

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Control biológico del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) (Zehntner) con cuatro formulaciones comerciales de hongos entomopatógenos en condiciones de invernadero.**

**POR:**

**KENY ZENAIDA ORELLANA MARTÍNEZ**

**CUIDAD UNIVERSITARIA, 25 DE OCTUBRE DE 2017**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL



**Control biológico del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) (Zehntner) con cuatro formulaciones comerciales de hongos entomopatógenos en condiciones de invernadero.**

POR:

KENY ZENaida ORELLANA MÁRTINEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMO

CUIDAD UNIVERSITARIA, 25 OCTUBRE DE 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

LIC. M. SC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. AGR. M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO:**

ING. AGR. M. SC. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL**

---

ING. AGR. M. SC. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES

**DOCENTE DIRECTOR**

---

ING. AGR. M. SC. MIGUEL RAFAEL PANIAGUA CIENFUEGOS

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

ING. AGR. RICARDO ERNESTO GÓMEZ ORELLANA

## RESUMEN.

La investigación se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, durante los meses de septiembre a diciembre del año 2016. Se evaluó la mortalidad ocasionada por cuatro formulados comerciales de hongos entomopatógenos, (*Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii*) a cuatro concentraciones diferentes sobre el Pulgón Amarillo del Sorgo (*Melanaphis sacchari*). Se realizaron cuatro bioensayos, con 16 tratamientos cada uno, más los testigos, con un total de 20 unidades experimentales por repetición (se tomó como unidad experimental una planta con un número entre los 20 y 100 afidos), dos bioensayos llevados hasta las 96 horas y dos a las 48 horas después de la aplicación del hongo entomopatógeno. Los bioensayos se llevaron a cabo en condiciones de invernadero, tomándose datos a las cero horas y luego cada 24 horas después de la inoculación del hongo entomopatógeno. Las observaciones se llevaron a cabo al estéreoscopio y se evaluó el efecto en la mortalidad, tiempo letal 50 (TL50), concentración letal 50 (CL50).

La especie de hongos entomopatógeno utilizado tuvo una influencia en la mortalidad de los pulgones ( $\chi^2_3 = 50.889$ ,  $P = 5.17 \times 10^{-11}$ ). Las mayores mortalidades fueron logradas por *B. bassiana* y *M. anisopliae* (97% y 84% respectivamente, a la concentración más alta) los cuales se mantuvieron constantes en el tiempo, su CL50 estuvo entre las tres menores (CL50  $3.22 \times 10^5$  y  $1.11 \times 10^5$  respectivamente). Sin embargo, el hongo que presentó la CL50 menor fue *L. lecanii* ( $9.45 \times 10^2$ ) a las 48 horas después de la aplicación. Se determinó que, a mayor concentración de conidios, mayor el efecto de mortalidad en *M. sacchari* ( $\chi^2_9 = 193.9291$ ,  $P > 0.001$ ), y todos los hongos tenían un efecto de aumentar los niveles de mortalidad de las 24 a las 48 horas después de la aplicación ( $\chi^2_1 = 250.5424$ ,  $P > 0.001$ ). Existiendo también fuertes efectos en la interacción entre la especie del entomopatógeno, la concentración de conidios y los días después de aplicación ( $\chi^2_9 = 50.677$ ,  $P = 8.03 \times 10^{-8}$ ).

Resultando que el uso de hongos entomopatógenos es una alternativa viable, para el manejo del Pulgón amarillo del Sorgo (*Melanaphis sacchari*), siempre y cuando se tome en cuenta la calidad del producto, las condiciones ambientales donde se va a aplicar, y la calidad de la aplicación.

**Palabras claves:** *Melanaphis sacchari*, *Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii*, Concentración Letal 50

## SUMMARY

The research was carried out in the greenhouse of the Department of Plant Protection of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador during the months of September and December of 2016. The mortality caused by four commercial formulations of entomopathogenic fungi, (*Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii*) to four different species on the Yellow Sorghum Aphid (*Melanaphis sacchari*). Four bioassays were performed, with 16 treatments each, plus the controls, with a total of 20 experimental units per repetition (a plant with a number between 20 and 100 aphids was taken as experimental unit), two bioassays carried out up to 96 hours and two at 48 hours after application of the entomopathogenic fungus.

The bioassays were carried out under greenhouse conditions, taking data at zero hours and then every 24 hours after inoculation of the entomopathogenic fungus. Observations were carried out on the stereoscope and the effect on mortality, lethal time 50 (TL50), lethal concentration 50 (LC50) was evaluated.

The species of entomopathogenic fungi used had an influence on the mortality of the aphids ( $\chi^2_3 = 50.889$ ,  $P = 5.17 \times 10^{-11}$ ). The highest mortalities were achieved by *B. bassiana* and *M. anisopliae* (97% and 84%, respectively, at the highest concentration) which remained constant over time, their LC50 was among the lowest (LC50  $3.22 \times 10^5$  and  $1.11 \times 10^5$  respectively). However, the fungus that presented the lowest LC50 was *L. lecanii* ( $9.45 \times 10^2$ ) at 48 hours after application. It was determined that the higher the conidia concentration, the greater the effect of mortality on *M. sacchari* ( $\chi^2_9 = 193.9291$ ,  $P > 0.001$ ), and all fungi had an effect of increasing mortality levels from 24 to 48 hours after application ( $\chi^2_1 = 250.5424$ ,  $P > 0.001$ ). There are also strong effects on the interaction between the species of the entomopathogen, the conidia concentration and the days after application ( $\chi^2_9 = 50.677$ ,  $P = 8.03 \times 10^{-8}$ ).

As a result, the use of entomopathogenic fungi is a viable alternative for the management of the Yellow Sorghum Aphid (*Melanaphis sacchari*), as long as the quality of the product, the environmental conditions where it is to be applied and the quality of the product are taken into account. the application.

## Keywords

*Melanaphis sacchari*, *Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii*, Lethal Concentration 50.

## Agradecimientos

A Dios que me dió la fuerza, la vida y la oportunidad de culminar la carrera, y por su ayuda durante el desarrollo de la investigación, guiando mis pasos en todo momento, “Encomienda a Jehová tu camino confía en Él y Él hará”. Salmos 37:5.

A mi papi José María Orellana Interiano y mi mami Ana Isabel Martínez de Orellana, por su esfuerzo, paciencia, lucha por sacarme adelante en mi formación académica y su incondicional apoyo.

A mi asesor Ing. Agr. M. Sc. Miguel Paniagua Cienfuegos por su orientación, persistencia, paciencia y motivación, inculcando disciplina, responsabilidad y rigor. Transmitiendo de sus diversos conocimientos, siendo guía y mi mano derecha en la investigación.

A mis tías Consuelo Orellana y Lilian Martínez que con sus palabras dieron ánimos a seguir luchando hasta alcanzar mi sueño, a mis hermanos y demás familia en general por su apoyo.

A mi amigo Moisés López por su apoyo en la investigación, mis amigos Héctor Inestroza, Remberto Rivera, María José Nieto, Georgina Rosales, Fátima Alas, Nelson Rodríguez, Edson Morán, que estuvieron presentes durante la carrera compartiendo su conocimiento, alegrías y tristezas, así también a los que estuvieron presentes y brindaron su apoyo durante el desarrollo de mi carrera.

A todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Agronómicas, por su colaboración en mi formación académica.

## Dedicatoria

A mi Dios, por su amor infinito. A Él sea toda la Gloria y la Honra.

A mis padres por su amor, trabajo, apoyo y sacrificios en todos estos años, jamás dándose por vencidos, brindándome apoyo y consejos para hacer de mí una mejor persona, siendo mi inspiración para seguir adelante.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	vii
----------------------	-----

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	DESCRIPCIÓN.....	3
2.1.1	Especie invasiva.....	3
2.1.2	Daño ocasionado.....	4
2.1.3	Bio-ecología de <i>Melanaphis sacchari</i> .....	5
2.1.4	Recomendaciones de manejo.....	7
2.1.5	Prácticas alternativas de manejo.....	8
2.2	CONTROL BIOLÓGICO.....	8
2.2.1	Depredadores.....	9
2.2.2	Parasitoides.....	9
2.2.3	Entomopatógenos.....	10
2.2.4	Implementación de control biológico.....	10
2.3	HONGOS ENTOMOPATÓGENOS.....	11
2.3.1	Modo de acción de los Hongos Entomopatógenos.....	12
2.3.2	Adhesión y germinación de la espora en la cutícula del insecto.....	12
2.3.3	Penetración dentro del hemocele.....	13
2.3.4	Desarrollo del hongo.....	13
2.3.5	Comportamiento y dispersión.....	14
2.3.6	Síntomas.....	15
2.3.7	Epizootia.....	15
2.3.8	<i>Beauveria bassiana</i> .....	15
2.3.9	<i>Metarhizium anisopliae</i> .....	16
2.3.10	<i>Lecanicillium lecanii</i> .....	16
2.3.11	<i>Beauveria brongniartii</i> .....	17
2.3.12	Interacción de hospederos.....	17
2.3.13	Ejemplos de estudios con Hongos entomopatógenos en insectos.....	17
2.3.14	Ventajas y desventajas de su uso.....	18
3	METODOLOGÍA.....	19
3.1	UBICACIÓN.....	19
3.2	ESTABLECIMIENTO DE LA CRÍA DE <i>Melanaphis sacchari</i> .....	19
3.3	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	20
3.3.1	Unidad Experimental.....	20

3.3.2	Tratamientos y repeticiones .....	21
3.3.3	Bioensayo .....	22
3.3.4	Montaje del experimento .....	24
3.4	ANÁLISIS DE DATOS .....	24
3.4.1	Determinación de CL50 y TL50.....	24
3.4.2	Evaluación de aislamientos de Hongos entomopatógenos .....	24
3.5	METODOLOGÍA ECONÓMICA.....	25
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	26
4.1	RESULTADOS.....	26
4.1.1	Concentración Letal 50 y 90.....	26
4.1.2	Análisis de Devianza .....	26
4.1.3	Interacción hongo x concentración x días de aplicación. ....	27
4.1.4	Análisis económico.....	30
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.2.1	Concentración Letal 50 y 90 (CL <sub>50</sub> y CL <sub>90</sub> ).....	31
4.2.2	Hongos entomopatógenos. ....	32
4.2.3	Interacción hongo, concentración y tiempo. ....	32
4.2.4	Análisis económico.....	34
4.2.5	Aspecto Ambiental y de Salud. ....	36
5	CONCLUSIONES.....	37
6	RECOMENDACIONES .....	38
7	BIBLIOGRAFÍA.....	39
8	ANEXOS.....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Ingredientes activos y sus descripciones basados en las recomendaciones de SAGARPA para el año 2015. ....	8
Cuadro 2: Diagrama de los diferentes tratamientos con respecto a los hongos y concentraciones a utilizados y tomando en cuenta el tiempo de la toma de datos.....	22
Cuadro 3 diferentes concentraciones del ensayo y los hongos. ....	23
Cuadro 4 : Ubicación de los tratamientos en base a cada una de las repeticiones. ....	24
Cuadro 5: Evaluación económica de los tratamientos.....	25
Cuadro 6: Concentración Letal 50 (CL <sub>50</sub> ) y Concentración Letal 90 (CL <sub>90</sub> ) a las 24 y 48 horas de las diferentes especies de entomopatógenos evaluados.....	26
Cuadro 7: Análisis de devianza.....	27
Cuadro 8: Mejores tratamientos según prueba de Tukey, en la evaluación de los entomopatógenos sobre <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner), a las 48 horas. ....	30
Cuadro 9: Análisis de costo efectividad de los entomopatógenos y concentraciones que causaron más mortalidad en <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner). ....	31
Cuadro 10: Comparación de costos de agroquímicos recomendados por CENTA versus entomopatógenos evaluado en sus combinaciones más efectivas. ....	35
Cuadro 11: Costo de la utilización de hongos entomopatógenos por manzana de las combinaciones más eficientes, en el ensayo.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner). ....	3
Figura 2: Modo de acción de hongos entomopatógenos .....	12
Figura 3: Invernadero del Departamento de Protección Vegetal, ubicado en el Vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas.....	19
Figura 4 : pie de cría de <i>Melanaphis sacchari</i> en el invernadero del Departamento de Protección Vegetal.....	20
Figura 5: Plantas previo a inoculación de los áfidos, en cada una de las plantas .....	20
Figura 6: tratamientos en evaluación, plantas de sorgo, en jaulas individuales. ....	21
Figura 7: uno de los bioensayos realizados, con sus diferentes tratamientos.....	22
Figura 8: estereoscopio utilizado para la toma de datos y áfido observado .....	22
Figura 9: Especie de hongo entomopatógeno y su efecto en la mortalidad del áfido <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner) tomando en cuenta el tiempo después de aplicación. ....	27
Figura 10: Interacción especie de hongo entomopatógeno y concentración de conidios, en el efecto ocasionado sobre el áfido <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner). ....	28
Figura 11: Efecto en la mortalidad de la interacción de las diferentes especies de hongos entomopatógenos, concentración de conidios y días después de aplicación, evaluados sobre el áfido <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner).....	29

## INDICE DE ANEXOS

## FIGURAS

Figura A 1: Certificado de composición de <i>Beauveria bassiana</i> .....	42
Figura A 2: Certificado de composición de <i>Beauveria brongniartii</i> .....	43
Figura A 3: Certificado de composición de <i>Lecanicillium lecanii</i> .....	44
Figura A 4: Certificado de composición de <i>Metarhizium anisopliae</i> .....	45
Figura A 5: Brochure de recomendaciones de entidades en nuestro país. ....	47
Figura A 6 : Continuación de brochure de recomendación para el control del Pulgón Amarillo del Sorgo. ....	48

## CUADROS

Cuadro A 1: Prueba de Tukey.....	46
----------------------------------	----

## 1 INTRODUCCIÓN.

El desarrollo del control biológico, se define como una práctica agrícola que busca la destrucción total o parcial de patógenos e insectos plaga, malezas y vertebrados frecuentemente mediante el uso de sus enemigos naturales o el uso de organismos entomopatógenos (Téllez Jurado *et al.* 2007). El uso de estos hongos entomopatógenos contra los insectos fue sugerido desde hace muchos años, cuando en 1879 se consideró *Metarhizium anisopliae* y en 1888 *Isaria destructor* para el control del picudo de la remolacha *Cleonus punctiventris*. Los ataques de los hongos entomopatógenos ocurren frecuentemente en la naturaleza y a menudo causan reducciones significativas en poblaciones de insectos incluyendo aquellas consideradas plagas (Carballo *et al.* 2004).

*Melanaphis sacchari* es un áfido considerado plaga, originario de África y del Medio Oriente, donde se ha registrado la reducción en el rendimiento del cultivo. En Sudáfrica, las poblaciones de áfidos donde no se realiza control ocasionan pérdidas de hasta 77% en rendimiento de grano. En Estados Unidos está presente en estados como Florida, Hawái, Louisiana y Texas, actualmente se encuentra en México (SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) 2014). Por su parte en El Salvador se registró en los departamentos de Ahuachapán, Sonsonate, Santa Ana, Chalatenango y Cabañas afectando un 30% de la producción de sorgo (CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) 2016).

*Melanaphis sacchari* (Zehntner) puede causar graves daños, ya que se alimentan de la savia de su hospedero. El daño se debe a que succiona la savia de las hojas, ocasionando una coloración marrón; las plantas atacadas presentan un retraso en su crecimiento y reducen el llenado y formación de grano, afectando el rendimiento. Cuando se presentan grandes colonias de áfidos, las plantas se debilitan y se inhibe su crecimiento. Como daño indirecto, sobre la mielecilla producida por el áfido se da el crecimiento de fumagina (*Capnodium spp.*), lo cual afecta la capacidad fotosintética de la planta (Reyes 2015, SENASICA 2014).

En El Salvador, el sorgo ha sido principal fuente de alimentación de especies menores, mientras que los rastrojos de este cultivo se han utilizado para alimentar al ganado bovino especialmente durante la época seca. En ganaderías de subsistencia y en otras explotaciones lecheras más tecnificadas emplean los forrajes conservados como silo o

heno para suplir las necesidades alimenticias durante la época seca que es la más crítica para la alimentación (Zeledón *et al.* 2011).

En la presente investigación se evaluaron cuatro formulados de hongos entomopatógenos comerciales (*Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii*), para los cuales se determinó la mortalidad originada sobre Pulgón amarillo del sorgo en condiciones de invernadero, con la finalidad de determinar la especie y concentración de conidios que presentó mayor mortalidad, así como la relación de costo-efectividad de los tratamientos.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DESCRIPCIÓN

Clasificación taxonómica

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Familia: Aphididae

Género: *Melanaphis*

Especie: *sacchari*.

Nombre común: Pulgón amarillo del sorgo.

(SENASICA 2014).



**Figura 1: *Melanaphis sacchari* (Zehntner).**

*Melanaphis sacchari* (Figura 1) es originario de África y Oriente Medio, actualmente se distribuye en varios países de Asia, Australia, el Caribe, Centro y Sudamérica. En el año 2013 el pulgón amarillo del sorgo se reportó en México, E.U.A. en los estados de Texas, Lousiana y Mississippi, causando pérdidas importantes en el cultivo de sorgo. Presenta una reproducción asexual y durante su ciclo biológico pasa por cuatro estadios ninfales, los cuales se desarrollan en aproximadamente 5.4 días a 25°C (SENASICA 2014). Los adultos pueden ser alados o ápteros. La invasión en las plantas inicia en el envés de las hojas formando colonias, que al alimentarse de la savia secretan mielecillas, donde a su vez puede crecer el hongo *Capnodium* spp. que ocasiona la “fumagina”. Si existen condiciones propicias de humedad y temperatura, sus poblaciones presentan crecimiento exponencial logrando invadir tallos y panojas. Según algunas estimaciones las pérdidas por daño de *M. sacchari* pueden fluctuar entre el 30% al 100% de la cosecha (SAGARPA *et al.* 2015).

Los hospedantes principales del pulgón amarillo son: sorgo, avena, caña de azúcar, trigo y cebada; como secundarios el arroz, maíz y algunos pastos (SENASICA 2014). *M. sacchari* es considerada una especie invasiva de reciente introducción en la región.

#### 2.1.1 Especie invasiva

Se denomina invasiva a las especies no nativas que se establecen en lugares donde no han evolucionado y que están separadas físicamente de su área de origen por una

barrera geográfica, la mayoría de las especies invasoras no son dañinas, pero otras son altamente dañinas, ya sea a los intereses económicos o a los ecosistemas naturales. Las especies invasoras pueden destruir cultivos, matar diversas especies en un área grande (Van Driesche *et al.* 2007).

### 2.1.2 Daño ocasionado

En El Salvador se cultivan 116,000 manzanas de sorgo que en conjunto representan una producción de 3,061,042 quintales y rendimiento de 26.2 qq/mz, El estado salvadoreño asegura identificar *M. sacchari* en cinco departamentos del país, Chalatenango, Ahuachapan, Sonsonate, Cabañas, Santa Ana, esto en el mes diciembre del 2015 (Linares 2016). Se estima que del área total sembrada el 79% corresponde a sorgos de ladera con pendientes del 15% (Hernández y Férman 2016).

El sorgo en algunas regiones del mundo está sustituyendo al cultivo de maíz, por su resistencia a enfermedades virosas, fungosas y poca demanda de agua, se considera una alternativa de subsistencia. Después del maíz blanco es el segundo grano en volumen producido en El Salvador, siendo la cosecha de apoyo para los productores mientras se llega el tiempo de cosecha de maíz (Zeledón *et al.* 2011). Además, es una fuente generadora de recursos para los productores y las pérdidas ocasionadas por la muerte de la planta oscilan en un 30%, hablando de unos 900,000 quintales en pérdidas para el año 2015. Sin embargo algunas gremiales de productores reportan pérdidas superiores, lo que pone en riesgo la producción (Linares 2016).

El pulgón amarillo del sorgo es de gran importancia económica en el cultivo de sorgo debido a su capacidad destructiva ocasionando grandes pérdidas en el cultivo, encontrándose hasta 30 mil insectos en una sola planta, lo cual genera un daño indirecto a través del hongo *Capnodium spp* que disminuye la capacidad fotosintética de la planta (CENTA 2016) y la reducción de la calidad del producto y pérdida de rendimiento a la cosecha (SENASICA 2014).

El daño ocasionado por *M. sacchari* en el cultivo de sorgo, depende de un gran número de factores entre los que se incluyen la densidad de población y la duración de la infestación. El sorgo puede ser infestado por esta plaga tan pronto como emerge la plántula, pero las más altas infestaciones se presentan durante las últimas etapas de crecimiento y en períodos secos. *M. sacchari* infesta el envés de las hojas, secretando sustancias azucaradas sobre la superficie de la hoja.

Los áfidos reconocen las plantas hospederas por una serie de procesos sensoriales: reconocimiento visual, reconocimiento mecánico, reconocimiento olfativo y gustativo (que en el primer lugar es superficial y, si este es positivo pasa a explorar en profundidad a los vasos del floema.) (Nicholls y Altieri 2004). Los áfidos se alimentan introduciendo su estilete, agudo y hueco entre los tejidos de las plantas, succionando la savia. Durante el proceso de alimentación, inyecta una saliva toxica que en conjunto con la extracción de nutrientes y la alteración del balance hormonal resulta en la marchitez de las yemas, rizado de las hojas y aparición de manchas de distintos colores en el follaje. Cuando se presentan un número considerable, las plantas se pueden marchitar gradualmente y se tomar coloraciones amarillentas o marrones y en casos extremos ocasionar la muerte (Audersirk et al. 2003, CATIE 1987).

### **2.1.3 Bio-ecología de *Melanaphis sacchari***

#### **2.1.3.1 Ciclo de vida**

Los pulgones presentan un ciclo de vida corto (dos a tres semanas) con múltiples generaciones por año. Tienen hábitos gregarios, es decir se agrupan en colonias abundantes. Las ninfas pasan por cuatro instares, el ultimo presenta parches marrones distribuidos aleatoriamente sobre el tergo abdominal. Los adultos de color amarillo grisáceo algunas veces marrón, con una longitud de 14 mm (SENASICA 2014).

#### **2.1.3.2 Alimentación**

Los áfidos son insectos que se alimentan del líquido contenido en los tubos cribosos del floema. El áfido inserta el estilete, un tubo aguzado y hueco a través de la epidermis y corteza de un tallo joven hasta el tubo criboso (Audersirk et al. 2003). La penetración del estilete se hace generalmente a través de los espacios intercelulares y para el caso de los áfidos puede demorarse hasta media hora antes de que alcancen el floema (CATIE 1987). Posteriormente mediante la secreción salivar, la cual se secreta a través del canal de saliva se coagula dentro del tejido de la planta formando una vaina alrededor del estilete. La alimentación se lleva a cabo en los vasos del floema por donde fluye la savia elaborada, estos insectos pueden succionar el alimento activamente. Los órganos bucales están unidos al intestino mediante el esófago y en esta zona se encuentra el órgano de bombeo.

### **2.1.3.3 Reproducción.**

El ciclo de vida tiene una duración promedio que va de 15 a 28 días. Los adultos ápteros tienen una longevidad de 11.7 días promedio y la forma alada tiene una longevidad promedio de 7.5 días (SENASICA 2014). Cada hembra tiene el potencial reproductivo de aproximadamente 96 ninfas por hembra. Debido a este alto potencial, una sola planta puede ser atacada hasta por 30,000 áfidos. La dispersión de los individuos alados durante el año, asegurando que las plantas de sorgo sean infestadas en etapas tan tempranas como la germinación. Las condiciones climáticas para el desarrollo de *Melanaphis sacchari*, son temperaturas de los 25 a 30°C, y humedad relativa de 60% (SENASICA 2014)

### **2.1.3.4 Transporte**

Muchas especies de áfidos han desarrollado una relación simbiótica con hormigas, que no solo son toleradas por las plantas, sino que también los protegen contra depredadores y parasitoides. A cambio de esta protección, las hormigas reciben la secreción azucarada, que les sirve de alimento (INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) 2014). Las hormigas ayudan a los áfidos desprovistos de alas a dispersarse por los cultivos, otros inclusive los transportan a sus hormigueros, cuidando a los áfidos como un rebaño: expulsan eventualmente depredadores y cuidan de su alimentación, cambiándoles de plantas si el hambre amenaza (Ponema 2001).

Cuando la colonia llega a ser demasiado numerosas en una planta o ha llegado el momento de migrar hacia una nueva especie hospedera, se da el apareamiento de individuos alados, cada hembra alada dará lugar a nuevas ninfas sin alas, cuyo objetivo es la colonización de una nueva planta (Ponema 2001). El viento es otro factor importante en la diseminación, ya que el áfido puede ser transportado por corrientes de aire. El movimiento de maquinaria de una zona a otra puede ser otro factor importante en la dispersión (SENASICA 2014).

### **2.1.3.5 Enemigos naturales.**

Se asume que cada especie de insectos es susceptible a por lo menos un microorganismo patogénico, frecuentemente hospedante específico, ello da la idea de la potencial importancia del estudio de estos patógenos de insectos en el contexto de control de plagas y de biodiversidad (Alcides y Cavalcanti 2012).

Se han documentado más de 47 especies de enemigos atacando a *M. sacchari*. Algunos agentes identificados como eficientes en el control de pulgón amarillo son: *Crhysoperla spp.*, *Hippodamia convergens*, *Ciclineda sanguínea*, *Olla v-nigrum*, *Scymus loewii*, *Symphorobius barberi*, *Harmonia axyridis* (SAGARPA 2015). Se ha dado énfasis al uso de depredadores, como catarinas (Coleoptera: Coccinellidae), crisopas (Neuroptera: Chrysomelidae y Hemerobiidae) y sírfidos (Díptera: Syrphidae) como agentes que causan mayor mortalidad en las poblaciones de pulgón amarillo (Singh *et al.* 2004). Se ha encontrado que el hongo entomopatógeno (*Verticillium lecanii* (*Lecanicillium*)) es un importante agente de control biológico en Estados Unidos (SAGARPA *et al.* 2015). En todo el mundo, estos juegan un papel importante, ya que frecuentemente mantienen las poblaciones de áfidos por debajo de los umbrales económicos en el cultivo del sorgo (SENASICA 2014).

Existen numerosos reportes sobre la utilización de microorganismos entomopatógenos, que por su capacidad de producir enfermedad y muerte en insectos, son utilizados como agentes de control biológico (Estrada 2008).

#### **2.1.4 Recomendaciones de manejo.**

La siembra temprana es una medida de control cultural que puede ocasionar que el cultivo escape al ataque de la plaga, siembra de variedades tolerantes, eliminar en mayor parte hospederos alternos, utilizar trampas amarillas con agua para capturar áfidos migrantes en campos de sorgo para predecir su patrón migratorio y dinámica poblacional.

Entre los insecticidas que han sido recomendados por CENTA, en nuestro país, para el control del áfido se encuentran ingredientes activos como Imidacloprid y Oxamil. En México, los productos recomendados son Pirimicarb (en cultivos de maíz y trigo), Malathion (en arroz, avena, cebada, maíz, pastizales, pastos, sorgo y trigo), Imidacloprid (en caña de azúcar, cebada, cártamo, maíz, sorgo y trigo), y Thiametoxam (en maíz, y trigo) (Cuadro 1) (SENASICA 2014).

**Cuadro 1: Ingredientes activos y sus descripciones basados en las recomendaciones de SAGARPA para el año 2015.**

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Grupo primario de acción</b>	<b>Sub grupo químico</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Pirimicarb</b>	Inhibidor de Acetilcolinesterasa	Carbamato	1 <sup>a</sup>
<b>Malathion</b>	Inhibidor de Acetilcolinesterasa	Organofosforado	1B
<b>Imidacloprid</b>	Modulador competitivo, Receptor de Acetilcolina nicotina	Neonicotinoide	4 <sup>a</sup>
<b>Thiametoxan</b>	Modulador competitivo, Receptor de Acetilcolina nicotina	Neonicotinoide	4 <sup>a</sup>

Fuente: Elaboración propia, basado en: SAGARPA *et al.* 2015;IRAC 2017.

### **2.1.5. Prácticas alternativas de manejo.**

El uso de cultivares resistentes o tolerantes al pulgón amarillo del sorgo es útil y de gran importancia, además se debe integrar con otras medidas de manejo como la preparación del suelo, manejo del agua, cultivos asociados, cultivos trampas, control de la época de siembra y de cosecha, liberaciones masivas de insectos estériles o de poblaciones genéticamente degradadas para influir en la reproducción y sobrevivencia de las poblaciones normales de plaga, uso de dispositivos químicos o físicos que afectan el comportamiento de los insectos, tales como las trampas de feromonas y el uso de atrayentes y repelentes (CATIE 1990).

## **2.2 CONTROL BIOLÓGICO**

El control biológico es una forma de manejar las poblaciones de especies fitófagas que causan daño a especies cultivadas de importancia para el hombre. Consiste en el uso de enemigos naturales y microorganismos para el control de las poblaciones (plaga), buscando reducir la proporción de la población a niveles que no causen daño (Estrada 2008).

Todo control biológico involucra el uso de poblaciones de enemigos naturales para reducir poblaciones plagas a densidades menores, (Van Driesche *et al.* 2007). El control biológico puede ser enfocado de distintas maneras dependiendo del objetivo planteado. Cuando la meta es la supresión permanente de una plaga (usualmente una especie invasora no nativa), un enfoque efectivo, es la introducción de sus enemigos naturales provenientes

del lugar de origen de la plaga invasora. La ausencia de enemigos naturales hace que la competencia con otras especies de insectos disminuya, incrementando la población, convirtiéndola en plaga. El control biológico busca invertir esta situación y frenar el crecimiento desmedido de las poblaciones mediante un factor clave de mortalidad que podría retornar la población de la plaga a un nivel que no cause daño (Estrada 2008).

### **2.2.1 Depredadores.**

El uso de depredadores como parte del control biológico se refiere a la manipulación inteligente de los complejos de depredadores para la regulación de poblaciones en sistemas de cultivos. Esto requiere conocimiento de la taxonomía, biología del depredador, su especificidad y de la tasa de depredación (Van Driesche *et al.* 2007).

Los depredadores son organismos carnívoros invertebrados, con un estado inmaduro o adulto matan y comen animales vivos para alimentarse y completar su ciclo de vida, causando una muerte violenta. Los insectos depredadores típicamente son más grandes que su presa, son pocos específicos, se concentran más en especies de presas abundantes. No son efectivos a bajas densidades de presa y son de gran importancia en el control natural de plagas (Carballo *et al.* 2004).

Los insectos depredadores de uso potencial en control biológico se encuentran los órdenes Dermaptera, Mantodea, Hemiptera, Thysanoptera, Coleoptera, Neuroptera y Diptera los más importantes; más de 30 familias de insectos son depredadores y de estas, los Anthocoridae, Nabidae, Reduviidae, Geocoridae, Carabidae, Coccinellidae, Nitidulidae. (sensu Cybocephalidae), Staphylinidae, Chrysopidae, Formicidae, Cecidomyiidae y Syrphidae, son comúnmente importantes en los cultivos (Van Driesche *et al.* 2007).

### **2.2.2 Parasitoides**

El parasitoide es un insecto parasítico que, en su estado inmaduro, se alimenta y desarrolla dentro o sobre el cuerpo de un solo insecto hospedante, al cual mata lentamente o bien se desarrolla dentro de los huevecillos de este. Los parasitoides han sido el tipo más común de enemigos naturales introducidos contra insectos plagas. La mayoría de los parasitoides pertenecen a los órdenes Diptera o Hymenoptera, unos pocos son Coleoptera, Neuroptera o Lepidoptera, de 26 familias de parasitoides, los géneros usados más frecuentemente en control biológico son Braconidae, Ichneumonidae, Eulophidae, Pteromalidae, Encyrtidae y Tachinidae (Diptera) (Carballo *et al.* 2004).

Los Braconidae han sido utilizados ampliamente en control biológico, especialmente contra áfidos, Lepidoptera, Coleoptera y Díptera. La familia Aphelinidae son importantes parasitoides de escamas armadas, piojos harinosos, mosquitas blancas, áfidos, psílicos y huevos de diversos insectos (Van Driesche *et al.* 2007).

### 2.2.3 Entomopatógenos

Los patógenos son microorganismos parasíticos y causan enfermedad a sus huéspedes. Los grupos más importantes son: virus, bacterias, hongos, nematodos y protozoos (Estrada 2008). Son un grupo de microorganismos ampliamente estudiados, existiendo más de 700 especies reunidas en 100 géneros. En la naturaleza causan reducciones significativas en poblaciones de insectos incluyendo especies plagas. Se conocen alrededor de 10 especies de hongos con efectos insecticidas (Carballo *et al.* 2004).

Solamente cerca de 20 especies de hongos entomopatógenos, han sido estudiadas como agentes de control y su desarrollo comercial ha sido lento (Carballo *et al.* 2004), de 12 géneros, incluyen a *Lagenidium* (considerado ahora, no un hongo verdadero sino un miembro del Reino Straminipila), *Entomophaga*, *Neozygites*, *Entomophthora*, *Erynia*, *Aschersonia*, *Lecanicillium*, *Nomuraea*, *Hirsutella*, *Metarhizium*, *Beauveria* e *Isaria* (Van Driesche *et al.* 2007).

La mayoría de la investigación con hongos como agentes del control biológico se ha enfocado en los esfuerzos para desarrollarlos como micoinsecticidas. El desarrollo exitoso de micoinsecticidas ha sido frustrado por los rangos estrechos de hospederos y por la pobre germinación de las conidias después de la aplicación (Van Driesche *et al.* 2007).

### 2.2.4 Implementación de control biológico.

Los factores que se consideran para la implementación del control biológico son los mismos que para cualquier método de control, y se relacionan con la interacción entre la densidad de la población plaga, el daño que causa y el sistema de producción.

Sin embargo, un prerrequisito indispensable en un programa de control biológico lo constituye la correcta identificación de la plaga blanco del control. Otros factores son: el umbral económico de la plaga, la magnitud de las pérdidas y el valor de la cosecha (en términos monetarios, ecológicos y sociales)(Estrada 2008).

El control biológico en los cultivos empieza con prácticas que refuerzan el control cultural, conservando los enemigos naturales que viven en los campos de cultivo. Estos pueden ser depredadores generalistas o parasitoides especializados (de especies nativas o

parasitoides introducidos previamente para el control de especies invasoras). Estas especies pueden ser reforzadas por una variedad de manipulaciones del cultivo (control biológico por conservación). Si la disminución de la plaga con estos enemigos naturales es insuficiente, pueden liberarse enemigos naturales adicionales (control biológico aumentativo), proporcionando la especie correcta disponible y apta para ofrecer un control de plagas económicamente efectivo. Productos comerciales que contienen patógenos (micoinsecticidas) pueden ser asperjados en los cultivos para eliminar plagas adicionales (Van Driesche *et al.* 2007). La utilización de entomopatógenos en el control biológico, considera aquellos factores que promueven una epizootia, tales como las propiedades del patógeno (tipo de transmisión, virulencia y persistencia). La mayoría de ellos se transmiten horizontalmente, es decir, por diseminación entre los individuos de la misma generación, es preferible utilizar patógenos muy virulentos para las liberaciones periódicas, los cuales generalmente no persisten por mucho tiempo en el ambiente, la persistencia en el ambiente es afectada no solo por la virulencia, sino también por el tipo de transmisión. Además, factores tales como la densidad y la distribución de la población de una plaga hospedera, así como su comportamiento, pueden afectar la ecología poblacional de los patógenos (Hanson y Hilje 1993).

### **2.3 HONGOS ENTOMOPATÓGENOS.**

Los micoinsecticidas, o productos comerciales formulados a base de hongos entomopatógenos, pueden constituir una estrategia de manejo, por ello mismo, estos son considerados como una herramienta en armonía con las diferentes técnicas empleadas en esquemas de manejo integrado de plagas (Rodríguez y Arredondo 2007). Los micoinsecticidas formulados a base de hongos, bacterias o virus entomopatógenos se asemejan a los plaguicidas químicos en su empaque, manejo, almacenamiento y métodos de aplicación, así como en su estrategia de uso curativo (Van Driesche *et al.* 2007).

En el caso particular de hongos entomopatógenos, la subdivisión Deuteromycotina, constituye el grupo de mayor importancia por la gran variedad de géneros que se usan en el control microbiano de insectos. Este grupo se conoce también como grupo imperfecto, y lo componen especies conocidas solo por su forma asexual.

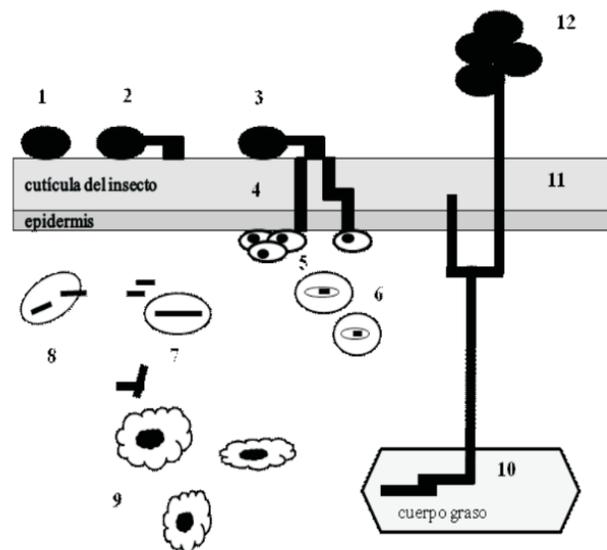
Entre los géneros más importantes se encuentran:

*Beauveria bassiana*, con un amplio rango de hospederos, entre ellos coleópteros y lepidópteros. *Metarhizium anisopliae*, con un rango de hospederos que incluye importantes plagas de suelo y especies de mosca blanca de gran trascendencia

económica. *Verticillium (Lecanicillium) lecanii* y *Aschersonia aleyriodis*, se consideran por su efectivo control de moscas blanca, áfidos y escamas (Estrada 2008).

### 2.3.1 Modo de acción de los Hongos Entomopatógenos.

El desarrollo de la enfermedad comprende una serie de procesos: 1. Adhesión de la espора a la cutícula del insecto, 2. Germinación y formación del apresorio, 3. Penetración de la cutícula, 4. Crecimiento lateral y penetración en la epidermis, 5. Agregación de los hemocitos en el lugar de penetración fúngica, 6. Fagocitosis de cuerpos hifales por células fagocíticas del insecto, 7. Transformación a cuerpos levaduriformes, 8. Evasión del sistema inmune, 9. Propagación en el hemocele, 10. Transformación a cuerpo hifal, 11. Esporulación y germinación atravesando la cutícula del insecto, 12. Diseminación de las esporas (Téllez Jurado *et al.* 2007), (Figura 2).



**Figura 2: Modo de acción de hongos entomopatógenos**

Fuente: Téllez Jurado *et al.* 2007.

### 2.3.2 Adhesión y germinación de la espора en la cutícula del insecto.

El ciclo de vida típico inicia con una espора, que puede ser una espора móvil o una conidia, la cual llega a la cutícula del insecto (Estrada 2008). El proceso de adhesión,

dependiendo del hongo, puede ser un fenómeno específico o no específico. Mientras que la germinación de las esporas es un proceso mediante el cual una espora emite uno o varios pequeños tubos germinativos que al crecer y alargarse dan origen a las hifas. La espora que germinan en el insecto forma un tubo germinativo el cual funciona como una hifa de penetración de la cutícula. (Cañedo y Ames 2004).

### **2.3.3 Penetración dentro del hemocele.**

Posteriormente y bajo condiciones óptimas, la espora germina produciendo un tubo germinativo que crece y penetra al interior de la cutícula, esta penetración por parte de la hifa es el resultado de la degradación enzimática de la cutícula y la presión mecánica ejercida por el tubo germinativo. Además, depende de las propiedades de la cutícula, del grosor, de la esclerotización, presencia de sustancias nutricionales y antifungosas y estado de desarrollo del insecto. La digestión del integumento se produce mediante enzimas (proteasas, aminopeptidasas, lipasas, esterases y quitinasas). Cuando la hifa ha llegado al hemocele, se pueden producir diferentes reacciones de defensa del insecto frente a un cuerpo extraño: fagocitosis, encapsulación celular y formación de compuestos antimicrobianos como las lisozimas, aglutininas y melanización. En este caso, el hongo debe vencer el sistema inmunológico del hospedante antes de entrar a la hemolinfa, una vez en la hemolinfa, el hongo coloniza el insecto (Cañedo y Ames 2004, Estrada 2008).

### **2.3.4 Desarrollo del hongo.**

Luego del ingreso al hemocele, el hongo puede evitar la defensa inmune del insecto produciendo células parecidas a levaduras, llamadas blastosporas, que se multiplican y dispersan rápidamente, desarrollando protoplastos, elementos discretos ameboideos, sin pared celular que no son reconocidos por los hemocitos del hospedante y produciendo micotoxinas. La dispersión de éstos en el hemocele depende de la especie del hongo. Las toxinas producidas juegan un rol muy importante en el modo de acción de los hongos entomopatógenos (Cañedo y Ames 2004). Cuando lo hacen en los fluidos digestivos, pueden destruir a la hifa germinativa. En este caso, el insecto no muere de micosis sino a causa de las toxinas (Estrada 2008). La muerte del insecto se produce con mayor rapidez cuando es afectado por un hongo entomopatógeno que produce cantidades considerables de toxinas, ya que se adiciona la toxina a la destrucción de los tejidos y a las deficiencias nutricionales (Cañedo y Ames 2004).

### **2.3.5 Comportamiento y dispersión.**

La relación entre el hospedero y patógeno dentro de la población del hospedante está influenciada por factores abióticos. La temperatura, humedad y radiación son factores abióticos que influyen en el desarrollo de la enfermedad sobre el insecto (Ayala 2006).

#### **2.3.5.1 Toxinas**

Algunas toxinas son clasificadas dentro de los depsipeptidos cíclicos como la beauveriana producida por *Lecanicillium lecanii* y *B. bassiana*, además del basianolide producido por este último hongo y por *Isaria fumosorosea* de *Metharhizium anisopliae* se han aislado dos grupos de toxinas las destruxinas y proteasas (depsipeptidos cíclicos) (Estrada 2008).

#### **2.3.5.2 Sustancias degradadoras de la cutícula.**

Durante el proceso de infección, las hifas de patógenos epizoóticos ejercen presión sobre las áreas membranosas y esclerosadas del hospedero mediante la acción de enzimas proteasa, lipasas y quitinasas que favorecen la colonización, descomposición de tejidos y producción de inóculo para nuevas infecciones (Ayala 2006).

En la degradación de la cutícula intervienen enzimas que responden de manera diferenciada debido a la mezcla compleja de componentes de la cutícula de los insectos. Algunas enzimas degradadoras de la cutícula son la proteasa, subtilisina Pr1 A y B, serina proteasa (PR<sub>2</sub>), (PR<sub>3</sub>) cisteína proteasa (Pr<sub>4</sub>) Carboxipeptidasa (MeCPA) metabendoproteasa (poli N-acetil-b-D-glucosaminidasa) y 1-4b quitibiosidasas (Estrada 2008).

#### **2.3.5.3 Infección.**

En la mayoría de los insectos la principal ruta de infección o mortalidad resulta con el inóculo el porcentaje está ampliamente gobernado por el estado susceptible del huésped, el método de aplicación y factores ambientales como la temperatura la humedad velocidad del viento y estructuras de la vegetación, una segunda ruta de infección, en el caso de los adultos es por los residuos o deriva de la aspersion que permanece sobre la vegetación (Rodríguez y Arredondo 2007).

La invasión del huésped directamente a través de la cutícula, partes bucales, membranas intersegmentales o a través de los espiráculos, sitios donde existe alta humedad que promueve la germinación de las esporas y permite la penetración de las hifas, constituyen la principal patogénesis. Se considera que las unidades infectivas (esporas) se adhieren a

la superficie de la cutícula a través de fuerzas hidrófobas debido a la presencia de proteínas ricas en cisteínas llamadas hidrófobas (Rodríguez y Arredondo 2007).

### **2.3.6 Síntomas**

Los síntomas fisiológicos del insecto afectado pueden ser: convulsiones, carencia de coordinación y comportamientos alterados (deja de alimentarse, reduce su movimiento), entra en un estado letárgico y finalmente muere, lo que puede ocurrir relativamente rápido o en unos cuantos días. (Cañedo y Ames 2004).

### **2.3.7 Epizootia**

Los hongos entomopatógenos tiene un potencial epizoótico considerable pueden dispersarse rápidamente a través de una población y provocar que colapse en pocas semanas. Debido a que penetran el cuerpo de su huésped. Pueden infectar a insectos chupadores como áfidos y mosca blanca (Estrada 2008). A continuación, se tratarán los hongos en estudio: *Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Lecanicillium lecanii*, *Metarhizium anisopliae*.

### **2.3.8 *Beauveria bassiana*.**

Posee un alto rango de hospederos atacando más de 200 especies de insectos como: Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Homoptera y Heteroptera (Monzon 2008).

#### **2.3.8.1 Toxinas**

*B. bassiana* produce varias toxinas siendo las principales los ciclodepsipeptidos, entre los cuales están la beauvericine, el beauverolide H e I, el bassianolide, el isarolide A, B y C (Carballo *et al.* 2004).

#### **2.3.8.2 Modo de acción.**

La multiplicación del hongo en el interior del hospedero conduce a la producción de hifas y blastoporas y a la producción de toxinas que en conjunto van a provocar la enfermedad y la muerte del insecto (Carballo *et al.* 2004).

#### **2.3.8.3 Sintomatología**

Los insectos antes de sucumbir a la infección exhiben varios síntomas incluyendo intranquilidad, cese de alimentación y pérdida de coordinación. Puede haber cambios en la coloración del tegumento (Carballo *et al.* 2004).

### **2.3.9 *Metarhizium anisopliae*.**

Este hongo entomopatógeno es un microorganismo que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, siendo aislado fácilmente de suelos, donde puede sobrevivir por lapsos prolongados. También ha sido aislado de una gran variedad de insectos, siendo utilizado en programas de control de plaga a nivel mundial (Gómez 1999).

#### **2.3.9.1 Toxinas**

Produce una familia de toxinas ciclopéptidas conocidas como destruxinas. En cultivos de este hongo se han identificado 23 variantes (Monzón 2008).

#### **2.3.9.2 Modo de acción**

Las destruxinas ocasionan en los insectos parálisis muscular tetánica inmediatamente. La invasión del hemocele y tejidos ocurre en las 24 y 48 horas siguientes. La muerte del insecto ocurre por la acción de toxinas durante los estados de crecimiento micelial (Téllez Jurado *et al.* 2007).

#### **2.3.9.3 Sintomatología.**

Los insectos afectados presentan un punto de penetración del hongo, el cual tiene apariencia de una quemazón, de tamaño variable, penetra en las patas causa una digestión interna, deformándolas e incluso desapareciéndolas, posteriormente ocurre el crecimiento micelial dentro del insecto, el cual pierde movimiento y muere momificado (Cañedo y Ames 2004).

### **2.3.10 *Lecanicillium lecanii***

Este hongo se encuentra entre uno de los géneros de entomopatógenos más estudiados, sus infecciones son muy comunes en insectos y fáciles de detectar debido a que su cuerpo está cubierto de micelio o cuerpos fructíferos del hongo (Monzon 2008).

#### **2.3.10.1 Toxina**

*Lecanicillium lecanii* produce la toxina bassinolide que ha sido aislada del micelio del hongo y que también es producido por *Beauveria bassiana* (Carballo *et al.* 2004).

#### **2.3.10.2 Modo de acción**

Luego de la penetración ocurre un crecimiento acelerado del hongo dentro del cuerpo del insecto que invade órganos y tejidos y posiblemente hay una acción tóxica que produce este hongo que va a generar la muerte del insecto (Carballo *et al.* 2004).

### **2.3.10.3 Sintomatología**

Los insectos enfermos por este hongo dejan de alimentarse y permanecen adheridos a la hoja en que se encuentran. En los estados iniciales de la enfermedad se presenta un cambio de coloración del tegumento del insecto. Después de la muerte. Los insectos se observan de coloración crema por el crecimiento del hongo sobre los cadáveres (Carballo *et al.* 2004).

### **2.3.11 *Beauveria brongniartii***

#### **2.3.11.1 Toxinas**

*B. brongniartii* produce varias toxinas siendo las principales los ciclodepsipeptidos, entre los cuales están la beauvericine, el beauverolide H e I, el bassianolide, el isarolide A, B y C (Carballo *et al.* 2004).

#### **2.3.11.2 Modo de acción**

El tubo germinativo de la conidia penetra en la cutícula del huésped e invade el hemocele del insecto. Una vez en el hemocele, el hongo empieza a proliferarse. El micelio de los tubos germinativos son septados y liberan blastósporas (Sosa 2009).

#### **2.3.11.3 Sintomatología**

El hongo en dosis subletales, puede inhibir la fertilización y desarrollo de los estados del insecto. El insecto muere por la supresión de sus nutrientes en la hemolinfa o por toxemia (Sosa 2009).

### **2.3.12 Interacción de hospederos.**

Las enfermedades son procesos dinámicos en donde el patógeno (microorganismo) y el hospedante (insecto) están adaptados morfológica y fisiológicamente; el primero para llevar a cabo el proceso de infección y el segundo, para resistir la enfermedad. Los hongos producen esporas que germinan al contacto con el hospedante, invadiendo su cuerpo y matándolo de cuatro a diez días posteriores a la infección (Rodríguez y Arredondo 2007).

### **2.3.13 Ejemplos de estudios con Hongos entomopatógenos en insectos.**

*Hirsutella thompsonii* Fisher es un patógeno bien estudiado de ácaros eriofidos; *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin tiene un amplio rango de hospederos y

actualmente está registrado como micoinsecticida en los Estados Unidos, *Beauveria brongniartii* está registrado en Suiza contra escarabajos. Especies de *Isaria*, *Lecanicillium* y *Aschersonia* han sido estudiadas como patógenos de moscas blancas, áfidos y escamas (Van Driesche *et al.* 2007).

#### **2.3.14 Ventajas y desventajas de su uso.**

La micosis (enfermedades causadas por hongos) son muy comunes y ampliamente distribuidos en poblaciones de insectos plaga, pueden regular o causar una alta mortalidad en poblaciones de insectos huéspedes mediante epizootias. Estos ilustran el potencial que los hongos tienen con fines de explotarlos como micoinsecticidas. (Rodríguez y Arredondo 2007).

Una de las ventajas del uso de hongos entomopatógenos es que algunos son fáciles de cultivar masivamente para realizar aspersiones periódicamente, las cuales se pueden efectuar, incluso, con bomba común de espalda. Generalmente son bastantes específicos y no afectan al ser humano, aunque ocasionalmente hay problemas con alergias a las formulaciones de estos hongos. Las principales desventajas son su dependencia de las condiciones ambientales para la ocurrencia de epizootias (Hanson y Hilje 1993).

Actualmente los micoinsecticidas son productos que pueden integrarse a las estrategias de manejo de insectos plaga, debido a que son seguros desde el punto de vista de protección ambiental, y son usados en la agricultura extensiva, invernaderos, ambientes protegidos y jardines (Rodríguez y Arredondo 2007). Los micoinsecticidas pueden ser compatibles con otras prácticas de control. Los hongos en muchos de los casos pueden constituir una estrategia de manejo, como una herramienta en armonía con las diferentes tendencias empleadas (Rodríguez y Arredondo 2007).

El control biológico generalmente ejerce una acción más lenta, porque el control no es inmediato ni tan dramático como los insecticidas químicos. En los programas exitosos de control biológico el enemigo natural reduce la plaga a un nivel que no causa daño sin eliminarla por completo, pues el enemigo natural requiere una población mínima de plaga para su supervivencia. La mayoría de las introducciones son a base de prueba y error (Estrada 2008).

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 UBICACIÓN

La investigación se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Protección Vegetal ubicado en el área de vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicado en Final 25 Avenida Norte, San Salvador, a una altura de 700 msnm, a 13°43'08.17" Latitud Norte y 89°12'02.02" Longitud Oeste. Con precipitación anual promedio de 1,801 mm, temperatura anual promedio de 30.5 °C y Humedad Relativa anual promedio de 70% (figura 3).



**Figura 3: Invernadero del Departamento de Protección Vegetal, ubicado en el Vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas**

#### 3.2 ESTABLECIMIENTO DE LA CRÍA DE *Melanaphis sacchari*

Los áfidos que se utilizaron fueron obtenidos de una cría originada a partir de insectos recolectados en las parcelas de sorgo de la Hacienda El Milagro de Cuaita, Caluco, Sonsonate en enero del 2016. Identificado por ing. Paniagua Cienfuegos, del Departamento de Protección Vegetal, utilizando la clave de áfidos de gramíneas en Blackman y Eastop (2008). La cría fue mantenida en plántulas de sorgo criollo (*Sorghum bicolor*) renovadas cada 15 días, de manera escalonada, con limpieza cada dos días, o según lo ameritaba, para la eliminación de depredadores y otros insectos ajenos a la cría (Figura 4). Fertilización una vez a la semana con Sulfato de Amonio y riego cada dos días.



**Figura 4 :** pie de cría de *Melanaphis sacchari* en el invernadero del Departamento de Protección Vegetal.

### 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

#### 3.3.1 Unidad Experimental

Se trasladaron grupos de entre 5 a 10 áfidos alados y de 20 a 30 áfidos ápteros a plántulas de 15 días de sembradas (Figura 5), creciendo en vasos pet de 1 oz fluida utilizando algodón como sustrato. La colonia de áfidos establecidas en dichas plántulas se consideró como unidad experimental. Tomando en cuenta que el número de áfidos en cada plántula fue variable, la mortalidad fue corregida mediante la fórmula de Henderson-



**Figura 5:** Plantas previo a inoculación de los áfidos, en cada una de las plantas Tilton.

Formula de Henderson Tilton

$$\text{Mortalidad corregida \%} = \left( 1 - \frac{n \text{ en Co antes de tratamiento} * n \text{ en T despues de tratamiento}}{n \text{ en Co despues de tratamiento} * n \text{ en T despues de control}} \right) * 100$$

Donde:

n = Población de insectos.

Co = Control

T= Tratamiento

(Henderson y Tilton 1955).

### 3.3.2 Tratamientos y repeticiones

Se evaluaron cuatro formulados comerciales de hongos entompatógenos (*Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii*) a cuatro concentraciones de conidios viables ( $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$ ,  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>), la cual se calculó mediante regla de tres simple, tomando como base la concentración de conidios viables de los productos. Dato proporcionado por la empresa, por medio de una constancia (Figura A: 1 a figura A: 4). Se utilizó un arreglo factorial 4 x 4 con un diseño de bloques completos al azar. Se tuvo en total 64 unidades experimentales, repartidas en cuatro bioensayos, cada uno con 16 tratamientos (Figura 6) que consistió en cada uno de los hongos a cuatro diferentes concentraciones, más los testigos haciendo un total de 20 unidades experimentales por bioensayo. Tomando datos de mortalidad cada 24 horas. Se tomo un testigo absoluto que fue con agua destilada, solo para determinar la muerte por el efecto del agua



Figura 6: tratamientos en evaluación, plantas de sorgo, en jaulas individuales.

### 3.3.3 Bioensayo

Cada bioensayo constó de cuatro diferentes hongos y cuatro concentraciones (Figura 7), cada hongo combinado con las cuatro concentraciones más un testigo absoluto (aplicación de agua destilada) a partir de las cuales se les determinó la  $CL_{50}$  y el  $TL_{50}$  (concentración y tiempo donde la mitad de la población presenta una respuesta al estímulo, respectivamente). De cada uno de los aislamientos, se contaron los áfidos presentes a las cero horas, luego a las 24, 48, 72 y 96 horas, para las primeras dos repeticiones y las dos últimas repeticiones se tomaron datos solo a las 24 y las 48 horas después de aplicación. El recuento de áfidos se realizó mediante observación directa con estereoscopio óptico (Figura 8), lo que permitió observar los áfidos muertos por medio de comportamientos diferentes tales como: poca movilidad y cambio de color; se tomaron los áfidos ausentes como muertos. Para cada repetición de bioensayo se contó con una jaula para mantener las condiciones de humedad y temperatura homogéneas.



**Figura 7: uno de los bioensayos realizados, con sus diferentes tratamientos.**



**Figura 8: estereoscopio utilizado para la toma de datos y áfido observado**

**Cuadro 2: Diagrama de los diferentes tratamientos con respecto a los hongos y concentraciones a utilizados y tomando en cuenta el tiempo de la toma de datos.**

hongo/concentración		H1 (Bb1)				H2 (Bb2)				H3 (Bb3)				H4 (Ma)			
T1 (24h)	C0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C1 1X10 <sup>6</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C2 1X10 <sup>7</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C3 1X10 <sup>8</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C4 3X10 <sup>8</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
T2 (48h)		H1				H2				H3				H4			
	C0																
	C1 1X10 <sup>6</sup>																
	C2 1X10 <sup>7</sup>																
	C3 1X10 <sup>8</sup>																
C4 3X10 <sup>8</sup>																	
T3 (72h)		H1				H2				H3				H4			
	C0																
	C1 1X10 <sup>6</sup>																
	C2 1X10 <sup>7</sup>																
	C3 1X10 <sup>8</sup>																
C4 3X10 <sup>8</sup>																	
T4 (96h)		H1				H2				H3				H4			
	C0																
	C1 1X10 <sup>6</sup>																
	C2 1X10 <sup>7</sup>																
	C3 1X10 <sup>8</sup>																
C4 3X10 <sup>8</sup>																	

**Cuadro 3 diferentes concentraciones del ensayo y los hongos.**

Concentraciones		hongos	
C1	1x10 <sup>6</sup>	H1:	<i>Beauveria bassiana</i>
C2	1x10 <sup>7</sup>	H2:	<i>Beauveria brongniartii</i>
C3	1x10 <sup>8</sup>	H3:	<i>Metarhizium anisopliae</i>
C4	3x10 <sup>8</sup>	H4:	<i>Lecanicillium lecanii</i>

### 3.3.4 Montaje del experimento

Se contó con una jaula donde se colocaban las plantas en evaluación (cuadro 4), para mantener las condiciones de humedad y temperatura uniforme, cada una contaba con su propia jaula (vasos pet de 16 onz. con una maya de tela agril), cada una con cantidades de áfidos que oscilaban entre los 20 a 100 áfidos según preferencia de los áfidos (Figura 7).

**Cuadro 4 : Ubicación de los tratamientos en base a cada una de las repeticiones.**

JAULA				
	H1	H2	H3	H4
C0	X	X	X	X
C1 1X10 <sup>6</sup>	X	X	X	X
C2 1X10 <sup>7</sup>	X	X	X	X
C3 1X10 <sup>8</sup>	X	X	X	X
C4 3X10 <sup>8</sup>	X	X	X	X

## 3.4 ANÁLISIS DE DATOS

### 3.4.1 Determinación de CL50 y TL50

La concentración letal 50 y 90 de conidios de cada especie de hongo, a las 24 y 48 horas después de la aplicación, fue estimada mediante un modelo probit del logaritmo de las concentraciones, utilizando el programa LdP Line (Bakr 2007).

### 3.4.2 Evaluación de aislamientos de Hongos entomopatógenos

Los datos de mortalidad del pulgón amarillo del sorgo, como resultado de la aplicación de las diferentes concentraciones de hongos entomopatógenos evaluados, fueron analizados mediante el ajuste de un modelo lineal generalizado con distribución binomial y función enlace logit. Se utilizaron como factores fijos la especie del hongo, la concentración utilizada, los días después de la aplicación y sus interacciones, de acuerdo con el siguiente modelo:

$$\gamma(\text{Mortalidad, Sobrevivencia}) \sim \text{Hongo} * \text{Concentración} * \text{Tiempo de aplicación} \\ + \text{Hongo} + \text{Concentración/Bloque}$$

Dicho modelo considera el hecho de que el tiempo (Días Después de Aplicación), consistió en medidas repetidas sobre las unidades experimentales (Doncaster y Davey 2007). El modelo fue ajustado utilizando la función glm (modelo lineal generalizado) a través la interfaz gráfica Deducer (Fellows 2012) del programa R versión 3.3.3 (R Core

Team 2017). Los factores que mostraron significancia con un nivel de confianza del 95%, en el análisis de Deviance, fueron separadas a través de la comparación pareada de las medias, esta se hizo utilizando la prueba de Tukey sobre los valores logit de la mortalidad. Dicha prueba fue realizada con la función lsmeans (medias de mínimos cuadrados) y cld (Compact letter display) del paquete lsmeans (Lenth 2016).

### 3.5 METODOLOGÍA ECONÓMICA

Se utilizó la metodología de presupuestos parciales del CIMMYT ( Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo, 1988), para ello se señaló entre los tratamientos utilizados el más eficaz, luego del análisis de dominancia, que según la efectividad de control se colocó de mayor a menor, y se realizó el análisis de los índices de costo-efectividad, seleccionando el de menor valor (Cuadro 5).

**Cuadro 5: Evaluación económica de los tratamientos**

Tratamientos	% de efectividad	Costo variable (\$)	Índice costo/efectividad
Testigo	* <sup>1</sup> (efectividad / 100) *	Costo de la dosis utilizada para una manzana	* <sup>2</sup> Costo variable / % de efectividad
<i>Beauveria Bassiana</i>			
<i>Beauveria brongniartii</i>			
<i>Metarhizium anisopliae</i>			
<i>Lecanicillium lecanii</i>			

---

<sup>1</sup> \*Formulas a utilizar.

<sup>2</sup> \*Formulas a utilizar.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Concentración Letal 50 y 90

A partir de los resultados de los bioensayos se estimaron los valores de CL<sub>50</sub> y CL<sub>90</sub> a las 24 horas y 48 horas después de la aplicación (Cuadro 6). Luego de 24 horas después de la aplicación, *M. anisopliae* presentó el CL<sub>50</sub> más bajo ( $1.05 \times 10^7$  conidios.L<sup>-1</sup>), mientras que a las 48 horas después de aplicación fue *L. lecanii* quien registró el valor inferior ( $9.45 \times 10^2$  conidios.L<sup>-1</sup>). La estimación de CL<sub>90</sub> presentó un patrón diferente, siendo *B. bassiana* el que tuvo los valores más bajos tanto a las 24 ( $6.90 \times 10^{10}$  conidios.L<sup>-1</sup>), como a las 48 ( $1.89 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>), seguido por *B. brongniartii* ( $5.04 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>).

**Cuadro 6: Concentración Letal 50 (CL<sub>50</sub>) y Concentración Letal 90 (CL<sub>90</sub>) a las 24 y 48 horas de las diferentes especies de entomopatógenos evaluados.**

HONGO	CL <sub>50</sub>		CL <sub>90</sub>	
	24 h	48 h	24 h	48 h
<i>B. bassiana</i>	$1.72 \times 10^7$	$3.22 \times 10^5$	$6.90 \times 10^{10}$	$1.89 \times 10^8$
<i>B. brongniartii</i>	$3.70 \times 10^7$	$1.80 \times 10^6$	$1.29 \times 10^{11}$	$5.04 \times 10^8$
<i>L. lecanii</i>	$8.79 \times 10^7$	$9.45 \times 10^2$	$4.35 \times 10^{11}$	$2.88 \times 10^{17}$
<i>M. anisopliae</i>	$1.05 \times 10^7$	$1.11 \times 10^5$	$6.14 \times 10^{12}$	$4.38 \times 10^9$

#### 4.1.2 Análisis de Devianza

De acuerdo con el modelo ajustado, las variables que más influyeron en la mortalidad de *Melanaphis sacchari* fueron: la especie del entomopatógeno ( $\chi^2_3 = 50.889$ ,  $P > 0.001$ ), concentración de conidios por litro ( $\chi^2_9 = 193.9291$ ,  $P > 0.001$ ), días después de aplicación ( $\chi^2_1 = 250.5424$ ,  $P > 0.001$ ). Sin embargo, se observaron fuertes efectos de interacción entre las especies y la concentración de conidios ( $\chi^2_3 = 56.8264$ ,  $P = 5.46 \times 10^{-9}$ ), concentración de conidios y los días después de aplicación ( $\chi^2_3 = 18.1939$ ,  $P = 0.0004011$ ), y la especie del entomopatógeno, la concentración de conidios y los días después de aplicación ( $\chi^2_9 = 50.677$ ,  $P = 8.03 \times 10^{-8}$ ). Esto implica que no se puede concluir de manera independiente sobre los factores individuales, sino en función de las interacciones establecidas. Por otra parte, la interacción entre las especies de entomopatógenos y los días después de la aplicación no es significativa ( $\chi^2_3 = 5.8017$ ,  $P = 0.1216681$ ) esto indica que todas las especies de hongos presentan el mismo patrón de incremento en la mortalidad (Cuadro 7).

### Cuadro 7: Análisis de devianza

	Df	chisq	pr(>Chisq)	
HONGO	3	50.8893	5.17E-11	***
CONCENTRACIÓN	3	193.9291	< 2.2e-16	***
DDA (DIAS DESPUES DE APLICACIÓN)	1	250.5424	< 2.2e-16	***
HONGO: CONCENTRACION	9	56.8264	5.46E-09	***
HONGO: DDA	3	5.8017	0.1216681	
CONCENTRACIÓN:DDA	3	18.1939	0.0004011	***
HONGO:CONCENTRACIÓN:DDA	9	50.677	8.03E-08	***
HONGO:CONCENTRACIÓN:REP	32	412.7187	< 2.2e-16	***

#### 4.1.3 Interacción hongo x concentración x días de aplicación.

Se observó una marcada diferencia en la mortalidad a 24 horas después de aplicación con respecto a las 48 horas después de aplicación (Figura 9), siendo superior en esta última. Existió una relación directa entre el incremento de la concentración de conidios, con el incremento de los porcentajes de mortalidad a las 48 horas, en otras palabras, a mayor concentración, mayor mortalidad (Figura 10). La mayor mortalidad se observó en *B. bassiana* y *M. anisopliae*, en todas las concentraciones de conidios utilizadas mientras que, *L. lecanii* solo presenta mortalidades altas en las concentraciones de  $1 \times 10^8$  y  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup> *B. brongniartii* presento bajas mortalidades en todas las concentraciones a excepción de la más alta en la cual se comportó de manera similar al resto de los hongos (Figura 11).

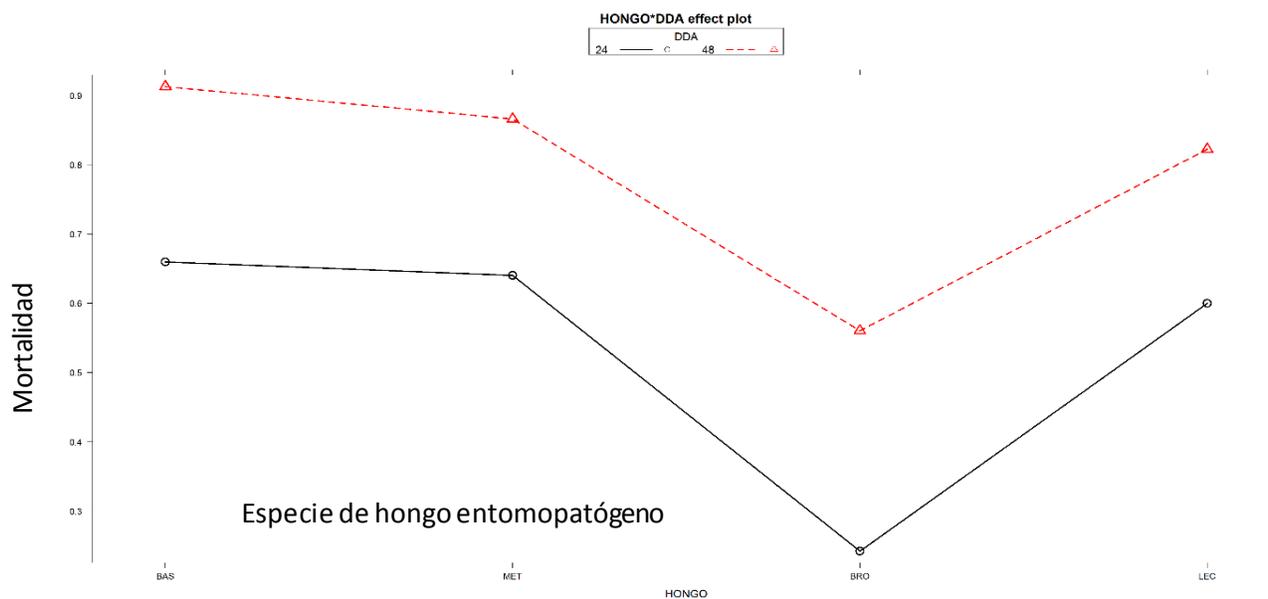
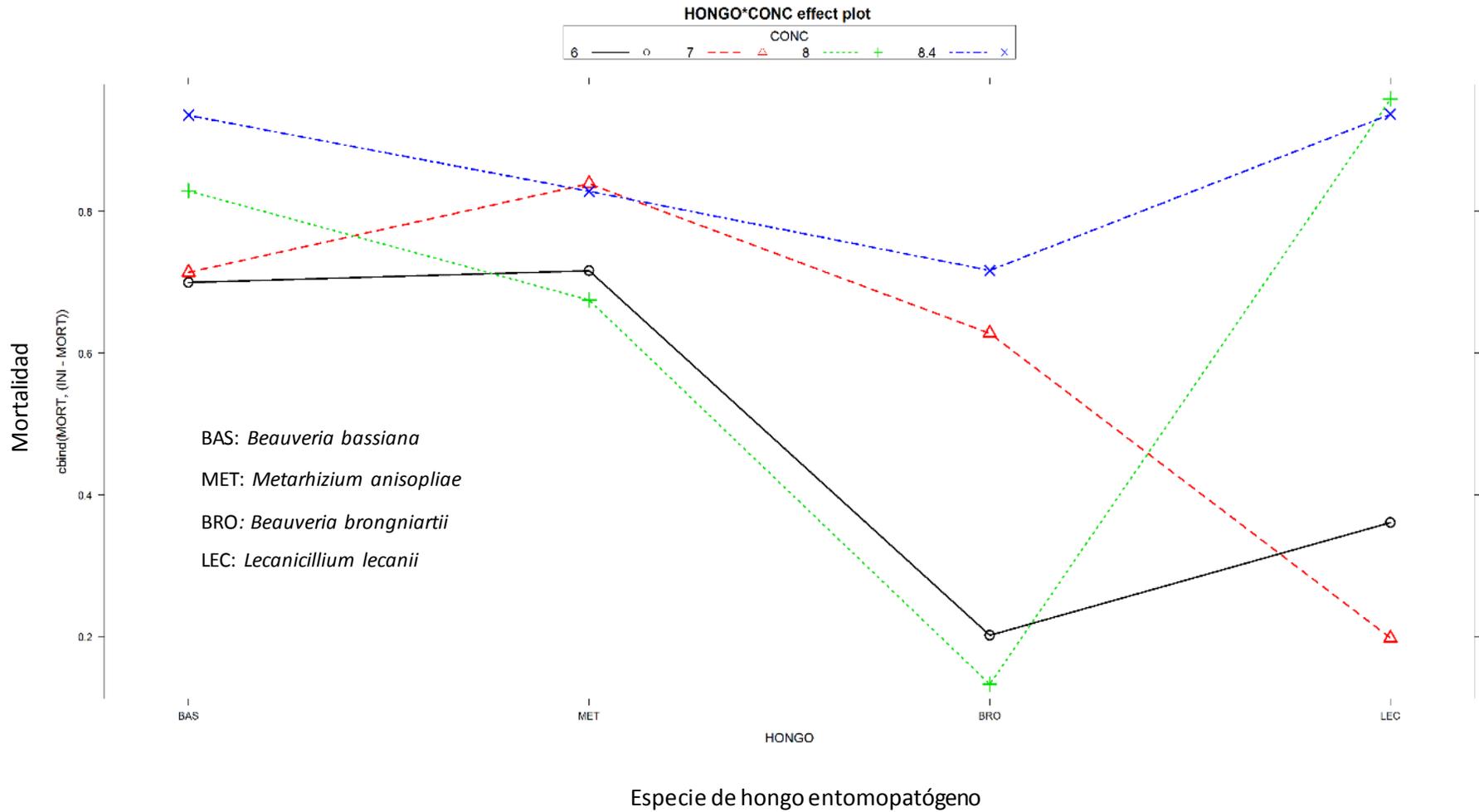
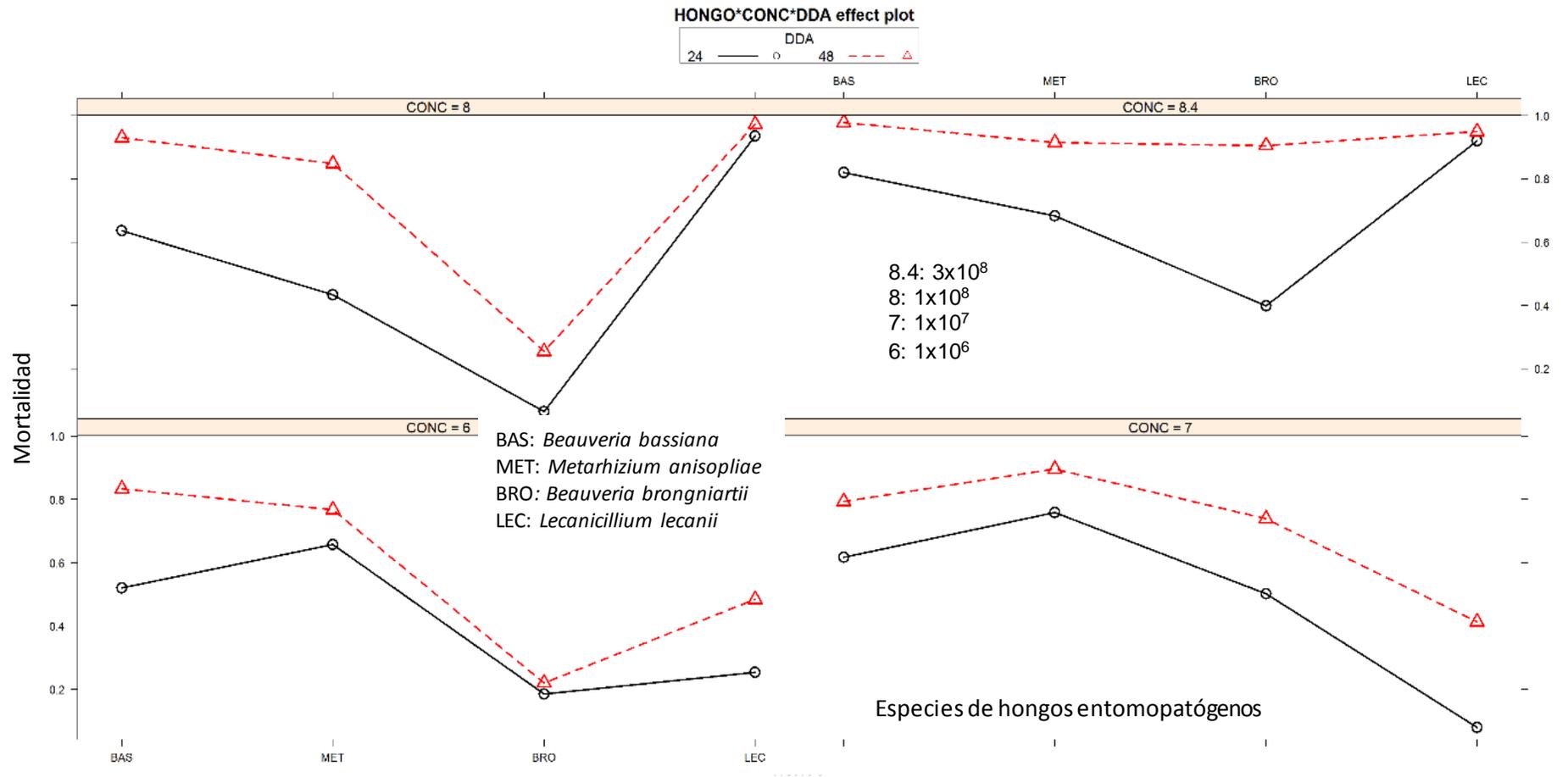


Figura 9: Especie de hongo entomopatógeno y su efecto en la mortalidad del áfido *Melanaphis sacchari* (Zehntner) tomando en cuenta el tiempo después de aplicación.



**Figura 10: Interacción especie de hongo entomopatígeno y concentración de conidios, en el efecto ocasionado sobre el áfido *Melanaphis sacchari* (Zehntner).**



**Figura 11: Efecto en la mortalidad de la interacción de las diferentes especies de hongos entomopatógenos, concentración de conidios y días después de aplicación, evaluados sobre el áfido *Melanaphis sacchari* (Zehntner).**

Se evaluó la interacción de la concentración de conidios, la especie de hongo entomopatógenos y el tiempo después de aplicación, en el cual se obtuvo 11 rangos de significación, ocupando el primer y segundo lugar *B. bassiana* en las concentraciones  $3 \times 10^8$  y  $1 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>, con una mortalidad de 97.17% y 94.28% respectivamente, seguido del hongo *M. anisopliae* con el cuarto, quinto y sexto rango, en las dosis  $1 \times 10^8$ ,  $3 \times 10^8$  y  $1 \times 10^7$  conidios.L<sup>-1</sup>, con mortalidades de 93.39%, 84.74% y 80.42% todos los datos para las 48 horas después de la aplicación. No así el caso de *L. lecanii* con la dosis  $1 \times 10^7$  conidios.L<sup>-1</sup> a las 24 horas después de aplicación que ocupa el rango 11 con una mortalidad de 12.58% (Cuadro 8).

**Cuadro 8: Mejores tratamientos según prueba de Tukey, en la evaluación de los entomopatógenos sobre *Melanaphis sacchari* (Zehntner), a las 48 horas.**

HONGO	CON. log	DDA	MORTALIDAD %	SE	Nivel inferior	Nivel superior				
<i>B. bassiana</i>	8.4	48	97.17	0.01607	0.91606	0.99087	A			
<i>B. bassiana</i>	8	48	94.28	0.01857	0.89353	0.97003	A			
<i>B. brongniartii</i>	8.4	48	93.39	0.01941	0.88416	0.96327	A			
<i>M. anisopliae</i>	8	48	84.74	0.03328	0.77028	0.90193	A	B		
<i>M. anisopliae</i>	8.4	48	83.87	0.03239	0.76488	0.89269	A	B		
<i>M. anisopliae</i>	7	48	80.42	0.02951	0.73996	0.85579	A	B	C	
<i>B. brongniartii</i>	7	48	80.02	0.03646	0.71923	0.86232	A	B	C	D
<i>L. lecanii</i>	8.4	48	79.94	0.03896	0.71224	0.86517	A	B	C	D
<i>B. bassiana</i>	7	48	78.71	0.04243	0.69241	0.85868	A	B	C	D

#### 4.1.4 Análisis económico

Basados en los datos de la mortalidad causada por la especie del hongo entomopatógeno sobre *Melanaphis sacchari*, se tomaron los tratamientos que presentaron un efecto mayor en la mortalidad basados en la prueba de Tukey (Cuadro 9), siendo el tratamiento más económico dentro de los nueve mejores los de la concentración  $1 \times 10^7$  conidios.L<sup>-1</sup> en las especies de hongos entomopatógenos *M. anisopliae*, *B. brongniartii* y *B. bassiana*.

**Cuadro 9: Análisis de costo efectividad de los entomopatógenos y concentraciones que causaron más mortalidad en *Melanaphis sacchari* (Zehntner).**

Hongo	Concentración conidios/ml	% de efectividad	Costo variable por mz	Índice costo/efectividad
<i>B. bassiana</i>	1x10 <sup>7</sup>	78.71	\$ 7.00	0.072039
<i>B. bassiana</i>	1x10 <sup>8</sup>	94.28*	\$ 2.34	0.024820
<i>B. bassiana</i>	3x10 <sup>8</sup>	97.17*	\$ 7.00	0.074954
<i>B. brongniartii</i>	1x10 <sup>7</sup>	80.02	\$ 2.34	0.027614
<i>B. brongniartii</i>	3x10 <sup>8</sup>	93.39*	\$ 7.00	0.083463
<i>L. lecanii</i>	3x10 <sup>8</sup>	79.94	\$ 0.25	0.003109
<i>M. anisopliae</i>	1x10 <sup>7</sup>	80.42	\$ 0.25	0.003124
<i>M. anisopliae</i>	1x10 <sup>8</sup>	84.74	\$ 7.00	0.087566
<i>M. anisopliae</i>	3x10 <sup>8</sup>	83.87	\$ 2.34	0.003176

\*Mayor costo efectividad.

## 4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 4.2.1 Concentración Letal 50 y 90 (CL<sub>50</sub> y CL<sub>90</sub>).

Las concentraciones CL50 y CL90 a las 24 horas después de aplicación obtuvieron valores mayores con respecto a los de las 48 horas después de aplicación. *B. bassiana* presentó diferencias de 2 exponenciales (CL<sub>50</sub> 24 horas: 1.72x10<sup>7</sup>; CL<sub>50</sub> 48 horas: 3.22x10<sup>5</sup>), mientras que *B. brongniartii* y *M. anisopliae* diferencias 4 y 5 exponenciales respectivamente en las CL50. Sin embargo *L. lecanii* presentó una diferencia de 6 exponenciales entre las CL90 a las 48 horas (*L. lecanii*, CL90 a las 24 horas: 4.35x10<sup>11</sup>; CL90 48 horas: 2.88x10<sup>17</sup>). Estudios realizados anteriormente describen que *L. lecanii* en condiciones de invernadero a concentraciones muy similar a las del ensayo 1x10<sup>4</sup>, 1x10<sup>6</sup>, 1x10<sup>8</sup> se observaron mortalidades a los 1.5 y 2.0 y 2.00 días respectivamente, pero solo la concentración más alta causó mortalidades del 100% (Hincapie et al. 1990). El tiempo de efecto de mortalidad concuerda, pero en el ensayo no se logró el 100% en la mortalidad, pero, se observó el efecto de mayores concentraciones, mayor mortalidad. En el presente trabajo, *L. lecanii* actuó a las 48 horas, con altas mortalidades solo a la concentración más alta, pero fue superado en mortalidad por las demás especies de hongos entomopatógenos en evaluación.

#### 4.2.2 Hongos entomopatógenos.

El comportamiento de los hongos entomopatógenos evaluados fue diferente conforme transcurrió el tiempo después de la aplicación. Las concentraciones más alta a las 48 horas presentaron mayores mortalidades que a las 24 horas, esto se puede explicar, por la agresividad del patógeno que a su vez está relacionada con la velocidad de multiplicación el patógeno dentro del insecto y se expresa por la intensidad o grado de la enfermedad, en términos de porcentaje de mortalidad y tiempo letal medio (Vera Robles *et al.* 1995, Leucona 1996).

La muerte del insecto ocasionada por los hongos entomopatógeno, no es tan rápida como la resultante por un insecticida sintético. En el caso del uso de entomopatógenos, la muerte es el resultado de diversos factores y procesos, desde la llegada del conidio a la cutícula del insecto, la germinación, penetración, el crecimiento del conidio y la producción de toxinas causando micosis en el insecto. Tomando en cuenta el tiempo que en que esto se desarrolla, el insecto se vuelve lento, detienen su alimentación y tienden a ocultarse, esto puede tardar de 7 a 10 días, aunque algunos insectos pueden morir antes debido a toxinas que el hongo (toxinas peptídicas) durante la colonización del insecto (Araujo y Henrique 2009, Vargas 2003, Susan y Castiel 2005).

#### 4.2.3 Interacción hongo, concentración y tiempo.

El estudio indica que el porcentaje de mortalidad estuvo influenciado por el hongo, la concentración de conidios y el tiempo después de la aplicación, teniendo un mayor efecto las combinaciones con mayor concentración de conidios.L<sup>-1</sup> a las 48 horas, expresando mortalidades de más del 80%, con la única excepción del hongo *L. lecanii* que a la concentración más alta, a las 48 horas solo expreso el 79.94% de mortalidad sobre *Melanaphis sacchari*. Los hongos *B. Bassiana* (97.17% mortalidad a la concentración más alta) y *M. anisopliae* (83.87% mortalidad a la concentración más alta), presentaron un comportamiento similar en el desarrollo del ensayo, se conoce que estos entomopatógenos poseen un amplio rango de hospederos, en comparación de *B. brongniartii* que posee menor rango de hospederos. Los entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae* tiene un mecanismo donde penetran por medio de acción enzimática y física y se reporta la muerte de los insectos dentro de 48 horas luego de iniciada (Estrada 2008). Por ende los resultados del ensayo a las 48 horas después de aplicación, comparados con los resultados de las 24 horas, resulto en mayores mortalidades, esto para todas las especies de hongos entomopatógenos (Figura 9).

En el presente estudio, se observó que *B. brongniartii* se comportó inferior en efectos de mortalidad en comparación con los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Esto puede deberse a que el hongo necesita mayor tiempo para causar un efecto, esto puede estar ligado a las características genéticas de la cepa, ya que la virulencia está estrechamente ligada a la variabilidad genética (Vargas 2003). El comportamiento de *M. anisopliae* fue diferente con respecto a los demás hongos entomopatógenos ya que a la concentración de  $1 \times 10^{-8}$  con respecto a la  $1 \times 10^{-7}$  fue menor, es probable que la cepa utilizada no haya tenido alta pureza, y que tenga algún contaminante desde su origen ya que se sabe que el éxito de un micoinsecticida de origen microbiano radica en una buena formulación, que depende de las características del microorganismo, su relación con los componentes de la formulación y el ambiente de almacenamiento (Tanzini *et al.* 2001). Por su parte, *L. lecanii* mostró altas mortalidades solo a las concentraciones más altas, esto puede explicarse por que la virulencia está ligada a la genética de la cepa, la capacidad de diseminación, la viabilidad de los conidios (Hincapié *et al.* 1990).

La combinación hongo entomopatógeno y concentración de conidios, que obtuvo las mortalidades más altas fueron *B. bassiana* a concentración  $1 \times 10^8$  y  $3 \times 10^8$ , *B. brongniartii* concentración  $3 \times 10^8$  y *M. anisopliae* a concentraciones  $1 \times 10^8$  y  $3 \times 10^8$ , los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae* tienen un comportamiento muy similar y no presentan diferencias estadísticas entre ellos. Se sugiere que las combinaciones de hongos entomopatógenos y las concentraciones de conidios que presentaron mejores resultados en el estudio pueden ser utilizadas en evaluaciones de campo debido a su potencial como herramientas para el control del Pulgón Amarillo del Sorgo. Sin embargo, hay que considerar que las condiciones en las que se desarrolló el ensayo, no se vieron afectadas por factores externos como el viento y el exceso de radiación solar, manteniendo una elevada humedad relativa (HR) durante el periodo de la prueba, además la aplicación tuvo una cobertura completa sobre los áfidos. En cuanto a los formulados de los hongos, se mantuvieron las condiciones de temperatura (cadena de frío), hasta el momento de su uso, lo que asegura su viabilidad. Los hongos y concentraciones propuestas prácticamente no muestran diferencias significativas, por lo que su efectividad en campo puede ser similar. Es necesario recordar que los efectos de los hongos no consisten solamente en matar al insecto, sino también en lograr reducir el daño que este ocasiona en la planta antes de la muerte del insecto, al reducir su actividad.

Al realizar las pruebas a nivel de campo, es necesario tomar en cuenta que la eficacia de los hongos contra los insectos depende de especie o cepa específica del hongo patógeno (Estrada 2008). Por otra parte, existen estudios que determinaron que el hongo entomopatógeno *L. lecanii* evaluado sobre *Myzus persicae* en condiciones de invernadero presentó mortalidades de 100%, al ser llevado a campo la mortalidad disminuyó a un 76.2% debido a las condiciones abióticas (Hincapie *et al.* 1990), lo cual está influenciado por las condiciones climáticas, cepas utilizadas y pureza del producto aplicado.

Para asegurar el buen desempeño en campo, se recomienda usar productos puros, de alta calidad, viabilidad y virulencia, ya que es mayor la probabilidad de que actúe bien en el campo para el control de los insectos (Góngora *et al.* 2009). Se debe tener en cuenta que los hongos pueden adaptarse a la zona en que se va a realizar el control.

#### 4.2.4 Análisis económico

El sorgo es un cultivo sembrado que no requiere de muchos cuidados para su desarrollo, por tanto, se debe tomar en cuenta los costos que este implica, la concentración que presento mejor índice de costo efectividad, fue el hongo *B. bassiana* a  $1 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>, obteniendo mortalidades altas, similares a las obtenidas a concentración más altas ( $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>).

CENTA (Figura A: 10 y 11) recomienda la utilización de Oxamil (King 24 SL) con un costo de \$34.07 por mz, (Vydate 24 SL) \$35.15 por mz, a dosis de 5.88 ml por litro de agua e Imidacloprid con (Confidor 70WG) \$67.74 con una dosis de 0.76 gr por litro de agua. Por otra parte, algunos agroservicios (comunicación personal) recomiendan Acefato (Farzar) 1 gr por litro, con un costo estimado de \$13.50 por manzana (Cuadro 10).

Para la aplicación de la concentración  $1 \times 10^7$  conidiosx1<sup>-1</sup> el costo es de \$0.24 por manzana para un volumen estimado de 200 L.mz<sup>-1</sup>, mientras que para la concentración  $1 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>, tiene un costo de \$2.34 es tres veces menos el costo que aplicar la concentración  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup> que tiene un precio para 200 L de \$7.00. En el caso de que la planta de sorgo presente una altura mayor, sería necesario incrementar el volumen de aplicación hasta 400 L.mz<sup>-1</sup>. Los costos de aplicación para la concentración recomendada serían de \$ 4.70 por manzana (Cuadro 11).

**Cuadro 10: Comparación de costos de agroquímicos recomendados por CENTA versus entomopatógenos evaluado en sus combinaciones más efectivas.**

Ingrediente activo	Nombre comercial	Presentación	Precio público \$	Dosis por mz	Costo por mz \$
Imidacloprid	Plural	250 ml	\$33.19	0.535	\$71.03
	Confidor 70 WG	13 gr	\$07.53	152.94	\$67.74
Oxamil	Vydate 24 SL	500 ml	\$14.94	1.1764	\$35.15
	King 24 SL	250 ml	\$07.24	1.1764	\$34.07
Acefate	Farzar	200 gr	\$13.50	200	\$13.50

**Cuadro 11: Costo de la utilización de hongos entomopatógenos por manzana de las combinaciones más eficientes, en el ensayo.**

Entomopatógeno	Concentración de conidios	Presentación	Precio unitario	Dosis por mz	Costo por mz \$
<i>L. lecanii</i>	3x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	200	\$7.00
<i>M. anisopliae</i>	3x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	200	\$7.00
<i>B. brongniartii</i>	3x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	200	\$7.00
<i>B. bassiana</i>	3x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	200	\$7.00
<i>M. anisopliae</i>	1x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	66.67	\$2.34
<i>B. bassiana</i>	1x10 <sup>8</sup>	1 kg	\$35.00	66.67	\$2.34

El acefate comparado con los demás insecticidas recomendados, posee el menor costo por manzana, similar al de dos aplicaciones de hongos entomopatógenos, a la concentración más alta. Sin embargo, al uso de hongos entomopatógenos, se le debe agregar el pago del jornal \$7.47 para muestreo, ya que los hongos actúan solo con la presencia de los insectos, a diferencia de los insecticidas que pueden estar presentes en la planta mientras dure su poder residual. Por otra parte, el Oxamil con un precio de \$34.07 por manzana, lo que equivale a aplicar cuatro veces los entomopatógenos y aun agregar el jornal de \$7.47, para el muestreo, haciendo un total de \$35.47. En cuanto al Imidacloprid tiene un costo de \$67.74 por manzana, no es rentable económicamente debido a que el sorgo es un cultivo que se siembra después del maíz, además que se ha visto como un cultivo que requiere pocos cuidados por su resistencia a plagas y enfermedades, así como también a la sequía.

#### 4.2.5 Aspecto Ambiental y de Salud.

La aplicación de insecticidas manejados de forma incorrecta, implican una serie de consecuencias negativas a las aguas subterráneas, suelo, fauna y a la salud humana de los aplicadores, ya que no se siguen las normas de seguridad.

El precio del Acefato es menor con respecto a los demás insecticidas recomendados, pertenece al grupo de los organofosforados, con acción sistémica y de contacto, utilizado para el control de insectos masticadores y chupadores. Causante de daños en el ambiente como la contaminación de aguas subterráneas, ya que es muy soluble y móvil en el suelo. Es un agente tóxico para la salud humana, causando efectos crónicos, taquicardia, bloqueo cardíaco, calambres abdominales, efectos respiratorios, es nocivo por ingestión, además de causar efectos reproductivos, y ser un posible carcinógeno humano (Cruz *et al.* 2017).

La recomendación de CENTA está basada en ingredientes activos Oxamil e Imidacloprid. El Oxamil es un insecticida carbamato, sistémico y de contacto. Al ser de contacto no solo afecta al insecto blanco, sino que a los depredadores que se encuentran en medio del cultivo, donde se aplica este producto. Es tóxico para organismos acuáticos, además de causar intoxicación en humanos por medio del agua, al asociarse con el consumo de alcohol, este químico puede causar intoxicaciones graves (Cruz *et al.* 2017). Se han descrito casos con afectación del sistema nervioso central y periférico, así como fracaso renal agudo por acción directa del ingrediente activo (Escámez *et al.* 2000). Posee un efecto residual moderado, es soluble y persistente en aguas subterráneas, encontrándose entre los 10 insecticidas problemáticos que no superan la norma de agua potable (Pajuelo 2010).

Por su parte, el Imidacloprid. a diferencia del Oxamil, es muy específico en su acción sobre insectos, pero aun así significa un peligro ya que causa intoxicación en las abejas, provocando pierdan la orientación, dando mala información de donde se encuentran las fuentes de alimentación, ocasionando que se pierdan en campo. Extremadamente tóxico para lombrices y muy tóxico para organismos acuáticos (Cruz *et al.* 2017).

La utilización de tratador de semillas con insecticidas sistémicos como Thiametoxam (Cruiser 35 FS) o Imidacloprid (Gaucho, Blindage) es una alternativa, recomendada para el control de insectos que se alimentan o succiona los tejidos vegetales, el cual no produce retraso en la emergencia de las plántulas tratadas, permitiendo su normal desarrollo, no es mutagénico, ni cancerígeno, no causa daños en abejas (Cruz *et al.*

2017). Además de otorgar protección las primeras 3 a 4 semanas después de la germinación a las plántulas, permitiendo mayor tiempo para realizar el muestreo y presenta un menor riesgo para el medio ambiente y los trabajadores.

## 5 CONCLUSIONES

Bajo las condiciones que se realizó el presente estudio, se concluye que:

Los tratamientos de especie de hongo entomopatógeno y concentración de conidios con mejores resultados en el tiempo, causando mayores mortalidades fueron los que se les aplicó las formulaciones de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, a las 48 horas después de aplicación.

Las mayores concentraciones de conidios, presentaron mayores mortalidades, siendo la concentración  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup> la mejor. Para todas las especies de entomopatógenos presentes en la evaluación.

El uso de hongos entomopatógenos es una alternativa viable, en el manejo del Pulgón amarillo del sorgo, siempre y cuando se tome en cuenta la calidad del producto, las condiciones ambientales donde se va a aplicar, y la calidad de la aplicación.

Los micoinsecticidas pueden ser aplicados con las tecnologías disponibles (bombas de mochila, bombas de mochila motorizada, tractores con boom, aplicaciones aéreas) siendo una alternativa a tomar en cuenta en programas de manejo integrado de plagas, tomando en cuenta que no es tóxico para humanos, ni representa un riesgo para animales domésticos y fuentes de agua.

Con base al análisis económico, se puede usar las concentraciones de  $1 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup> del hongo *B. bassiana*, y las concentraciones  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup> de todas las especies de entomopatógenos a las 48 horas después de aplicación.

La concentración más alta evaluada,  $3 \times 10^8$  conidios.L<sup>-1</sup>, demostró tener un menor costo que los insecticidas sintéticos recomendados para el control del PAS.

## 6 RECOMENDACIONES

Llevar la evaluación a campo con las concentraciones de conidios más eficaces resultantes del presente estudio, manteniendo el cuidado de realizar una buena cobertura sobre las plantas.

Realizar pruebas con combinaciones de hongos entomopatógenos y evaluar su efectividad en campo.

Al evaluar en campo se debe tener presente, que el desarrollo de los entomopatógenos está regido por las condiciones antes, durante y después de la aplicación. Por tanto, se debe tener el debido cuidado en el manejo de los productos (cadena de frío), además de los cuidados a las horas de la aplicación.

Para la aplicación de hongos entomopatógenos en el cultivo de sorgo, el áfido debe estar presente en una densidad que no represente un riesgo para el desarrollo del cultivo. Esto asegura la efectividad del control, tomando en cuenta que los hongos no son persistentes dentro del cultivo, y su acción puede llevar tiempo, no es instantánea.

Los hongos a utilizar deben tener las condiciones que requieren ya que un mal proceso de elaboración, almacenamiento, mala calidad del producto y cobertura de aplicación puede repercutir en el efecto causado.

La aplicación de hongos entomopatógenos se debe incluir en un Manejo integrado de *Melanaphis sacchari*, integrado con prácticas preventivas, culturales y mecánicas en el cultivo de sorgo.

Evaluar el efecto que tienen los hongos entomopatógenos sobre las especies de insectos depredadores y polinizadores.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Alcides Monino, J; Cavalcanti, RS. 2012.** Manual de biología de suelos tropicales. Veracruz, PROAGRAF, S.A. de C.V., p.350.
- Araujo, E; Henrique, E. 2009.** Hongos Entomopatógenos: Importante Herramienta para el control de «Moscas Blancas» (Homoptera: Aleyrodidae). Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronómica. 5: 2009-242.
- Audersirk, T; Audesirk, G; Byers, BE. 2003.** Biología: la vida en la tierra. 6 ed. Mexico, s.e., 488.
- Ayala Campaña, OM. 2006.** determinacion de agresividad de hongos entomopatogenos para *Macrodentylus* sp.(Catzco de Maiz) Chillanes. Bolivar. s.l., Universidad Central del Ecuador.
- Bakr, E. 2007.** LdP Line. Consultado 20 abr. 2017. Disponible en <http://embakr.tripod.com/ldpline/index.htm>
- Blackman, R.L.; Eastop, V.F. 2000.** Aphids on de world's crops. An identification and information guide. Chichester, uk
- Cañedo, V; Ames, T. 2004.** Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Centro Int Lima, Peru, s.e., 62.
- Carballo, M; Enilda, C; Chaput, P; Fernández, O; Gonzáles, L; Gruber, AK; Guharay, F; Hidalgo, E; Narváez, C; Lopez, JA; Rizo, C; Rodriguez, A; Rodriguez, C; Salazar, D. 2004.** Control biológico de plagas agrícolas. Ed. F Carballo, M. Guharay. CATIE (Cen Nicaragua, CATIE (Centro Agronomico de Investigación y Enseñanza)., 197.
- CATIE. 1987.** Artículos selectos sobre afidos y su importancia economica en la agricultura de Centroamerica. II Panama, s.e., 78.
- \_\_\_\_\_. **1990.** Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de maíz. 1990: 88.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2016.** Gobierno implementa plan de control del pulgón amarillo del sorgo. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/2015/gobierno-implementa-plan-para-el-control-del-pulgón-amarillo/>
- CIMMYT. 1988.** La Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Mexico D.F., s.e., 86.
- Cruz, E de la; Bravo, V; Ramírez, F. 2017.** Manual de plaguicidas de Centroamérica. Consultado 28 mar. 2017. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/331-imidacloprid> (UNA (Universidad de Costa Rica)).
- Doncaster, C.P., Davey, A.J.H. 2007.** Analysis of variance and covariance: How to choose and construct models for the life sciences. Cambridge, Cambridge University Press.
- Escámez, JC; Rubí, JM; Rodriguez, FY. 2000.** Organoclorados , Carbamatos y Herbicidas. Principios de urgencias, emergencias y cuidados críticos 2000: 21.
- Estrada, C. 2008.** Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. s.l., s.e., 1-208.

- Fellows, I. 2012.** Deducer: A data analysis GUI for R. *Journal of Statistical Software*, 49(8), 1-15. URL:<http://jstatsoft.org/v49/i08>
- Gómez, H. 1999.** Experiencias en la utilización del hongo *Metharizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin en el control de plagas agrícolas en el Perú. *Revista Peruana de Entomología* 41: 79-82.
- Góngora, C; Marín, P; Benavides, P. 2009.** Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café. *Avances técnicos Cenifacfe* no.16: 3-8.
- Hanson, P; Hilje, L. 1993.** Control biológico de insectos. Ed. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). s.l., s.e., 40.
- Henderson, CF; Tilton, EW. 1955.** Tests with acaricides against the brown wheat mite. *J. Econ. Entomol.* 48: 157-161.
- Hernández Valle, MA; George Férman, RE. 2016.** variedad CENTA ChG. CENTA(Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba ) dic. 2016: 8.
- Hincapie, R V.; Ospina, HA; Bustillo, AE; Saldarriaga, VA. 1990.** Evaluación del entomopatógeno *Verticillium lecanii* en el control del áfido *Myzus persicae* en crisantemos. 16(2): 21-27.
- INTA. 2014.** « Pulgones » Grupo de Ecología de Poblaciones de Insectos Anotaciones. Eds. J Villacide; M Ascicchi. Argentina, s.e., 1-7.
- IRAC. 2017.** IRAC mode of action classification scheme. s.l., s.e., 1-26.
- Lenth, R.V. 2016.** Leas-Squares Means: the R package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1), 1-33. doi:10,18637/jss.v69.i01.
- Leucona, R. 1996.** Microorganismos Patógenos empleados en el control microriano de insectos plagas. Buenos Aires, s.e., 338.
- Linares., V. 2016.** Pulgón amarillo afecta 30 % de sorgo cultivado. San salvador, ene. 28.
- Monzon, A. 2008.** Producción y uso de hongos entomopatógenos. Ed. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). s.l., s.e., 1-63.
- Nicholls, CI; Altieri, M.Á. 2004.** Estrategia para manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología* 1: 37-48.
- Pajuelo, AG. 2010.** Neonicotinoides versus abejas . A. G. Pajuelo, consultores apícolas, asistencia técnica y formación. 2010: 1-6.
- Ponema. 2001.** Cómo controlar a los pulgones. *Fertilidad de la tierra* 4: 9-14.
- R Core Team. 2017.** language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing 2017.
- Reyes, CR. 2015.** Recomendaciones para el manejo del pulgón amarillo del sorgo. Mexico, Consultado 28 mar. 2016. Disponible en <http://panorama-agro.com/?p=6917> (Panorama Agropecuario).
- Rodríguez del Bosque, L; Arredondo Bernal, H. 2007.** Teoría y aplicación del Control Biológico. Ed. SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad Agroalimentaria). 1a ed. Mexico, s.e., 303.
- SAGARPA; SENASICA; CESAVESIN. 2015.** programa de trabajo de la campaña pulgón amarillo del sorgo a operar con recursos del componente de sanidad vegetal del programa

de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2015, en el estado de Sinaloa. 2015: 11.

**SENASICA. 2014.** Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* ( Zehntner ) SENASICA Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* ( Zehntner ). no.43: 15.

**Singh, BU; Padmaja, PG; Seetharama, N. 2004.** Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum. Crop Protection 23: 739-755.

**Sosa, M. 2009.** Prospección de enemigos naturales barrenador del fruto (*Neoleucinodea alegantalis*) (Guenée) de la naranjilla (*Solanum quitoense*) y evaluación de la incidencia de las plagas en el cultivo. s.l., Universidad central del Ecuador. 104 p.

**Susan, V rubio; Castiel, A fereres. 2005.** Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos. no.5: 1-16.

**Tanzini, MR; Setten, A; Augusto, NT. 2001.** Compatibilidad de agentes tensoactivos con *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) no.59: 15-18.

**Téllez Jurado, A; Guadalupe, M; Ramírez, C; Flores, YM. 2007.** Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. © 2009 Revista Mexicana de Micología. 2007: 80.

**Van Driesche, RG; Hoddle, MS; Center, TD. 2007.** Control de Plagas y Malezas por Enemigos Naturales. Forest Health Technology Enterprise Team. s.l., s.e., p.765.

**Vargas Flores, ME. 2003.** Caracterización de tres cepas de *Beauveria brongniartii* (Saccardo) Petch y su virulencia en *Phthorimaea operculella* (Zeller) y *Symmetrischema tangolias* (Gyen). s.l., Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 0-201 p.

**Vera Robles, A; Alcázar Sedano, J; Aréstegui P, A. 1995.** Patogenicidad del hongo *Beauveria brongniartii*, sobre el gorgojo de los Andes *Prennotrypes latithorax*. Revista Peruana de Entomología 38(1): 95-98.

**Zeledón, HH; Hernández, AM; Ayala Moran, JE; Guzmán de Serrano, RF; Borja, CA; Alvarado de Torres, M; Calderon, VR. 2011.** Guía técnica del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Eds. M Mejia; JA Orellana; BN Menjivar. MAG (Minis s.l., s.e., 40.

## 8 ANEXOS.

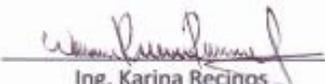


## CERTIFICADO DE COMPOSICIÓN

CERTIFICO, que el análisis microbiológico realizado al producto **BEAUVERIA BASSIANA 10WP (Lote BB11282016)** para determinar la concentración del ingrediente activo, dio el siguiente resultado:

COMPOSICION	CONCENTRACION (P/P)
Ingrediente Activo <i>Beauveria Bassiana</i>	10.00 % ( $3.0 \times 10^{11}$ conidios /Kg)
Ingrediente inerte: Maltodextrina (Inamalt)	90.00 %
Total	100.00 %

El presente CERTIFICADO se extiende en la Ciudad de Guatemala, el día 28 de Noviembre del 2016.

  
 Ing. Karina Recinos  
 Gerente de Producción Laboratorio



### Procedimiento:

Se recibió una muestra del producto comercial denominado **BEAUVERIA BASSIANA 10WP (Lote BB11282016)**, que de acuerdo a la información proporcionada por la empresa Agroindustrias Successo S.A. es utilizado como Insecticida microbiológico. Se llevó a cabo la cuantificación de conidios viables del hongo entomopatógeno *Beauveria Bassiana*, contenidos en el producto.

La técnica consistió en realizar diluciones seriadas de  $10^2$ - $10^4$  de la muestra del producto comercial **BEAUVERIA BASSIANA 10WP (Lote BB11282016)** y de éstas se agregaron 100 uL a cada una de las cajas Petri con medio de cultivo Agar Dextrosa Saboureaud y Agar Nutritivo, que se distribuyeron uniformemente con perlas de cristal estériles. Las placas de cultivo posteriormente se incubaron a 27°C por 72 h, y posteriormente se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonia en desarrollo por cada una de las diluciones, las cuales corresponden a la cantidad de esporas viables contenidas en el producto.

3 Avenida 3-69 Zona 8 de Mixco Los Balcones Cd. San Cristóbal Guatemala  
 Teléfonos: 2478-3942, 2478-3103, Fax: 2478-3103, Email: [successo@intelnett.com](mailto:successo@intelnett.com)

Figura A 1: Certificado de composición de *Beauveria bassiana*.

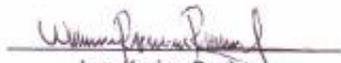


## CERTIFICADO DE COMPOSICIÓN

CERTIFICO, que el análisis microbiológico realizado al producto **BEAUVERIA BRONGNIARTII 10WP (Lote BB11282016)** para determinar la concentración del ingrediente activo, dio el siguiente resultado:

COMPOSICION	CONCENTRACIÓN (P/P)
Ingrediente Activo <i>Beauveria Brongniartii</i>	10.00 % ( $3.0 \times 10^{11}$ conidios /Kg)
Ingrediente inerte: Maltodextrina (Inamalt)	90.00 %
Total	100.00 %

El presente CERTIFICADO se extiende en la Ciudad de Guatemala, el día 28 de Noviembre del 2016.

  
 Ing. Karina Recinos  
 Gerente de Producción Laboratorio



### Procedimiento:

Se recibió una muestra del producto comercial denominado **BEAUVERIA BRONGNIARTII 10WP (Lote BB11282016)**, que de acuerdo a la información proporcionada por la empresa Agroindustrias Successo S.A. es utilizado como Insecticida microbiológico. Se llevó a cabo la cuantificación de conidios viables del hongo entomopatógeno **BEAUVERIA BRONGNIARTII**, contenidos en el producto.

La técnica consistió en realizar diluciones seriadas de  $10^2$ - $10^4$  de la muestra del producto comercial **BEAUVERIA BRONGNIARTII 10WP (Lote BB11282016)** y de éstas se agregaron 100 uL a cada una de las cajas Petri con medio de cultivo Agar Dextrosa Saboureaud y Agar Nutritivo, que se distribuyeron uniformemente con perlas de cristal estériles. Las placas de cultivo posteriormente se incubaron a 27°C por 72 h, y posteriormente se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonia en desarrollo por cada una de las diluciones, las cuales corresponden a la cantidad de esporas viables contenidas en el producto.

3 Avenida 3-69 Zona 8 de Mixco Los Balcones Cd. San Cristóbal Guatemala  
 Teléfonos: 2478-3942, 2478-3103, Fax: 2478-3103, Email: [successo@intelnett.com](mailto:successo@intelnett.com)

Figura A 2: Certificado de composición de *Beauveria brongniartii*.

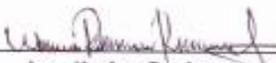


## CERTIFICADO DE COMPOSICIÓN

CERTIFICO, que el análisis microbiológico realizado al producto **LECANICILLIUM LECANI 10WP (Lote LL01122016)** para determinar la concentración del ingrediente activo, dio el siguiente resultado:

COMPOSICION	CONCENTRACION (P/P)
Ingrediente Activo <i>Lecanicillium Lecani</i>	10.00 % (3.0 X 10 <sup>11</sup> conidios /Kg)
Ingrediente inerte: Maltodextrina (Inamalt)	90.00 %
Total	100.00 %

El presente CERTIFICADO se extiende en la Ciudad de Guatemala, el día 28 de Noviembre del 2016.

  
 Ing. Karina Recinos  
 Gerente de Producción Laboratorio



### Procedimiento:

Se recibió una muestra del producto comercial denominado **LECANICILLIUM LECANI 10WP (Lote LL01122016)**, que de acuerdo a la información proporcionada por la empresa Agroindustrias Successo S.A. es utilizado como Insecticida microbiológico. Se llevó a cabo la cuantificación de conidios viables del hongo entomopatógeno *Lecanicillium Lecani*, contenidos en el producto.

La técnica consistió en realizar diluciones seriadas de 10<sup>-2</sup>-10<sup>-4</sup> de la muestra del producto comercial **LECANICILLIUM LECANI 10WP (Lote LL01122016)** y de éstas se agregaron 100 uL a cada una de las cajas Petri con medio de cultivo Agar Dextrosa Saboureaud y Agar Nutritivo, que se distribuyeron uniformemente con perlas de cristal estériles. Las placas de cultivo posteriormente se incubaron a 27°C por 72 h, y posteriormente se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonia en desarrollo por cada una de las diluciones, las cuales corresponden a la cantidad de esporas viables contenidas en el producto.

3 Avenida 3-69 Zona 8 de Mixco Los Balcones Cd. San Cristóbal Guatemala  
 Teléfonos: 2478-3942, 2478-3103, Fax: 2478-3103, Email: [successo@intelnett.com](mailto:successo@intelnett.com)

Figura A 3: Certificado de composición de *Lecanicillium lecanii*.



## CERTIFICADO DE COMPOSICIÓN

CERTIFICO, que el análisis microbiológico realizado al producto **BIOMET 10WP (Lote BM011232016)** para determinar la concentración del ingrediente activo, dio el siguiente resultado:

COMPOSICION	CONCENTRACION (P/P)
Ingrediente Activo <i>Metarhizium Anisopliae</i>	10.00 % ( $5.0 \times 10^8$ conidios /Kg)
Ingrediente inerte: Maltodextrina (Inamalt)	90.00 %
Total	100.00 %

El presente CERTIFICADO se extiende en la Ciudad de Guatemala, el día 24 de Noviembre del 2016.

  
 Ing. Karina Recinos  
 Gerente de Producción Laboratorio



### Procedimiento:

Se recibió una muestra del producto comercial denominado **BIOMET 10WP (Lote BM11232016)**, que de acuerdo a la información proporcionada por la empresa Agroindustrias Sucesso S.A. es utilizado como Insecticida microbiológico. Se llevó a cabo la cuantificación de conidios viables del hongo entomopatogeno *Metarhizium anisopliae*, contenidos en el producto.

La técnica consistió en realizar diluciones seriadas de  $10^2$ - $10^4$  de la muestra del producto comercial **BIOMET 10WP (Lote BM11232016)** y de éstas se agregaron 100 uL a cada una de las cajas Petri con medio de cultivo Agar Dextrosa Saboureaud y Agar Nutritivo, que se distribuyeron uniformemente con perlas de cristal estériles. Las placas de cultivo posteriormente se incubaron a 27°C por 72 h, y posteriormente se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonia en desarrollo por cada una de las diluciones, las cuales corresponden a la cantidad de esporas viables contenidas en el producto.

3 Avenida 3-69 Zona 8 de Mixco Los Balcones Cd. San Cristóbal Guatemala  
 Teléfonos: 2478-3942, 2478-3103, Fax: 2478-3103, Email: [successo@infelnett.com](mailto:successo@infelnett.com)

Figura A 4: Certificado de composición de *Metarhizium anisopliae*.



### Control biorracional:

Es el uso de sustancias naturales que no son tóxicas para las personas, los animales y el medio ambiente. Algunos ejemplos son: jabones, aceites vegetales y minerales, harinas, extracto de "Nim".

Recomendaciones para elaborar insecticida biorracional:

Diluir en agua de 2 a 6 copas de 25 cc de detergente líquido para ropa delicada por cada bomba de mochila de 17 litros con agua.



El uso de biorracionales se recomienda a partir de los 20 días después de la siembra (si la semilla ha sido tratada con insecticida) hasta la floración.

Cada aplicación debe hacerse en el contorno de la plantación para evitar que la plaga avance al centro del cultivo.

### Consideraciones generales para Biorracionales y productos químicos

- **Modo de aplicación:** Las aplicaciones deben realizarse de abajo hacia arriba de la planta, para que el producto quede en el envés de la hoja. Para ello, se recomienda que la boquilla asperje hacia arriba.
- **Precauciones:** Las aplicaciones deben realizarse en las primeras horas del día y con el equipo de protección adecuado. Es importante no aplicar productos químicos cuando el cultivo este próximo a floración y con altas poblaciones de abejas.

## PULGÓN AMARILLO DEL SORGO



### AVISO IMPORTANTE:

Ante cualquier caso de sospecha de presencia del Pulgón Amarillo del Sorgo puede comunicarse a las siguientes instituciones:

**Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Sanidad Vegetal**, Área de Vigilancia Fitosanitaria a los Teléfonos: San Salvador: 2202-0823; Santa Ana: 2432-0338 y San Miguel: 2637-0161

**Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova"**: Programa de Granos Básicos, Conmutador: 2397-2200 extensión 2587 / Directo: 2397-2258

**Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA)**, Representación en El Salvador, Teléfono: 2510-3505

**Febreiro 2016**

**Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV)**



### Control biorracional:

Es el uso de sustancias naturales que no son tóxicas para las personas, los animales y el medio ambiente. Algunos ejemplos son: jabones, aceites vegetales y minerales, harinas, extracto de "Nim".

Recomendaciones para elaborar insecticida biorracional:

Diluir en agua de 2 a 6 copas de 25 cc de detergente líquido para ropa delicada por cada bomba de mochila de 17 litros con agua.



El uso de biorracionales se recomienda a partir de los 20 días después de la siembra (si la semilla ha sido tratada con insecticida) hasta la floración.

Cada aplicación debe hacerse en el contorno de la plantación para evitar que la plaga avance al centro del cultivo.

### Control químico:

Si a pesar de utilizar las medidas anteriores la presencia de la plaga persiste en altas poblaciones se recomienda el control químico como última opción. Las alternativas son:

Producto	Dosis/ bomba de 17 litros	Modo de Acción	Cuando aplicar
Oxamil EC	100 cc (4 copas/bomba)	Sistémico	Cuando ya se encuentra el pulgón distribuido en todo el cultivo
Imidactoprid	13 g (según recomendación de la etiqueta)	Sistémico	Cuando ya se encuentra el pulgón distribuido en todo el cultivo. Evitar aplicar 3 semanas antes de la floración

### Consideraciones generales para Biorracionales y productos químicos

- **Modo de aplicación:** Las aplicaciones deben realizarse de abajo hacia arriba de la planta, para que el producto quede en el envés de la hoja. Para ello, se recomienda que la boquilla asperje hacia arriba.
- **Precauciones:** Las aplicaciones deben realizarse en las primeras horas del día y con el equipo de protección adecuado. Es importante no aplicar productos químicos cuando el cultivo este próximo a floración y con altas poblaciones de abejas.

### AVISO IMPORTANTE:

Ante cualquier caso de sospecha de presencia del Pulgón Amarillo del Sorgo puede comunicarse a las siguientes instituciones:

**Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Sanidad Vegetal**, Área de Vigilancia Fitosanitaria a los Teléfonos: San Salvador: 2202-0823; Santa Ana: 2432-0338 y San Miguel: 2637-0161

**Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova"**: Programa de Granos Básicos, Conmutador: 2397-2200 extensión 2587 / Directo: 2397-2258

**Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA)**, Representación en El Salvador, Teléfono: 2510-3505

Febreiro 2016

## PULGÓN AMARILLO DEL SORGO



**Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV)**



ORGANISMO INTERNACIONAL REGIONAL

Figura A 5: Brochure de recomendaciones de entidades en nuestro país.

## Recomendaciones para el manejo del Pulgón Amarillo del Sorgo (maicillo) en El Salvador



Figura 1. Población de pulgón amarillo del sorgo con ninfas y adultos.

El pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner 1897) es una especie invasora, con elevada capacidad de reproducción, que ataca al sorgo y se ha convertido en la plaga más importante del cultivo.

### Descripción del insecto

El pulgón amarillo es un insecto pequeño, de unos 2 milímetros en su estado adulto. Su color es de amarillo claro a amarillo pardo, lo que depende de la edad y el tipo de planta en que se ha desarrollado (Fig. 1).

Los pulgones amarillos forman colonias en el envés de la hoja, llegando a cubrirla totalmente en una semana, por su alta capacidad de reproducción.

La mayor parte de año no tienen alas, pero en condiciones de escasez de alimento o de clima adverso, éstos desarrollan alas para emigrar (Fig. 2).



Figura 2. Formas aladas de pulgón amarillo del sorgo.

### Importancia

Debido a las altas poblaciones en las que se presenta puede reducir el rendimiento hasta un 70% o más, dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo en la que se presente.

### Daño

El pulgón amarillo del sorgo chupa la savia de la planta afectando su desarrollo y crecimiento, disminuyendo su rendimiento. Además el pulgón produce excesiva mielecilla en donde se desarrolla el hongo de la fumagina, con apariencia de hollín, que interfiere con los procesos de alimentación (fotosíntesis) de las plantas.

No se ha demostrado que el pulgón amarillo afecte la alimentación de ganado (forraje).

### Plantas hospederas

Esta plaga se presenta exclusivamente en gramíneas; ataca preferentemente sorgo, zacate Johnson y Sudán (Fig. 3 y 4). En algunos países se reporta en caña de azúcar y arroz, por lo cual se hace necesario una mayor vigilancia en estos cultivos.



Figura 3. Zacate Johnson



Figura 4. Zacate Sudán

### Medidas de prevención

**Muestreo:** deben realizarse muestreos visuales en el envés o reverso de la hoja por lo menos dos veces por semana, de preferencia en el contorno del cultivo. Si se encuentra plantas infestadas por la plaga debe internarse (en zigzag) hacia el centro de la plantación, observando y revisando las plantas cada 5 surcos para determinar hasta donde se encuentra distribuida la plaga.

**Manejo de semilla a sembrar:** se recomienda tratar la semilla 24 horas antes de la siembra con un insecticida sistémico, por ejemplo: Imidacloprid 70 WS, para ello, en una bolsa plástica agregar 20 libras de semilla más un sobre de 48 gramos del insecticida. También se puede usar Imidacloprid 60 FS con una dosis de 125 ml por cada 20 lbs de semilla. Además se recomienda utilizar variedades de ciclo precoz, es decir no mayores de 90 días a madurez.

### Medidas de control

#### Control cultural:

1. Incorporar los rastrojos tan pronto termine la cosecha.
2. Eliminar la maleza hospedera (zacates Johnson y Sudán) antes y durante el desarrollo del cultivo.
3. Eliminar plantas de sorgo voluntarias (aquellas que nacen de una cosecha anterior o rebrotes).
4. No realizar fertilizaciones excesivas de nitrógeno (urea o sulfato de amonio).

#### Control biológico:



Figura 5. Mariquita roja, insecto depredador de pulgón

Es necesario considerar el manejo integrado de la plaga, sembrando temprano durante la fecha de siembra recomendada, tratando la semilla con insecticida sistémico y empleando cultivares precoces y resistentes, y conservando los enemigos naturales del pulgón como depredadores y parasitoides, por ejemplo: Mariquitas de color rojo (Figura 5), anaranjado y café, León de los Áfidos y parasitoides como avispietas.

Figura A 6 : Continuación de brochure de recomendación para el control del Pulgón Amarillo del Sorgo.