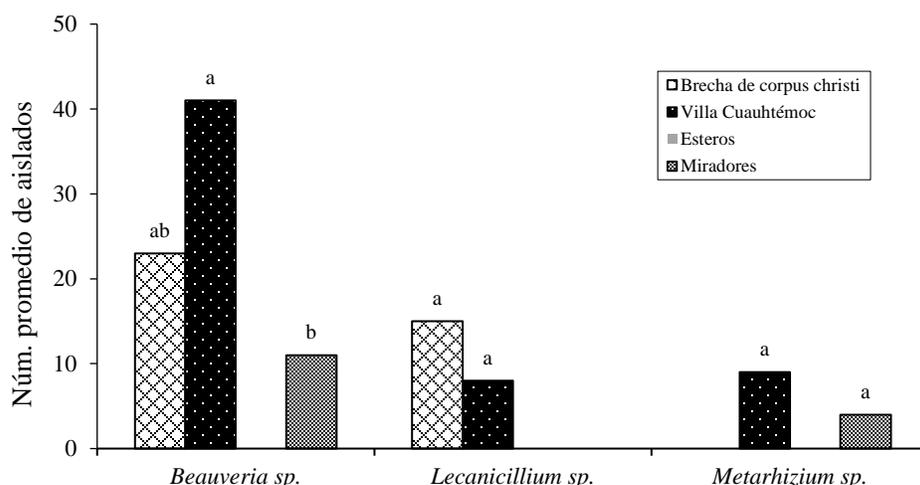


**Figura 5. Análisis de la abundancia de los hongos entomopatógenos por tipo de ambiente.**

Mientras que, *Lecanicillium* sp. estuvo distribuido en tres de los cuatro ambientes. Entre los ambientes, la abundancia del hongo fue diferente ( $P$ -vaule: 0.027). La mayor abundancia del hongo fue observada en los ambientes cultivados con gramíneas y fabáceas, seguido por la abundancia determinada en los huertos con árboles frutales y en las áreas naturales. De forma contraria, este género no fue recolectado en las parcelas cultivadas con hortalizas.

Por último, se observó diferencia estadística en el número de aislados del hongo *Metarhizium* sp., entre los ambientes. El género *Metarhizium* sp., solo fue recolectado en los huertos de árboles frutales.

Por otra parte, el análisis estadístico realizado entre la abundancia de los géneros y los tipos de localidad mostró diferencia estadística (Figura 6). Al respecto, *Beauveria* sp., estuvo distribuido en tres de las cuatro localidades muestreadas. En estas, la abundancia del hongo fue diferente ( $P$ -vaule: 0.002). La mayor abundancia de *Beauveria* sp., fue observada en el ejido Villa Cuauhtémoc seguida por la abundancia del hongo determinada en la Brecha de Corpus Christi y en el ejido Miradores. Mientras que, en el ejido Esteros el hongo no fue recolectado.



**Figura 6. Análisis de la abundancia de los hongos entomopatógenos por tipo de localidad.**

En el caso de *Lecanicillium* sp. este hongo estuvo distribuido en dos de las cuatro localidades. En las cuales, la abundancia del hongo fue diferente ( $P$ -vaule: 0.0001). La mayor abundancia del hongo fue observada en la Brecha de Corpus Christi. Lo anterior, con respecto a la abundancia del hongo en el ejido Villa Cuauhtémoc. En cambio, este no fue recolectado tanto en el ejido Miradores como en el ejido Estero.

De forma similar, *Metarhizium* sp. estuvo distribuido en dos de las cuatro localidades muestreadas. En estas, la abundancia del hongo fue diferente ( $P$ -vaule: 0.0001). La mayor abundancia fue observada en el ejido Villa Cuauhtémoc. Lo anterior, con respecto a la abundancia del hongo determinada en el ejido Miradores. Mientras que, en la Brecha de Corpus Christi y en el ejido Esteros el hongo no fue recolectado.

Los hongos entomopatógenos son aislados comúnmente del suelo (Jaronski, 2010). En el presente trabajo, se recolectó a los géneros *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., *Lecanicillium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp. e *Isaria* sp. De los cuales, *Beauveria* sp. fue el más abundante. En México, este hongo fue recolectado en mayor abundancia en Guanajuato y Coahuila (Sánchez-Peña *et al.*, 2011; Pérez-González *et al.*, 2014). Mientras que, a nivel mundial, se ha recolectado en mayor abundancia en la República Checa, Finlandia, Alemania, Japón, Italia, Polonia y España (Kleespies *et al.*, 1989; Tarasco *et al.*, 1997; Shimazu *et al.*, 2002; Landa *et al.*, 2002; Asensio *et al.*, 2003; Sapieha-Waszkiewicz *et al.*, 2003).

Por otro lado, *Metarhizium* sp., *Lecanicillium* sp., *Paecilomyces* sp. e *Isaria* sp., fueron menos abundantes. *Metarhizium* sp., se ha recolectado en menor abundancia en Coahuila y Guanajuato, México (Sánchez-Peña *et al.*, 2011; Pérez-González *et al.*, 2014). En contraste, en Canadá y EE. UU., Bidochka *et al.* (1998); Shapiro-Ilan *et al.* (2003) reportan una mayor abundancia de este hongo en diferentes ambientes. En el caso *Paecilomyces* sp., Sánchez-Peña *et al.* (2011) reporta la escasez de este género en Coahuila, México. Este mismo resultado se ha obtenido con *Lecanicillium* sp., *Paecilomyces* sp. e *Isaria* sp. en varias partes del mundo (Steenberg, 1995; Chandler *et al.*, 1997; Keller *et al.*, 2003; Tkaczuk, 2008). Por su parte, *Trichoderma* sp. es un hongo oportunista y anaeróbico presente en el suelo como saprófito o parásito de hongos fitopatógenos (Infante *et al.*, 2009).

De acuerdo con la distribución, los hongos entomopatógenos son reportados en bosques acuáticos, áreas agrícolas, pastos, desiertos y zonas urbanas (Sánchez-Peña, 1990; Lacey *et al.*, 1996; Chandler *et al.*, 1997). En el presente trabajo, seis géneros de hongos fueron recolectados en mayor abundancia en los huertos de árboles frutales y en las áreas cultivadas con gramíneas y fabáceas seguido por las áreas naturales y los cultivos de hortalizas. Al igual que estos resultados, Sánchez-Peña *et al.* (2011), reportaron mayor abundancia de los hongos entomopatógenos en el suelo con árboles de robles y arbustos que en suelos cultivados.

Este mismo resultado fue registrado en los bosques tropicales y templados de México y en todo el mundo (Evans y Samson, 1982; Sánchez-Peña, 1990; Wongsa *et al.*, 2005). Ali-Shtayeh *et al.* (2002); McCoy *et al.* (2007) reportan que los árboles albergan una diversidad de microorganismos, debido a que su copa proporciona sombra, mantiene la humedad y minimiza la entrada de los rayos UVB al suelo. En contraste, los cultivos tales como el sorgo liberan aleloquímicos que inhiben desarrollo de los organismos que viven en el suelo (Dayan *et al.*, 2010). Esto contrasta con los resultados de esta investigación, debido a que en las áreas cultivadas con gramíneas y fabáceas, posiblemente por el uso de los hongos entomopatógenos en el control de plagas y a la rotación de los cultivos de sorgo y soya.

Por otro lado, otro factor que incide en la presencia de los microorganismos en un ambiente es el uso de los productos químicos y el manejo agronómico del cultivo (Tkaczuk *et al.*, 2013). De acuerdo con varios autores, los hongos entomopatógenos son severamente afectados en los cultivos de hortalizas por la cantidad de agroquímicos aplicados (Klingen y Haukeland, 2006; Quesada-Moraga *et al.*, 2007; Jabbour y Barbercheck, 2009; Oliveira *et al.*, 2013). Resultado similar fue observado en el presente trabajo en las áreas cultivadas con hortalizas muestreadas.

En otro sentido, los hongos fueron recolectados en mayor abundancia en Villa Cuauhtémoc y en la Brecha de Corpus Christi seguido por Miradores. Mientras que, en Esteros no fueron recolectados. De acuerdo con Quesada-Moraga *et al.* (2007) y Vega *et al.* (2012), el microclima de la localidad, la variedad de cultivos, el tipo y el manejo de agronómico del suelo juegan un papel importante en la presencia y abundancia de los hongos en una localidad. En relación con la variedad de cultivos y manejo agronómico del suelo, el ejido Villa Cuauhtémoc y la Brecha de Corpus Christi son localidades con alta productividad de soya, sorgo, algodón, cártamo, maíz y hortalizas. Mientras que, Miradores y Esteros son localidades ejidales con escasa actividad agrícola.

En cuanto a la abundancia y distribución de los géneros de hongos recolectados, *Beauveria* sp., fue recolectado en los cuatros ambientes. La mayor abundancia de este hongo se presentó en los huertos con árboles frutales y en las zonas cultivadas con gramíneas y fabáceas. Asimismo, se determinó que *Beauveria* sp., estuvo distribuido en tres de las cuatro localidades muestreadas. La mayor abundancia de *Beauveria* sp., fue registrada en el ejido Villa Cuauhtémoc. En contraste, en el ejido Esteros el hongo no fue recolectado. Varios autores indican que *Beauveria* sp. es capaz de adaptarse a un amplio rango de ambientes y localidades en varias partes del mundo (Sevim *et al.*, 2010; Imoulan *et al.*, 2011; Pérez-González *et al.*, 2014).

Lo anterior, es atribuido al amplio rango de hospederos y al número de especies crípticas especializadas o adaptadas a hospedadores y entornos específicos de la zona de estudio (Pérez *et al.*, 2014). En otro sentido, la ausencia de este hongo en el ejido Esteros puede estar relacionada a las propiedades fisicoquímicas del suelo. Al respecto, Shimazu y Sato (2002); Quesada-Moraga *et al.* (2007); Karthikeyan *et al.* (2008); Medo *et al.* (2011) reportan que el pH del suelo afecta el desarrollo del género *Beauveria*. Aunado a lo anterior, también la falta de insectos hospederos por la baja actividad agrícola de la localidad afecta la presencia del hongo. Debido a que, *Beauveria* sp., requiere infectar frecuentemente a insectos para sobrevivir en un ambiente (Vänninen, 1996).

Con relación al género *Lecanicillium* sp., fue recolectado en mayor abundancia en las áreas cultivadas con gramíneas y fabáceas. Oliveira *et al.* (2013); Tkazuk *et al.* (2014) reportaron a este hongo en menor abundancia en áreas cultivadas en Polonia y Portugal. Mientras que, en China fue recolectado en mayor abundancia en los ambientes naturales (Sun y Liu, 2008). En el presente trabajo, *Lecanicillium* sp. no fue recolectado en el cultivo de hortalizas. Una de las principales causas podría ser el número de aplicaciones de plaguicidas. Sin embargo, se observó la presencia de este hongo en las localidades con mayor actividad agrícola (Brecha de Corpus Christi y Villa Cuauhtémoc). Al respecto, Wraight *et al.* (2000) menciona que esto puede ocurrir por el uso del hongo como bioinsecticida en el control de insectos plaga.

Mientras que, el género *Metarhizium* sp. solo fue recolectado en los huertos con árboles frutales en el ejido Villa Cuauhtémoc y Miradores. En varios estudios indican que *Metarhizium* sp. es encontrado en las zonas agrícolas debido a que es tolerante a los insecticidas (Vänninen, 1996; Bruck, 2004; Quesada-Moraga *et al.*, 2007). Sin embargo, en el presente trabajo no fue recolectado en el cultivo de hortalizas y ni en las zonas cultivadas con gramíneas y fabáceas. Recientemente, se ha reportado que algunas especies de los hongos *Hypocreales* pueden interactuar con las raíces de las plantas y sobrevivir en el suelo sin la presencia de insectos hospederos (Klingen *et al.*, 2015). Al respecto, Wyrebek *et al.* (2011), reportaron a dos especies del género *Metarhizium* sp. en la rizosfera de los árboles.

Mientras que, Fisher *et al.* (2011), determinaron la presencia de *M. brunneum* Petch en la rizosfera de los árboles de fresas y arándanos. Así como también, la presencia de *M. guizhouense* Kepler, SA Rehner & Humber y *M. robertsii* SA, Rehner & Humber en las raíces de las coníferas. En el presente trabajo, fue clara la presencia de este hongo en los huertos con árboles frutales. Al respecto, Bidochka *et al.* (2001) indica que *Metarhizium* sp., se adapta a la radiación UV y a las condiciones climáticas del ambiente. Esto le permite persistir y tener una mayor probabilidad de contacto con los insectos hospederos (Nishi *et al.*, 2017). Mientras que, Fisher (2011) menciona que las raíces de los arboles favorecen al desarrollo de *Metarhizium* sp. y Bruck (2010) indica que este género puede crecer entre las raíces utilizando carbono de la planta.

## Conclusiones

En conclusión, *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., *Lecanicillium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp. e *Isaria* sp., se encuentran en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas. De los cuales, el género *Beauveria* sp. presentó mayor abundancia y distribución. Mientras que, los otros géneros fueron recolectados en localidades y ambientes específicos. De acuerdo con este resultado, es posible que los géneros estén conformados por un complejo críptico de especies. Por lo anterior, es fundamental realizar otros estudios enfocados a la ecología, biología y taxonomía para tener un mejor entendimiento del papel que juega este grupo de patógenos en la regulación de las poblaciones de insectos plaga.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT y al Campo Experimental ‘Las Huastecas’ del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo otorgado para la realización del presente trabajo de investigación.

## Literatura citada

- Ali, S. M. S.; Mara, A. B. and Jamous, R. M. 2002. Distribution, occurrence and characterization of entomopathogenic fungi in agricultural soil in the Palestinian area. *Mycol. Appl.* 156(3):235-244.
- Asensio, L. T.; Carbonell, J. A.; López, J. and López, L. L.V. 2003. Entomopathogenic fungi in soils from Alicante province. *Span. J. Agric. Res.* 3(1):37-45.
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. 1999. Illustrated genera of imperfect fungi. APS Press, American Phytopathol. Soc. 4<sup>th</sup> (Ed.). St. Paul, MN. 218 p.
- Bidochka, M. J.; Kamp, A. M.; Lavender, T. M.; Dekoning, J. and De Croos, J. N. A. 2001. Habitat association in two genetic groups of the insect-pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*: uncovering cryptic species? *Appl. Environ. Microbiol.* 67(3):1335-1342.
- Bidochka, M. J.; Kasperski, J. E. and Wild, G. A. M. 1998. Occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in soils from temperate and near-northern habitats. *Canad. J. Bot.* 76(7):1198-1204.
- Bruck, D. J. 2004. Natural occurrence of entomopathogens in Pacific Northwest Nursery soils and their virulence to the Black Vine Weevil, *Otiorhynchus sulcatus* (F.) (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* 33(5):1335-1343.
- Bruck, D. J. 2010. Fungal entomopathogens in the rhizosphere. *Biol. Control.* 55(1):103-112.
- Chandler, D.; Hay, D. and Reid, A. P. 1997. Sampling and occurrence of entomopathogenic fungi and nematodes in UK soils. *Appl. Soil Ecol.* 5(2):133-141.
- Dayan, F. E.; Rimando, A. M.; Zhiqiang, P.; Baerson, S. R.; Gimsing, A. L. and Duke, S. O. 2010. Sorgoleone. *Phytochem.* 71(10):1032-1039.
- Evans, H. C. and Samson, R. A. 1982. Cordyceps species and their anamorphs pathogenic on ants (Formicidae) in tropical forest ecosystems. I. The *Cephalotes* (*Myrmicinae*) complex. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 79(3):431-453.
- Fisher, J. J.; Rehner, S. A. and Bruck, D. J. 2011. Diversity of rhizosphere associated entomopathogenic fungi of perennial herbs, shrubs and coniferous trees. *J. Invertebr. Pathol.* 106(2):289-295.

- Humber, R. A. 2012. Identification of entomopathogenic fungi. *In*: Lacey, L. A. (Ed.). Manual of techniques in insect pathology. Academic Press, Inc. 2<sup>nd</sup> Ed. California, USA. 151-187 p.
- Imoulan, A.; Alaoui, A and El Meziane, A. 2011. Natural occurrence of soil-borne entomopathogenic fungi in the Moroccan Endemic forest of *Argania spinosa* and their pathogenicity to *Ceratitis capitata*. World J. Microbiol. Biotechnol. 27(11):2619-2628.
- INEGI. 2018. Encuesta nacional de Agropecuaria 2018. México, DF. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>.
- Infante, D.; Martínez, B.; González, N. and Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos Fitopatógenos. Rev. de Protección Veg. 24(1):14-21.
- Infante, G. S. y Zárate, L. 2003. Métodos Estadísticos. Un enfoque multidisciplinario. 2a (Ed.). Trillas. México, DF. 643 p.
- Jabbour, R. and Barbercheck, M. E. 2009. Soil management effects on entomopathogenic fungi during the transition to organic agriculture in a feed grain rotation. Biol. Control. 51(3):435-443.
- Jaronski, S. T. 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. Biol. Control. 55(1):159-185.
- Karthikeyan, A.; Shanthi, V. and Nagasathya, A. 2008. Effect of different media and pH on the growth of *Beauveria bassiana* and its parasitism on leaf eating caterpillars. Res. J. Agric. Biol. Sci. 4(2):117-119.
- Keller, S.; Kessler, P. and Schweizer, C. 2003. Distribution of insect pathogenic soil fungi in Switzerland with special reference to *Beauveria brongniartii* and *Metarhizium anisopliae*. Biol. Control. 48(3):307-319.
- Kleespies, R.; Bathon, H. and Zimmermann, G. 1989. Untersuchungen zum natürlichen vorkommen von entomopathogenen pilzen und nematoden in verschiedenen Böden in der umgebung von darmstadt. Gesunde Pflanzen. 41(10):350-355.
- Klingen, I. and Haukeland, S. 2006. The soil as a reservoir for natural enemies of pest insects and mites with emphasis on fungi and nematodes. *In*: Eilenberg, J. and Hokkanen, H. M. T. (Ed.). An ecological and societal approach to biological control. Springer, Dordrecht. The Netherlands. 145-212 p.
- Klingen, I.; Eilenberg, J. and Meadow, R. 2002. Effects of farming system, field margins and bait insect on the occurrence of insect pathogenic fungi in soils. Agric. Ecosyst. Environ. 91(1):191-198.
- Klingen, I.; Westrum, K. and Meyling, N. V. 2015. Effect of norwegian entomopathogenic fungal isolates against *Otiorynchus sulcatus* larvae at low temperatures and persistence in strawberry rhizospheres. Biol. Control. 81:1-7.
- Lacey, L. A.; Fransen, J. J. and Carruthers, R. 1996. Global distribution of naturally occurring fungi of Bemisia, their biologies and use as biological control agents. *In*: Gerling, D. and Mayer, R. editors. Bemisia: 1995. Taxonomy, biology, damage, control and management. Andover: Intercept. 401-433 pp.
- Landa, Z.; Hornak, P.; Charvatova, H. and Osborne, L. S. 2002. Distribution, occurrence and potential use of entomopathogenic fungi in arable soils in Czech Republic. ISTRO-Conference, Brno, Session. 2:195-201.
- Lezama-Gutiérrez, R. and Hamm, J. J. 2001. Occurrence of entomopathogens of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Mexican states of Michoacán, Colima, Jalisco and Tamaulipas. Fla. Entomol. 84(1):23-30.

- McCoy, C. W.; Stuart, R. J.; Duncan, L. W. and Shapiro-Ilan, D. 2007. Application and evaluation of entomopathogens for the control of citrus pests. *In*: Lacey, L. A.; Kaya, H. K. (Ed.). Field manual of techniques in invertebrate pathology. Springer. The Netherlands. 567-581 p.
- Medo, J. and Cagaň, L. 2011. Factors affecting the occurrence of entomopathogenic fungi in soils of Slovakia as revealed using two methods. *Biol. Control*. 59(2):200-208.
- Meyling, N. V. and Eilenberg, J. 2006b. Occurrence and distribution of soil borne entomopathogenic fungi within a single organic agroecosystem. *Agric. Ecosyst. Environ*. 113(1):336-341.
- Meyling, N. V. and Eilenberg, J. 2007. Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: potential for conservation biological control. *Biol. Control*. 43(2):145-155.
- Meyling, N. V.; Lübeck, M.; Buckley, E. P.; Eilenberg, J. and Rehner, S. A. 2009. Community composition, host range and genetic structure of the fungal entomopathogen *Beauveria* in adjoining agricultural and seminatural habitats. *Mol. Ecol*. 18(6):1282-1293.
- Meyling, N. V.; Thorup-Kristensen, K. and Eilenberg, J. 2011. Below- and aboveground abundance and distribution of fungal entomopathogens in experimental conventional and organic cropping systems. *Biol. Control*. 59(2):180-186.
- Nishi, O.; Iiyama, K.; Yasunaga-Aoki, C. and Shimizu, S. 2017. Species associations and distributions of soil entomopathogenic fungi *Metarhizium* spp. In Japan. *Mycology*. 8(4):308-317.
- Oliveira, I.; Pereira, J. A.; Quesada-Moraga, E.; Lino-Neto, T.; Bento, A. and Baptista, P. 2013. Effect of soil tillage on natural occurrence of fungal entomopathogens associated to *Prays oleae* Bern. *Sci. Hortic*. 159(11):190-196.
- Onofre, S. B.; Miniuk, C. M.; de Barros, N. M. and Azevedo, J. L. 2001. Pathogenicity of four strains of entomopathogenic fungi against the bovine tick *Boophilus microplus*. *Am. J. Vet. Res*. 62(9):1478-1480.
- Ornmond, E. L.; Thomas, A. P. M.; Pugh, P. J. A.; Pell, J. and Roy, H. E. 2010. A fungal pathogen in time and space: the population dynamics of *Beauveria bassiana* in a conifer forest. *FEMS Microbiol. Ecol*. 74(1):146-154.
- Pérez-González, V. H.; Guzmán-Franco, A. W.; Alatorre-Rosas, R.; Hernández-López, J.; Hernández-López A.; Carillo-Benítez, M. G. and Baverstok, J. 2014. Specific diversity of the entomopathogenic fungi *Beauveria* and *Metarhizium* in Mexican agricultural soils. *J. Invertebr. Pathol*. 119(5):54-61.
- Quesada-Moraga, E.; Navas-Cortés, J. A.; Maranhao, E. A. A.; Ortiz-Urquiza, A. and Santiago-Álvarez, C. 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Res*. 111(8):947-966.
- Rendón, S. G. 1994. Muestreo. Aplicación en la estimación simultanea de varios parámetros. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 246 p.
- Sánchez-Peña, S. R. 1990. Some insect- and spider-pathogenic fungi from Mexico with data on their host range. *Fla. Entomol*. 73(3):517-522.
- Sánchez-Peña, S. R.; San-Juan, J. L. and Raúl, M. 2011. Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in Saltillo, México, and their virulence Towards Thrips and Whiteflies. *J. Insect Sci*. 11(1):1-14.
- Sapieha-Waszkiewicz, A.; Mietkiewski, R. and Marjanska-Cichon, B. 2003. Occurrence of entomopathogenic fungi in soil from apple and plum orchards. *IOBC/wprs Bulletin*. 26(1):113-116.
- SAS, Institute. 2012. SAS Software for Microsoft Windows Version 9.2. Cary, NC.

- Sevim, A.; Demir, M.; Höfte, I.; Humber, R. A. and Demirbag, Z. 2010. Isolation and characterization of entomopathogenic fungi from hazelnut-growing region of Turkey. *Biol. Control*. 55(2):279-297.
- Shapiro-Ilan, D. I.; Gardner, W. A.; Fuxa, J. R.; Wood, B. W.; Nguyen, K. B.; Adams, B.; Humber, R. A. and Hall, M. J. 2003. Survey of entomopathogenic nematodes and fungi endemic to pecan orchards of the Southeastern United States and their virulence to the pecan weevil (*Coleoptera: Curculionidae*). *Environ. Entomol.* 32(1):187-195.
- Shimazu, M.; Sato, H. and Maehara, N. 2002. Density of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* Vuillemin (*Deuteromycotina: Hyphomycetes*) in forest air and soil. *Appl. Entomol. Zool.* 37(1):19-26.
- Steenberg, T.; Langer, V. and Esbjerg, P. 1995. Entomopathogenic fungi in predatory beetles (*Col.: Carabidae and Staphylinidae*) from agricultural fields. *Entomophaga*. 40(1):77-85
- Sun, B. D. and Liu, X. Z. 2008. Occurrence and diversity of insect-associated fungi in natural soils in China. *Appl. Soil Ecol.* 39(1):100-108.
- Tarasco, E.; De Bievre, C.; Papierok, B.; Polisenio, M. and Triggiani, O. 1997. Occurrence of entomopathogenic fungi in soils in Southern Italy. *Entomologica (Bari)*. 31(1):157-166.
- Tkaczuk, C. 2008. Występowanie i potencjał infekcyjny grzybów owadobójczych w glebach agrocenoz i środowisk seminaturalnych w krajobrazie rolniczym. *Numero 94 (Ed.)*. Rozprawa Naukowa-Akademii Podlaskie. 160 p.
- Tkaczuk, C.; Król, A.; Majchrowska-Safaryan, A. and Nicewicz, Ł. 2014. The occurrence of entomopathogenic fungi in soils from fields cultivated in a conventional and organic system. *J. Ecol. Eng.* 15(4):137-144.
- Tkaczuk, C.; Majchrowska-Safaryan, A. and Mietkiewski, R. 2013 Wpływ wybranych fungicydów oraz wyciągów glebowych na wzrost owadobójczego grzyba *Metarhizium anisopliae*. *Prog. Plant Prot.* 53(4):751-756.
- Toledo, A.; De Remes, L. A. and López-Lastra, C. 2008. Host range findings on *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (*Ascomycota: Hypocreales*) in Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 43(3):211-220.
- Vanninen, I. 1996. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: effect of geographical location, habitat Types and soil type. *Mycol Res.* 100(1):93-101.
- Vega, F. E.; Meyling, N. V.; Luangsa-ard, J. J. and Blackwell, M. 2012. Fungal entomopathogens. *In: Vega, F. E. and Kaya, H. K. (Ed.)*. *Insect Pathol.* 2(1):171-220.
- Wongsa, P.; Tasanatai, K.; Watts, P. and Hywel-Jones, N. 2005. Isolation and in vitro cultivation of the insect pathogenic fungus *Cordyceps unilateralis*. *Mycol. Res.* 109(8):936-940.
- Wraight, S. P.; Carruthers, R. I.; Jaronski, S. T.; Bradley, C. A.; Garza, C. J. and Galaini-Wraight, S. 2000. Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* for microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *Biol. Control*. 17(3):203-217.
- Wyrebek, M.; Huber, C.; Sasan, R. K. and Bidochka, M. J. 2011. Three sympatrically occurring species of *Metarhizium* show plant rhizosphere specificity. *Microbiology*. 157(10):2904-2911.
- Zimmermann, G. 2008. The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. *Biocontrol Sci. Technol.* 18(9):865-901.