



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

---

---

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRODUCCIÓN DE CONIDIOS DE *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*)  
EN BIORREACTORES DE COLUMNA Y ESTADO DEL ARTE DE  
CONIDIOS Y METABOLITOS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS  
PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS.**

**T E S I S**

Para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA:

**ING. AMB. NALLELY SAN JUAN MALDONADO**

COMITÉ TUTORAL

Director:

**Dra. SILVIA RODRÍGUEZ NAVARRO.**

Co-Director:

**Dr. RAFAEL ALEJANDRO ANGEL CUAPIO.**

Asesor:

**Dr. JUAN ESTEBAN BARRANCO FLORIDO.**

Xochimilco, Cuidad de México, México, noviembre 2023.

---

El jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y  
de la Salud de la Unidad Xochimilco...

**Aprobó la tesis que presentó:**



Ing. Amb. Nallely San Juan Maldonado.

El día 14 de noviembre del año 2023.

**Comité tutorial:**

**Director:**

  
Dra. Silvia Rodríguez Navarro.

**Co-Director:**

  
Dr. Rafael Alejandro Ángel Cuapio.

**Asesor:**

  
Dr. Juan Esteban Barranco Florido.

Comité Evaluador:

**Presidente:**



---

Dr. Juan Esteban Barranco Florido

**Secretario:**



---

Dr. Francisco Miranda Hernández

**Vocal:**



---

Dra. María Judith Castellanos  
Moguel

# ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Manejo Integrado de Plagas (MIP) .....	6
2.2 Control biológico .....	6
2.3 Hongos entomopatógenos .....	7
2.3.1 Ventajas y desventajas de los HE .....	7
2.3.2 Mecanismos de patogenicidad.....	8
2.3.3 Productos comerciales formulados con entomopatógenos a nivel mundial .....	9
2.4 Técnicas para la cosecha de los HE .....	10
2.5 Métodos de aplicación de los HE .....	13
2.6 <i>Cordyceps fumosorosea</i> . Wize (1904) .....	13
2.6.1 Clasificación Taxonómica.....	13
2.6.2 Conidios .....	14
2.6.3 Metabolitos secundarios.....	15
2.7 Técnicas para la producción de <i>C. fumosorosea</i> .....	16
2.7.1 Producción en bolsas.....	16
2.7.2 Producción en bandejas .....	17
2.7.4 Producción en medio líquido .....	18
2.8 Bagazo de caña ( <i>Saccharum officinarum</i> ) (Linneo, Poaceae) .....	19
2.9 Texturizantes (soportes) .....	20
2.10 <i>Tenebrio molitor</i> (Linnaeus, 1758, Coleoptera: Tenebrionidae).....	21
3. JUSTIFICACIÓN .....	22
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	23
5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	23
5.1 Objetivo general.....	23
5.2 Objetivos específicos .....	23
5.3 Hipótesis.....	24
6. METODOLOGÍA.....	24
PRIMERA PARTE: TRABAJO DE LABORATORIO.....	24

6.1 Propagación, reactivación y conservación de la cepa.....	24
6.2 Determinación de parámetros físicos de la relación arroz/bagazo .....	25
6.3 Producción de conidios mediante fermentación sólida.....	25
6.3.1 Cinética de producción de conidios (arroz) .....	26
6.3.2 Cálculo de rendimiento y productividad .....	26
6.3.3. Porosidad y densidad aparente (Angel Cuapio, 2016).....	27
6.3.4 Producción de conidios en diferentes porosidades (arroz/bagazo).....	27
6.3.5 Cálculo de tasa específica de producción de conidios .....	28
6.3.6 Evaluación de la calidad de conidios obtenidos de <i>Cordyceps fumosorosea</i> (= <i>Isaria</i> ) en mezclas de arroz-bagazo de caña; mediante su aplicación en <i>Tenebrio</i> <i>molitor</i> (Linnaeus, 1758, Coleóptera, Tenebrionidae) .....	28
6.3.7 Cálculo de los parámetros de infectividad.....	29
6.4 Análisis estadístico .....	30
Segunda Parte. USO DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS. Revisión bibliográfica.....	30
7. RESULTADOS .....	31
PRIMERA PARTE: TRABAJO DE LABORATORIO.....	31
7.1 Cinética de producción de conidios de CHE-CNRCB 303.....	31
7.2 Determinación de porosidad y densidad aparente en diferentes relaciones de arroz/bagazo de caña .....	31
7.3 Producción de conidios de <i>C. fumosorosea</i> (CHE-CNRCB 303) en diferentes relaciones arroz/bagazo de caña.....	32
7.4 Producción, productividad, rendimiento y tasa de producción de Pae-sin (producto comercial); en diferentes porosidades arroz/bagazo de caña.....	33
7.4.1 Relación 100% arroz.....	33
7.4.2 Relación arroz/bagazo de caña: 90-10%.....	34
7.4.3 Relación arroz/bagazo de caña 80-20%.....	36
7.4.4 Relación arroz/bagazo de caña 70-30%.....	37
7.4.5 Relación arroz/bagazo de caña 50-50%.....	39
8. Evaluación de la calidad de conidios obtenidos de <i>C. fumosorosea</i> (= <i>Isaria</i> ) en mezclas de arroz-bagazo de caña; mediante su aplicación en <i>T. molitor</i> .....	41
8.1. <i>Tenebrio molitor</i> .....	41
SEGUNDA PARTE: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	42
9. DISCUSIÓN .....	42

10. CONCLUSIONES .....	47
11. BIBLIOGRAFÍA .....	49
SEGUNDA PARTE.....	60
12. USO DE METABOLITOS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS.....	60
13. ANEXOS .....	73
13.1 Determinación de parámetros físicos de la relación arroz/bagazo.....	73
13.2 Perspectivas .....	80
GLOSARIO.....	82

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del control biológico.

Cuadro 2. Hongos desarrollados o en proceso de desarrollo para el control biológico de plagas de insectos.

Cuadro 3. Taxonomía de *Cordyceps fumosorosea*.

Cuadro 4. Porcentaje de sobrevivencia *T. molitor*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de infección de un HE.

Figura 2. Tamiz manual.

Figura 3. Tamiz vibratorio eléctrico.

Figura 4. Raspado con agitador magnético.

Figura 5. Mezclador de concreto eléctrico.

Figura 6. Estructuras morfológicas de *C. fumosorosea*.

Figura 7. HE producidos en bolsas.

Figura 8. Producción de HE en bandejas.

Figura 9. *C. fumosorosea* producido mediante biorreactores de columna.

Figura 10. Producción de HE en medio líquido.

Figura 11. Ciclo de vida *T. molitor*: larva, pupa y adulto.

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cinética de producción de conidios de *C. fumosorosea* en biorreactores de columna.

Gráfico 2. Porosidad y densidad aparente en relaciones de arroz-bagazo de caña.

Gráfico 3. Producción de *C. fumosorosea* a los 11 días mediante biorreactores de columna en diferentes porosidades arroz-bagazo de caña.

Gráfico 4. Cultivo de *C. fumosorosea* en 100% arroz.

Gráfico 5. Cultivo de *C. fumosorosea* en arroz-bagazo de caña (90-10%).

Gráfico 6. Cultivo de *C. fumosorosea* en arroz-bagazo de caña (80-20%).

Gráfico 7. Cultivo de *C. fumosorosea* en arroz-bagazo de caña (70-30%).

Gráfico 8. Cultivo de *C. fumosorosea* en arroz-bagazo de caña (50-50%).



## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS**

Quiero dedicar este trabajo, principalmente a mi madre, María Maldonado Jiménez y agradecer por el apoyo incondicional que me ha dado desde el primer día en que ingrese a este posgrado, por sus palabras de aliento cada vez que decaía y por ser mi motivación de superación.

Esto también es con todo mi amor y esfuerzo para ti Blanchell que ahora te has convertido en mi gran motivación de crecimiento y fortaleza. También quiero agradecer a Héctor Hugo Jiménez González, por el apoyo emocional para concluir este camino, por darme siempre las mejores palabras de aliento y por ser un ejemplo de superación personal.

Al mismo tiempo, agradezco el apoyo y por siempre estar en la mejor disposición de apoyar y revisar, a mis asesores de tesis, los doctores: Rafael Angel Cuapio y Juan Esteban Barranco Florido. De la misma manera, agradezco para realizar las revisiones pertinentes y su aporte de sus conocimientos para la realización de este manuscrito de la Dra. Silvia Rodríguez Navarro.

Quiero externar también mi agradecimiento a la empresa AAC-BIOLAB y al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, por el material proporcionado y la oportunidad de continuar con el proyecto dentro de sus instalaciones.

Finalmente agradezco el apoyo que todos mis amigos y familia me dieron para concluir esta faceta de mi vida, por siempre alentar el proceso de empezar y cerrar este posgrado.

Los autores del presente agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de Maestría otorgada al Ing. Amb. Nallely San Juan Maldonado con el número de CVU 1006995.

## RESUMEN

El sector agrícola, ha sufrido a lo largo de los años pérdidas económicas importantes a causa de insectos considerados plagas que afecta su producción, por lo cual, los agricultores se han visto obligados a utilizar productos químicos que minimicen esta problemática, afectando diversos sectores ambientales y de salud pública. Una alternativa que se ha estudiado es el uso de hongos entomopatógenos (HE), que son agentes de control biológico con un amplio rango de infección en diferentes órdenes y géneros de insectos, siendo compatibles con el medio ambiente y con sus aplicadores.

Los HE han sido producidos tanto en nivel laboratorio, como a nivel industrial, utilizando arroz como sustrato; teniendo altos costos de producción, además de ser necesaria una buena oxigenación, contribuyendo a su esporulación y viabilidad y con ello tener un efecto positivo y una correcta aplicación.

Por lo anterior, en la presente investigación se evaluó la producción de *C. fumosorosea* en biorreactores de columna, utilizando arroz como sustrato y al mismo tiempo bagazo de caña como soporte, para favorecer el intercambio de gases en diferentes proporciones, y determinar cuál es la proporción que más favorece al crecimiento de este hongo. Por otro lado, se evaluó el efecto insecticida de los conidios de *C. fumosorosea* (ambas cepas) producidos en biorreactores de columna en un insecto modelo.

Por otra parte, se realizó una revisión bibliográfica en revistas especializadas actualizadas, relacionadas con la estructura y composición de los HE más utilizados, entre ellos sus metabolitos secundarios, analizando cuales son los resultados obtenidos actualmente; al aplicarse tanto de manera individual, como de manera sinérgica para el control de plagas agrícolas en los últimos años.

## **ABSTRACT**

The agricultural sector has suffered over the years significant economic losses due to insects considered pests that affect their production, for which, farmers have been forced to use chemical products that minimize this problem, affecting various environmental sectors and of public health. An alternative that has been studied is the use of entomopathogenic fungi (EF), which are biological control agents with a wide range of infection in different orders and genera of insects, being compatible with the environment and with their applicators.

The EF have been produced both in the laboratory and at the industrial level, using rice as a substrate, having high production costs, in addition to being necessary a good oxygenation, contributing to its sporulation and viability and thus having a positive effect and a correct application.

Therefore, in the present investigation the production of *C. fumosorosea* in column bioreactors was evaluated, using rice as a substrate and at the same time sugarcane bagasse as a support, to favor the exchange of gases in different proportions, and to determine which is the ratio that most favors the growth of this fungus. On the other hand, the insecticidal effect of *C. fumosorosea* conidia (both strains) produced in column bioreactors on a model insect was evaluated.

On the other hand, a bibliographic review was conducted in updated specialized journals, related to the structure and composition of the most used EF, including their secondary metabolites, analyzing the results currently obtained; when applied both individually and synergistically for the control of agricultural pests in recent years.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en los últimos años ha sido afectada por diferentes tipos de plagas; para su control los productores han seleccionado el control químico, mediante la aplicación de insecticidas; el uso indiscriminado ha favorecido la contaminación del aire y del agua del subsuelo, así como la eutrofización de cuerpos de agua, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono estratosférica e incremento del efecto invernadero, ocasionada por la aplicación de plaguicidas químicos, con el objetivo de proteger los cultivos de las plagas que los afectan, es necesario considerar alternativas para el manejo integrado de plagas con efectos menos agresivos al ambiente (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012; Castillo *et al.*, 2020).

La presencia de las plagas en los cultivos ocasiona la disminución del rendimiento, en algunos casos, alcanza entre un 20-30%, a pesar del incremento substancial en el uso de plaguicidas (cerca de 500 mil toneladas de ingrediente activo a nivel mundial), estos datos reflejan la crisis ambiental que afecta a la agricultura, incluyendo la resistencia que adquieren los insectos plaga debida a el uso de insecticidas (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Se estima que las pérdidas en la producción agrícola mundial, por plagas, fluctúan entre 20 y 40 %, ocasionando mermas económicas de miles de millones de dólares al año; además, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) prevé la necesidad mundial de producir 60 % más de alimentos para el sustento de una población más numerosa en todo el planeta (Zepeda-Jazo, 2018). En México, las perdidas por plagas alcanzan hasta un 78.5% ocasionando mermas económicas de millones de pesos al año (INEGI, 2019).

Por todo lo anterior, es necesario el desarrollo e implementación de nuevas alternativas biotecnológicas, amigables con el medio ambiente, como lo son hongos, bacterias y virus, que se utilizan para el control biológico de insectos y vectores considerados plaga (Dávila y Rodríguez, 2021).

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Manejo Integrado de Plagas (MIP)**

Se define como el conjunto de herramientas que manejadas de manera coordinada y oportuna logra mantener a las poblaciones de plagas como: malezas, insectos y vertebrados (Vivas, 2017), destacando el uso de agentes de control biológico, como alternativa sustentable para aminorar los efectos negativos en la productividad y calidad de los cultivos agrícolas causada por distintas enfermedades y plagas, disminuyendo la resistencia y reduciendo la contaminación de los suelos y mantos acuíferos (Villegas-Mendoza *et al.*, 2019).

### **2.2 Control biológico**

En el Manejo Integrado de Plagas (MIP), en la agricultura sostenible y en los sistemas agrícolas orgánicos; el papel que desempeña el control biológico es muy importante; para disminuir el uso excesivo de plaguicidas, por lo que es necesario desarrollar métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente (Vázquez y Pérez, 2017). Otras de la ventajas del uso del control biológico son: beneficios a la economía de los agricultores, protección del ambiente y a la salud de los consumidores. Además, ha contribuido al desarrollo de la agricultura de México y otros países (Pacheco *et al.*, 2019).

Durante la mitad del siglo XIX, se utilizaba azufre como sustancia “purificadora” para eliminar los hongos; el rey de Persia usaba flores de piretro (*Tanacetum cinerariifolium*) (Trevir, Asteraceae) como insecticida y los chinos aplicaron los arsenitos para el control de roedores y otras plagas (Del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014). El control biológico aplica organismos vivos y/o partes de ellos, para disminuir la población de insectos plaga y patógenos que afectan a los cultivos (Pérez, 2008).

Para las empresas que producen y comercializan bioplaguicidas, así como dependencias dedicadas a la investigación para el control biológico de plagas, han desarrollado proyectos de investigación, principalmente sobre entomopatógenos, debido a que permiten controlar los organismos nocivos sin daños al medio ambiente y la salud; Tomando en cuenta las ventajas que presenta el control

biológico sobre el control químico de plagas, es importante la búsqueda, determinación y clasificación de microorganismos entomopatógenos, lo cual tiene por objeto aislar cepas patógenas en el ambiente natural, el desarrollo de formulaciones de estos microorganismos y promover asimismo la investigación en el desarrollo de estos microorganismos (Gallegos *et al.*, 2016).

### **2.3 Hongos entomopatógenos**

Los hongos entomopatógenos (HE), son un grupo de microorganismos que contribuyen de diversas maneras a los sistemas agroecológicos, entre ellos, está la capacidad de regular las poblaciones de organismos considerados como plagas, para mantenerlas en niveles por debajo del umbral económico (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011). Actualmente, se han descrito más de 90 géneros y 700 especies de HE y el aislamiento de nuevas cepas continúa, dentro de los más utilizados a nivel mundial, se encuentran: *Metarhizium anisopliae* con el 33.9%, *Beauveria bassiana* con el 33.9%, *Cordyceps (=Isaria) fumosorosea* con el 5.8% y *Beauveria brongniartii* con el 4.1% (Tellez-Jurado *et al.*, 2009, González *et al.*, 2019).

Los HE desarrollan la enfermedad en los insectos, cuando la humedad relativa es superior a 70% con una temperatura de 24 y 30 °C, aunque, es necesario conocer el ciclo biológico de la plaga de interés y sus hábitos, para su oportuna aplicación (Gallegos *et al.*, 2016). El desarrollo de bioplaguicidas, cuyo ingrediente activo son los HE, requiere una investigación sistemática para seleccionar las especies de hongos más eficaces, que puedan jugar un papel importante en el control de una plaga (Barrios *et al.*, 2016).

#### **2.3.1 Ventajas y desventajas de los HE**

Los hongos entomopatógenos no dañan el medio ambiente, forman parte natural del propio ecosistema, su uso está vinculado al concepto actual de “agricultura verde”, a diferencia de los compuestos químicos cuyos principios activos persisten en el suelo como contaminantes, los bioinsecticidas elaborados a partir de hongos se integran a los agroecosistemas como organismos benéficos, teniendo, por ello, un impacto favorable. Poseen especificidad de grupo, con rango de hospederos

generalistas y específicos en función con el organismo, no se ha detectado resistencia, son económicamente costeables, principalmente para las aplicaciones en donde no exista la aplicación del control químico, los métodos de aspersión son relativamente adaptables, desde el punto de vista de la biotecnología su desarrollo no es de alto costo; además, su registro fitosanitario es comparativamente menos costoso y más expedito que el requerido para los plaguicidas químicos.

**Cuadro 1.** Ventajas y desventajas del control biológico  
(Cortés, 2011, Alberto, 2016).

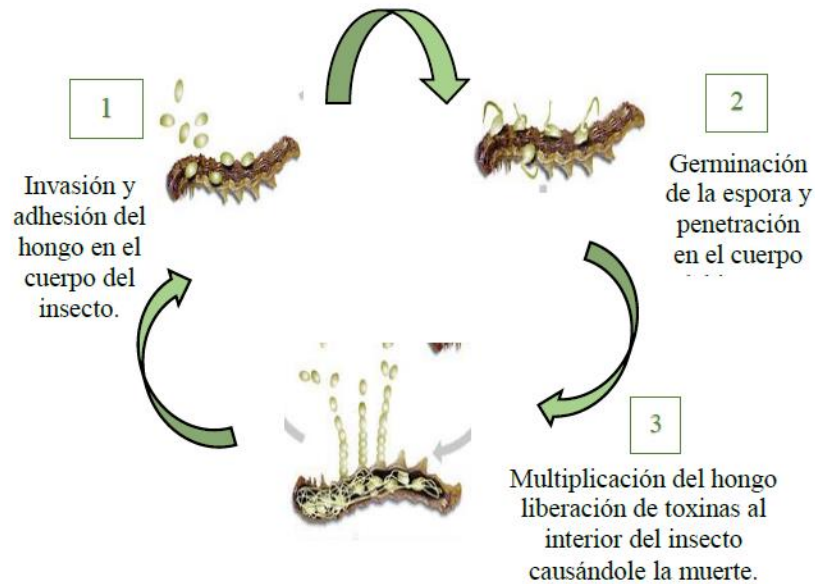
Ventajas	Desventajas
Las cepas pueden ser específicas a nivel de especie, sin afectar a los enemigos naturales ni al microbiota.	Sensibilidad a la variación de las condiciones climáticas.
Cuando el entomopatógeno encuentra las condiciones adecuadas para infectar al huésped y se reproduce en forma continua en los organismos existentes, no se requieren de nuevas aplicaciones.	En general, los plaguicidas biológicos no matan instantáneamente, se requiere de un periodo de tiempo.
No contaminan el medio ambiente ni afectan al hombre u otros animales superiores.	

### 2.3.2 Mecanismos de patogenicidad

Los hongos entomopatógenos, presentan un ciclo de vida marcado por una fase latente en forma de esporas de origen asexual conocidas como conidios, en la que se mantienen hasta adherirse a la cutícula (Crespo *et al.*, 2018). Su mecanismo de patogenicidad consiste en la germinación, penetración por acción enzimática (principalmente proteasas, lipasas y quitinasas) y mecánica (Figura 1), afectando la cutícula del insecto causando el rompimiento de pared celular (Cepeda-Siller *et al.*, 2018). Posteriormente, forma un tubo germinativo y rápidamente llega al hemocele,



el micelio del hongo se transforma en blastoesporas que evaden el sistema inmune del insecto produciendo toxinas para ocasionar la muerte del insecto (Castro y Martínez, 2019).



**Figura 1.** Ciclo de infección de un HE (Monzón, 2018).

Para considerar a los hongos entomopatógenos como agentes potenciales de uso, estos deben de presentar características importantes adicionales al nivel de patogenicidad como crecimiento rápido, producción abundante de conidios y germinar rápidamente para iniciar la infección (Raymundo-Jiménez *et al.*, 2019).

### **2.3.3 Productos comerciales formulados con entomopatógenos a nivel mundial**

El empleo práctico de los hongos entomopatógenos ha adquirido un interés creciente revelado por el considerable número de productos comerciales disponibles y en desarrollo, como se indica en la siguiente tabla:

**Cuadro 2.** Productos comerciales, formulados con Hongos entomopatógenos o en proceso de desarrollo para el control biológico de plagas insectiles.

Producto	Hongo	Hospedante	Productor
Mycotal	<i>V. lecanii</i>	Moscas blancas y trips	Kopper®, Holanda
Vertalec	<i>V. lecanii</i>	Pulgones	Kopper®, Holanda
Biogreen	<i>M. anisopliae</i>	Gusanos blancos	Bio-care® Ttech., Australia
Metaquino	<i>M. anisopliae</i>	Cercópidos	Brasil
Bio-Path	<i>M. anisopliae</i>	Cucarachas	EcoScience®, USA
Bio-Blast	<i>M. anisopliae</i>	Termitas	EcoScience®
Mycotrol GH	<i>B. bassiana</i>	Saltamontes y langostas	Mycotech®, USA
Mycotrol WP	<i>B. bassiana</i>	Moscas blancas, pulgones y trips	Mycotech®, USA
BotaniGard	<i>B. bassiana</i>	Moscas blancas, pulgones y trips	Mycotech®, USA
Melocont	<i>B. brongniartii</i>	Gusanos blancos	Kwizda®, Austria
PRF-97	<i>P. fumosoroseus</i>	Moscas blancas	ECO-tek®, USA
Pae-Sin	<i>P. fumosoroseus</i>	Moscas blancas	Agrobionsa®, México

(de Albuquerque Maranhao y de Albuquerque Maranhao, 2015).

La mayoría de los HE producidos comercialmente, para el control biológico pertenecen a la orden de los Hypocreales. Los género y especies incluidos son: *Beauveria bassiana* (Agostino, 1874), *Metarhizium* spp (Sorokīn, 1879), *Cordyceps fumosorosea* (Wize, 1904) y *Lecanicillium* spp (Zare, 2001) (Bautista *et al.*, 2018).

#### 2.4 Técnicas para la cosecha de los HE

La producción de bioplaguicidas a base de los HE, la separación de las esporas de su sustrato sólido se ha realizado con diferentes técnicas, por ejemplo, el empleo de tamices manuales (Figura 2), es un método de bajo costo y para producción pequeña, pero su desventaja, es que se pierde hasta el 50% de material por dispersión en el ambiente (Díaz, 2020).



**Figura 2.** Tamiz manual (Google imágenes, 2021).

Otro método, es la separación por tamiz vibratorio, en donde se apilan 2 o tres tamices de diferentes tamaños de apertura sobre un depósito (Figura 3). Los tamices son montados sobre un aparato vibratorio y el tiempo de separación es de 25-30 minutos. La desventaja de este método es su baja producción, las mallas de los tamices se saturan de material y se bloquean, lo que impide la separación adecuada de las esporas y el sustrato; Por lo que este método presenta baja eficiencia y es muy laborioso (Díaz Ramos, 2020).



**Figura 3.** Tamiz vibratorio eléctrico (TESE, 2020).

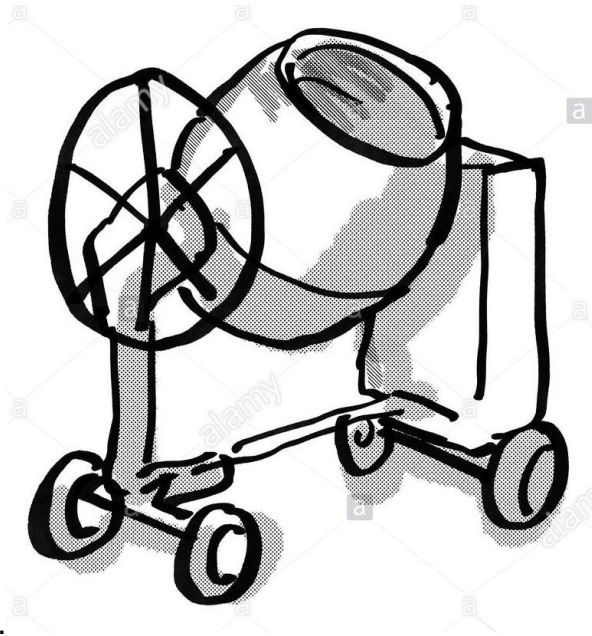
Un método más es la extracción de conidios usando Tween 80 al 0.05 % (Figura 4) y con un agitador magnético, se agita durante 10 minutos, después se filtra con una gasa para eliminar los sólidos y se obtiene una suspensión de conidios (Angel Cuapio, 2011).



**Figura 4.** Raspado con agitador magnético (AAC-BIOLAB, 2021).

Otro método para cosecha de esporas, en mediana escala (Figura 5), fue desarrollado por Dan Johnson, en la Universidad de Lethbridge, Alberta, Canadá y consiste en un mezclador para concreto acondicionado con una tapa de acrílico sujeta al mezclador por medio de imanes. Su modo de funcionamiento consiste en que al rotar el mezclador las esporas se separan del arroz y forman una nube en el interior la cual es succionada por una aspiradora, de este modo las esporas quedan depositadas en el filtro de la aspiradora (Díaz Ramos, 2020).

Este método es adecuado para la producción a mediana escala, sin embargo; resulta muy laborioso descontaminar la aspiradora después de realizar la cosecha de esporas, por lo que es necesaria una aspiradora para cada cepa de hongos.



**Figura 5.** Mezclador de concreto eléctrico (Google imágenes, 2021).

## **2.5 Métodos de aplicación de los HE**

Para la formulación de los HE, se debe formar una suspensión homogénea de fácil aplicación con un equipo atomizador; aunque es necesario realizar pruebas de suspendibilidad, humectabilidad, contenido de humedad y tamaño de la partícula para que no afecte al HE (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011).

## **2.6 *Cordyceps fumosorosea*. Wize (1904)**

### **2.6.1 Clasificación Taxonómica**

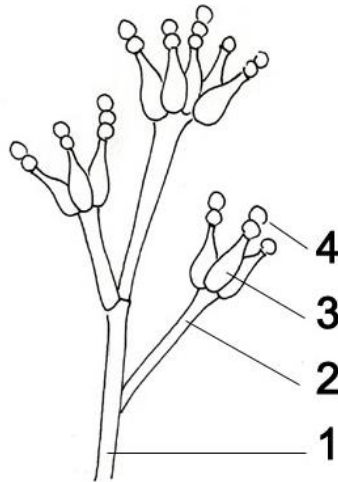
La taxonomía de los organismos se basa principalmente en su morfología y en los últimos años también se han utilizado criterios moleculares para su determinación de ellos o incluso su diferenciación, basándose en la secuenciación de sus diversos genes, lo cual ayuda a demostrar las diversas especies que existen como sucede en los hongos entomopatógenos, como se muestra a continuación: (Guarro, 2012)

**Cuadro 3.** Taxonomía de *Cordyceps fumosorosea*.

Reino:	Fungi
Filo:	Ascomycota
Clase:	Sordariomycetes
Subclase:	Hypocreomycetidae
Orden:	Hypocreales
Familia:	Cordycipitaceae
Género:	<i>Cordyceps</i> Fries (1818)
Especie	<i>Cordyceps fumosorosea</i>

### 2.6.2 Conidios

Son esporas de origen asexual, no flageladas, se caracteriza por tener colores vistosos como blanco, amarillo, verde pálido, rosa, rojo o púrpura, septadas y con paredes lisas, hifas compactadas, conidióforos verticilados e irregulares con ramificaciones terminales en forma de botella, con un cuello distintivo a partir del cual nacen los conidios, mismas que crecen en cadena (Gallegos *et al.*, 2016).



**Figura 6.** Estructuras morfológicas de *C. fumosorosea* (Tomado de: Gallegos *et al.*, 2016).

(1) Conidióforo, (2) Mótula, (3) Fiálide, (4) Esporas (Gallegos *et al.*, 2016).

El uso de HE como agentes de control biológico, se ha utilizado desde mediados del siglo XIX, ya que comenzó con las observaciones de naturalistas y científicos curiosos, y ha llegado a su aprovechamiento mediante el uso de formulaciones a base de estos hongos (Espinel *et al.*, 2018).

### **2.6.3 Metabolitos secundarios**

Los HE producen una amplia variedad de moléculas orgánicas, que no tienen función directa en los procesos metabólicos primarios como la asimilación de nutrientes, síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, y las cuales se denominan como metabolitos secundarios (MS), que son importantes para la sobrevivencia y la interacción del organismo con su entorno (Sepúlveda-Vázquez *et al.*, 2018).

López y Burrola-Aguilar, (2019), refieren que la cordicepina, ergosterol y polisacáridos, son identificados como los principales metabolitos de entomopatógenos. Por otra parte, se han reportado otro tipo de compuestos como: los polifenólicos, que son idealmente los fitoquímicos centrales con propiedades funcionales que se encuentran en el reino de las plantas y los hongos, entre ellos los terpenos, flavonoides y alcaloides (Sharif *et al.*, 2020).

Los MS provocan desde alteraciones en las células epiteliales de la tráquea, inhabilitan los mecanismos del sistema inmune e interrumpen los procesos fisiológicos del hospedero, reduce las tasas de alimentación y el peso de algunas larvas de insecto, daña el sistema nervioso, o también, reduce la resistencia de los insectos a este tipo de controles biológicos (Ali *et al.*, 2014; Marín-Cruz *et al.*, 2017; Litwin *et al.*, 2020).

## 2.7 Técnicas para la producción de *C. fumosorosea*

### 2.7.1 Producción en bolsas

Hay diversos métodos para la producción de HE, por ejemplo, la técnica de producción en bolsas de polipropileno, la cual comúnmente se coloca una cantidad aproximada de 100 gramos de arroz/bolsa, cerrando herméticamente, con el objeto de que el sustrato no pierda humedad en el proceso de esterilización y se dejan enfriar durante 24h para ser inoculadas (Poma, 2011, Rodríguez-Gómez *et al.*, 2017). Transcurridos cuatro días, posterior a la inoculación, se agita la bolsa, esto con el fin de fraccionar el sustrato colonizado y permitir que las partes sin crecimiento se oxigenen. Cuatro días después del primer movimiento de bolsa, (ocho días después de la inoculación), se realiza una nueva agitación manual para estimular la formación de conidios (Natareno, 2019).



**Figura 7.** HE producidos en bolsas  
(Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2012).



### 2.7.2 Producción en bandejas

En este proceso, la germinación y desarrollo vegetativo del hongo, se realiza en bolsas y el proceso de colonización y esporulación, se hace en bandejas; Se repite el procedimiento, del mismo modo que para el método en bolsas, posteriormente, con una tijera desinfectada con alcohol, se cortan las bolsas por debajo de donde fue cerradas, y se pasa el arroz con el hongo a bandejas que han sido previamente desinfectadas para lo cual, estas se limpian y humedecen con alcohol y se flamean con el mechero. Se extiende el arroz en ellas, para favorecer la colonización y esporulación del hongo y se dejan en incubación a 27 °C y 80% de humedad por cinco días (Gómez *et al.*, 2014).



**Figura 8.** Producción de HE en bandejas (Gómez *et al.*, 2014).

### 2.7.3 Producción en biorreactores

Los biorreactores, son aparatos donde se desarrollan una serie de reacciones, por la acción de microorganismo o de enzimas, bajo un ambiente controlado en el que se pretende un crecimiento celular o la producción de metabolitos de interés con una eficiencia óptima (Cruz, 2007). Una de las desventajas de la producción utilizando este método, es que los biorreactores deben ser vaciados, limpiados, esterilizados y recargados en cada fermentación (Jímenez y Pantoja, 2012). Y una ventaja es que en estos reactores, las condiciones ambientales pueden regularse mucho mejor que en bolsas o bandejas, por ejemplo, mediante un flujo de aire acondicionado, calefacción o refrigeración (Bautista *et al.*, 2018).



**Figura 9.** *C. fumosorosea* producido mediante biorreactores de columna (AAC-BIOLAB, 2021).

#### **2.7.4 Producción en medio líquido**

De acuerdo con Gómez *et al.*, (2014); los medios líquidos utilizados para la producción masiva varían de acuerdo con la especie de HE que se va a producir, los más utilizados son: PD, PG (Papa Dextrosa, Papa Glucosa), CA (Caldo de Arroz). Estos medios pueden prepararse en frascos Erlenmeyer o matraces a razón de 700 mL por frasco de 1000 mL, se cubren con papel aluminio y se esteriliza a 121 °C y 15 psi (1 atm) de presión por 20 minutos.

Otra forma de preparar el medio líquido es en biofermentadores de 20 litros, se preparan 15 litros de medio, se esterilizan en una autoclave por una hora a 121 °C y 15 libras por pulgada cuadrada. La esterilización se realiza con los filtros, cerrando las mangueras con una pinza antes de los filtros para evitar que se mojen al momento de la esterilización (Hernández, 2016).

- Frascos Erlenmeyer: Una vez fríos los medios líquidos, se llevan a la cámara de flujo laminar y se le agrega aproximadamente 0.1g de cloranfenicol a granel, se agrega 10 mL de agua destilada estéril más Tween y con la ayuda de una espátula o una cucharilla flameada y enfriada con alcohol, se raspa suavemente la superficie de la placa, para soltar las esporas o conidias, se

agrega 10 mL de agua destilada estéril más Tween, con una pipeta estéril se toma 5 mL de la solución para finalmente, agregarlo al medio líquido frío.

- Biofermentador: Una vez frío el biofermentador, se le agrega 1 mL de ácido láctico por litro de medio y 0.1g de antibiótico por litro (cloranfenicol o sulfato de estreptomina) y se inocula con una solución de esporas que se obtiene de una placa esporulada, la cual se prepara del mismo modo que para los frascos Erlenmeyer, finalmente, se le coloca un motor de pecera para su agitación por 3 días, a temperatura de 24 a 28 °C.



**Figura 10.** Producción de HE en medio líquido (Gómez *et al.*, 2014).

## **2.8 Bagazo de caña (*Saccharum officinarum*) (Linneo, Poaceae)**

El bagazo de caña de azúcar es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina; Obteniendo como subproducto o residuo en los centrales azucareros, después de la extracción del jugo de caña de azúcar y representa aproximadamente entre el 25 y 40 % del total de materia procesada, dependiendo del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo (Pernaite *et al.*, 2008). Su composición química en estado natural consta de: celulosa 45.13%, lignina 14.11%, pentosanos 25.56%, cenizas 8.03% y una humedad de 9.67% (León-Martínez *et al.*, 2013); Además que Aguilar–Rivera (2011), mencionó que el bagazo está constituido por cuatro fracciones: Fibra

o bagazo (45 %), sólidos no solubles (2–3%), sólidos solubles (2–3 %) y agua (49 – 51%).

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018, presenta la cifra preliminar de cierre de la producción de caña de azúcar en ese año, la que ascendió a 55.9 millones de toneladas, de acuerdo con el reporte del avance de siembras y cosechas al mes de julio y los principales estados productores fueron Veracruz (37.5%) y Jalisco (13.1%), que en conjunto aportaron 28.3 millones de toneladas; esto es, 50.6% del total nacional y para el año 2019/2020 su producción fue de 903 mil 276 toneladas.

La utilización del bagazo de caña es variada, León-Martínez *et al.*, (2013) menciona que, principalmente en portamacetas, revestimiento de botellas, sombreros, macetas, placas. García-Torres *et al.*, (2011), señala que se han utilizado como texturizante en diferentes tecnologías, como lo es, el composteo para la remediación de suelos o crecimiento de microorganismos, y finalmente Becerra-Quiroz *et al.*, (2016), infiere que también es el mejor sustituto de la madera en la producción de papel.

## **2.9 Texturizantes (soportes)**

Algunos criterios para la selección de texturizantes, que son utilizados como soportes para el crecimiento de diversos microorganismos, se basan en el cumplimiento de diversos parámetros, entre ellos, presencia de una superficie amplia para la adherencia celular, facilidad de operación y regeneración, porosidad, estabilidad química y biológica, y resistencia a enzimas, solventes y a cambios de presión, entre otros (Botello *et al.*, 2016).

Para disminuir los inconvenientes en la transferencia de gases entre ellos, se han utilizado materiales que modifican la porosidad del lecho de empaque durante el cultivo en soporte sólido, dichos materiales reducen la compactación del sustrato, se aumenta el área de contacto entre el sustrato y el microorganismo y se favorece así el intercambio gaseoso. Algunos materiales utilizados como texturizantes incluyen paja, desperdicios de algodón, aserrín, virutas de madera, residuos de

poda (ramas y troncos secos), hierba seca, bagazo de caña de azúcar y espuma de poliestireno, entre otros (Angel-Cuapio, 2016).

## 2.10 *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758, Coleoptera: Tenebrionidae)

Ecoproten en el 2022 menciona que el *T. molitor*, comúnmente llamado escarabajo de la harina o gusano de la harina es un insecto en donde se pueden utilizar todos los estados biológicos de su ciclo de vida con una duración de aproximadamente 125 días, lo que hace que su producción sea sostenible. **Ciclo de vida.** Cuando el huevo del *T. molitor* eclosiona, comienza su fase larvaria y posteriormente la pupa. Las larvas pueden pasar hasta por 20 mudas antes de su estadio de pupa previo a la etapa de adulto; existe dimorfismo sexual, después de la cópula inicia otra generación. Se estima que al año puede haber hasta 10 generaciones de estos insectos (Ecoproten, 2022).



**Figura 11.** Ciclo de vida *Tenebrio molitor*: larva, pupa y adulto (Roig, 2019).

Se ha demostrado, que los tenebrionidos tienen la capacidad de degradar una serie de materiales, entre ellos los polímeros, como: PS, PE, PP, PVC (Zhong *et al.*, 2022). Estos insectos son considerados como una de las alternativas más prometedoras para abordar la deficiencia prevista de proteínas alimentarias convencionales, debido a su notable contenido en proteínas, lípidos, vitaminas y minerales portando ventajas ambientales y económicas (Gkinali *et al.*, 2022).

Por otro lado, debido a las características morfológicas y fisiológicas de *T. molitor* se ha empleado para evaluar diferentes trabajos de investigación a nivel de laboratorio (Alcantara-Vargas *et al.*, 2020). Además, importante mencionar que los conidios y metabolitos secundarios de los HE, se han evaluado en diferentes familias, géneros y especies insectos considerados como plaga como: *Phyllophaga spp.*, *Bradysia impatiens* y *Metamasius spinolae* (Chávez *et al.*, 2014, Marín-Cruz *et al.*, 2017, Sanchez-Perez *et al.*, 2014).

### 3. JUSTIFICACIÓN

El uso indiscriminado de plaguicidas químicos para el control de plagas agrícolas ha provocado problemas de contaminación ambiental y ha generado resistencia a estos productos. De la misma manera, se conoce que estos plaguicidas han contribuido al incremento del efecto invernadero y han actuado como la principal causa de la lluvia ácida (Devine *et al.*, 2008), también tienen efectos negativos en la salud de los aplicadores, como puede ser desde intoxicaciones leves y agudas, hasta provocar cáncer y consecuencias en los aparatos: reproductivos, inmunitarios o nerviosos, por lo cual, es importante la búsqueda y determinación de biomoléculas para el control de plagas, en especial de aquellas que no tienen un impacto negativo contra el medio ambiente, ni en la salud humana como lo son, los hongos entomopatógenos (HE) (Gallegos *et al.*, 2016, Del Puerto *et al.*, 2014).

Los más empleados son *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii*, microorganismos que producen unidades infectivas denominadas conidios y metabolitos secundarios, que les interesan a las empresas y/o instituciones de investigación por su actividad de control, por sus nuevas propuestas biotecnológicas para su elaboración, con una amplia eficacia como agentes de control biológico de diferentes plagas agrícolas (Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, 2012).

Por lo anterior, las propuestas que se hicieron en esta investigación fueron:

1. Producción de conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) (Hipocreales) (Clavicipitaceae) en biorreactores de columna; 2. Evaluación de la calidad de los conidios producidos, mediante su aplicación en *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758, Coleóptera, Tenebrionidae) y 3. Evaluar el efecto insecticida en *T.* como agente de control biológico.

#### 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Se incrementará la producción de conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) debido a la porosidad del lecho de empaque generada por las mezclas de arroz-bagazo de caña?
- ¿Los parámetros de calidad (viabilidad y germinación) e infectividad de los conidios obtenidos no disminuirán al ser producidos en mezclas de arroz-bagazo de caña?
- ¿Cuáles son los metabolitos secundarios producidos por HE reportados en la literatura?

#### 5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

##### 5.1 Objetivo general

Producir conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) (Hipocreales) (Clavicipitaceae) en biorreactores de columna.

##### 5.2 Objetivos específicos

- Realizar cinética de producción de conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) por fermentación sólida utilizando arroz como sustrato.
- Producir conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) por fermentación sólida utilizando mezclas de arroz-bagazo de caña.

- Estimar las variables de calidad (germinación y viabilidad) de los conidios obtenidos de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) en mezclas de arroz-bagazo de caña.
- Determinar las variables de infectividad de los conidios obtenidos de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) en mezclas de arroz-bagazo de caña; mediante su aplicación en *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758, Coleóptera, Tenebrionidae).
- Presentar las nuevas estrategias que se han aplicado para el control de insectos plaga mediante el uso de metabolitos secundarios producidos por los HE, con efecto insecticida.

### 5.3 Hipótesis

La incorporación de bagazo de caña como texturizante en cultivos sólidos incrementará la producción de conidios de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) sin disminuir las variables de calidad e infectividad de los conidios obtenidos.

## 6. METODOLOGÍA

### PRIMERA PARTE: TRABAJO DE LABORATORIO

#### 6.1 Propagación, reactivación y conservación de la cepa

Se utilizó la cepa *Cordyceps fumosorosea*, con nombre comercial Pae-sin donada por la empresa Agrobionsa® en Sinaloa, México y la cepa *Cordyceps fumosorosea* CHE-CNRCB 303 obtenida de la colección de hongos del laboratorio de Enzimología y Biología Molecular de Hongos Filamentosos de la Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa (W-104) en Iztapalapa, Ciudad de México, México

Ambas cepas se sembraron por estría en caja Petri utilizando agar dextrosa Sabouraud, ADS (Bioxon®, México) y se incubaron a  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 14 días.



Posteriormente, se tomó una asada de conidios y se sembraron nuevamente por estría en matraz Erlenmeyer de 250 mL con medio ADS en las mismas condiciones y días (Montesinos *et al.*, 2011). (Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 2019 y Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Sistemas Biológicos de la Universidad Autónoma Metropolitana 2019).

Para conservar las cepas, se utilizó aceite mineral blanco (Meyer<sup>®</sup>, México) con doble esterilización en autoclave a 15 psi, después de la esporulación del hongo (aproximadamente 7 a 10 días), se cortaron recuadros de 3 x 3 cm que después se colocaron en viales de 45 mL que contenían 3 mL de aceite mineral y se guardó a  $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$  (López *et al.*, 2002).

En cuanto a la recuperación de estos cultivos se realizó un lavado de 10-15 s en aproximadamente 10 mL de agua destilada estéril en una placa de Petri de 60 x 15 mm para que flote un poco del aceite y luego se transfirió el bloque a un medio fresco con base a la metodología descrita por López *et al.*, (2002). AAC-Biolab (2019).

## **6.2 Determinación de parámetros físicos de la relación arroz/bagazo**

Se determinó la cantidad de humedad presente en las diferentes relaciones de arroz/bagazo de caña, (100-0,90-10,80-20,70-30,50-50,0-100) utilizando una termobalanza VE-50-5 (velab<sup>TM</sup>), en donde se colocó una muestra de cada relación para su análisis (Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec 2019).

## **6.3 Producción de conidios mediante fermentación sólida**

Se realizó la extracción de conidios con Tween 80 al 0.05% y se agitó mediante un agitador magnético durante 10 minutos, después se filtró con una gasa para eliminar los sólidos y se obtuvo una suspensión de conidios (Montesinos *et al.*, 2011), se realizó una dilución 1:100 y para estimar la concentración de conidios se realizó el conteo por medio de una cámara de Neubauer (Marienfiel<sup>®</sup>, Alemania), en un microscopio óptico acoplado a una pantalla de LCD (Laboteca<sup>®</sup>, México), utilizando

el objetivo 40X, para estimar la concentración se utilizó la fórmula descrita por Bustillo (2010),  $N=(\bar{x})(25)(1 \times 10^4)(FD)$ , en donde: N=Número de conidios/mL,  $\bar{x}$ =Promedio del conteo de conidios en la cámara de Neubauer, FD= Factor de dilución. Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (2019).

### 6.3.1 Cinética de producción de conidios (arroz)

Se utilizaron como biorreactores, columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno y 20 cm de altura, los cuales fueron esterilizados en autoclave a 120°C, 15lb por 15 min. Se prepararon bolsas de polietileno con 10 gramos de arroz, se inocularon con una concentración de conidios de  $1 \times 10^7$  con/mL (Méndez-González *et al.*, 2020).

El inóculo se distribuyó en el arroz con un mezclado manual y se dejó reposar durante 15 min a temperatura ambiente en condiciones estériles. Posteriormente, se mezcló nuevamente y se transfirió a los biorreactores. Se incubó durante 15 días en un baño de agua a  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , regulado con un termostato (SUNNY®) de modelo SGH-50, a partir del tercer día se cuantificó la producción de conidios, en donde se realizó una dilución 1:100 y por medio de una cámara de Neubauer (Marienfiel®, Alemania) siguiendo la metodología previamente descrita (Bustillo, 2010; Méndez-González *et al.*, 2020). Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (2020).

### 6.3.2 Cálculo de rendimiento y productividad

Para realizar el cálculo del rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{Producción} * \text{Factor de dilusión})}{\text{Gramos de arroz}}$$

Y para el cálculo de productividad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{Día}}$$

### 6.3.3. Porosidad y densidad aparente (Angel Cuapio, 2016)

Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente formula:

$$\varepsilon = \frac{(\text{Volumen de aceite mineral} - \text{Volumen de la muestra})}{\text{Volumen de aceite mineral}}$$

Donde:

- El volumen del aceite mineral se calculó considerando su densidad de 0.82, lo cual se convirtió en gramos, obteniendo 820 gramos para un litro, entonces se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del aceite mineral} = \frac{1000 \text{ mL} \times \text{peso del aceite en la muestra}}{820 \text{ gramos}}$$

- El volumen de la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la muestra} \\ = (\pi)(\text{Altura de la muestra en cm}) \left( \frac{\text{ancho del frasco}}{2} \right)^2 \end{aligned}$$

Posteriormente para el cálculo de la densidad aparente se utilizó la siguiente formula:

$$DA = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Volumen de la muestra (mL)}}$$

Cabe resaltar que esta evaluación solo fue de arroz y bagazo de caña sin probarlo con algunas de las cepas *C. fumosorosea*.

### 6.3.4 Producción de conidios en diferentes porosidades (arroz/bagazo)

Se utilizaron como biorreactores columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno y 20 cm de altura, los cuales fueron esterilizados en autoclave a 120°C por 15 min. Se prepararon bolsas de polietileno con 10 gramos de materia sólida total en diferentes relaciones porcentuales de arroz y bagazo de caña, las cuales son: (100-0%, 90-10%, 80-20%, 70-30%, 50-50% y 0-100%), de

acuerdo con Angel-Cuapio *et al.*, (2015) y se inocularon con una suspensión de esporas de Pae-sin a una concentración de  $1 \times 10^7$  conidios/mL.

Una vez que se obtuvo el inóculo, se distribuyó en los sustratos con un mezclado manual y se dejó reposar durante 15 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se mezcló manualmente una vez más y se transfirió a los biorreactores. Se incubó en un baño de agua con dimensiones 51 cm x 45 cm x 27 cm, se incubó a  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 11 días y se cuantificó la producción de conidios (Méndez-González *et al.*, 2020). AAC-Biolab (2021).

### 6.3.5 Càlculo de tasa específica de producción de conidios

Para determinar la tasa específica de producción de conidios se utilizó la ecuación de crecimiento exponencial

$$x = x_0 e^{\mu t}$$

Donde:

$$x_0 = \text{Concentraciòn de biomasa para } t = 0$$

$$x = \text{Concentraciòn de biomasa para } t \text{ (cualquier tiempo mayor a 0)}$$

$$\mu = \text{Velocidad específica de crecimiento}$$

Ajustando los resultados experimentales a los estimados utilizando solver como herramienta.

### 6.3.6 Evaluación de la calidad de conidios obtenidos de *Cordyceps fumosorosea* (= *Isaria*) en mezclas de arroz-bagazo de caña; mediante su aplicación en *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758, Coleóptera, Tenebrionidae)

Para evaluar los parámetros de infectividad, de *C. fumosorosea* se aplicaron las cepas de *C. fumosorosea* CHE-CNRCB 303 y Pae-sin; en *T. molitor* (Linnaeus, 1758; Tenebrionidae, Coleóptera). Para las pruebas de infectividad se aplicaron los conidios cosechados en el día de mayor producción (día 11), para todas las

relaciones de arroz-bagazo de caña. La extracción de conidios se realizó como se mencionó en la sección 6.3.1, posteriormente se preparó una suspensión de 30 mL con una concentración de  $1 \times 10^7$  conidios/mL.

1. Estudios de infectividad de ambas cepas de *C. fumosorosea* CHE-CNRCB 303 y Pae-sin (Control positivo), se colocaron 15 larvas por caja Petri y se analizaron un total de 30 cajas (450 larvas), cada tratamiento con cinco repeticiones (relaciones mencionadas en la sección 6.3.2).
2. Para el control negativo se utilizaron 6 cajas con 15 larvas cada una, un total de 90 larvas.

La infección de las larvas de *T. molitor* fue por inmersión durante 15 s en la suspensión de conidios obtenida para cada relación arroz/bagazo de caña y como control negativo se utilizó una solución de Tween 80 (0.05%). Las larvas se alimentaron con dieta de salvado de trigo (Pronasoya, México), se incubaron a una temperatura de 25°C con una humedad del 50%, finalmente se registró la mortalidad cada 24 h durante 15 días, las larvas muertas se colocaron en cámara húmeda para determinar su muerte por micosis (Alcantara-Vargas *et al.*, 2020). AAC-BIOLAB (2021).

### 6.3.7 Cálculo de los parámetros de infectividad

Los datos obtenidos utilizando la metodología anterior se ajustaron a una función de decaimiento exponencial la cual consiste en la siguiente manera:

$$Y = 100; \text{ If } 0 \leq t \leq t_0$$

$$Y = (100 - S) e^{-k(t-t_0)} + S; \text{ If } t > t_0$$

Donde:

Y = % de sobrevivencia al tiempo final

K = Tasa específica de muerte ( $d^{-1}$ )

$t_0$  = Tiempo de retardo (d)

S= "% de sobrevivencia asintótica estimada

Y para el cálculo de TL50, se tomaron los datos de K,  $t_0$  y S que arrojo Solver (un programa complementario de Microsoft Excel, que permite ajustar los valores experimentales a los estimados y así encontrar el valor óptimo de una formula).

#### **6.4 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y una diferencia de medias a través de una prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), utilizando el programa SPSS (21) como paquete estadístico (Angel-Cuapio *et al.*, 2015).

Segunda Parte. USO DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS. Revisión bibliográfica

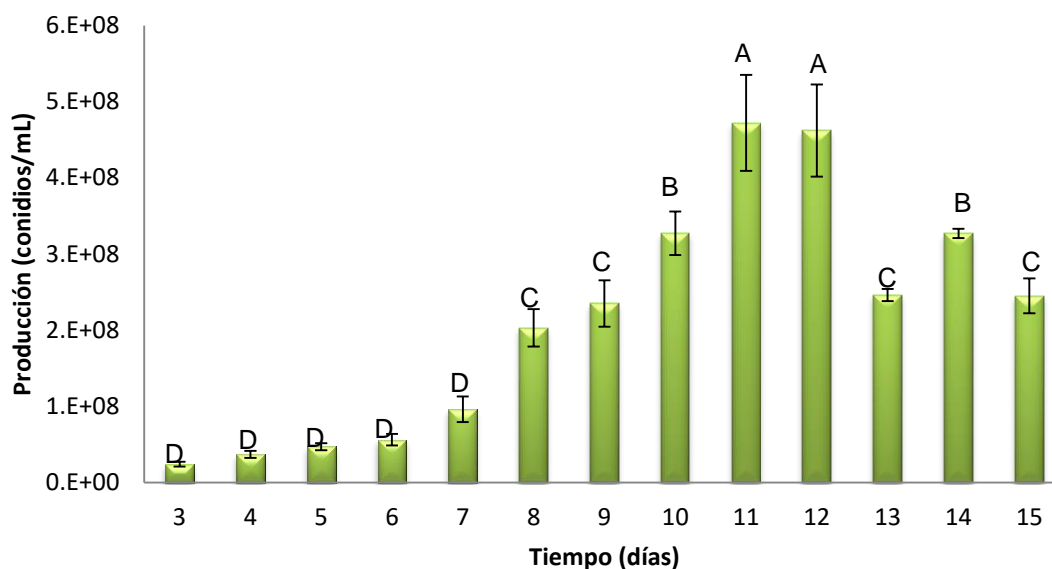
Debido a la pandemia del COVID-19, se modificó el proyecto de tesis, por lo que se realizó una revisión bibliográfica en revistas especializadas del 2008-2021; se analizó la información obtenida, con énfasis en la aplicación de los metabolitos secundarios de los HE, con propiedades insecticidas y proponerse como una alternativa para el control de plagas agrícolas.

## 7. RESULTADOS

### PRIMERA PARTE: TRABAJO DE LABORATORIO

#### 7.1 Cinética de producción de conidios de CHE-CNRCB 303.

Se realizó una cinética de producción de conidios de la cepa CHE-CNRCB 303 durante 15 días, se encontró la mayor producción a los 11 y 12 días de cultivo con una producción del  $4.72 \times 10^8$  y  $4.62 \times 10^8$  conidios/mL respectivamente, lo cual resultó significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) a lo alcanzado en otros días (Gráfico. 1).



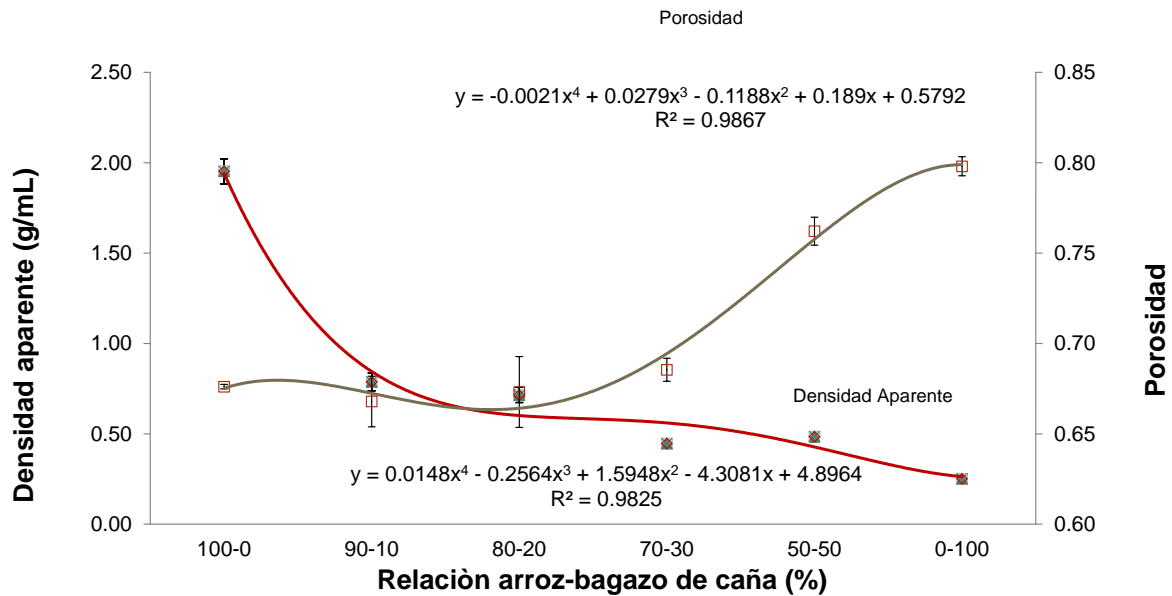
**Gráfico 1.** Cinética de producción de conidios de *C. fumosorosea* (CHE-CNRCB 303) en biorreactores de columna. Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (2019).

#### 7.2 Determinación de porosidad y densidad aparente en diferentes relaciones de arroz/bagazo de caña.

Se observó que la porosidad aumenta conforme se incorpora más texturizante al lecho de empaque, con respecto a la densidad aparente es inversamente proporcional a la porosidad. Se encontró la mayor porosidad en la relación 0-100% (0.80) que fue estadísticamente distinta a las demás relaciones estudiadas ( $p < 0.05$ ) y la relación 100-0% obtuvo el mayor valor de densidad aparente (1.95) ( $p < 0.05$ ).

como se puede observar en el Gráfico 2, por lo tanto, esto demuestra lo antes mencionado.

Estos perfiles se ajustaron a una ecuación polinómica de cuarto orden cuyas ecuaciones son  $y = -0.0021x^4 + 0.0279x^3 - 0.1188x^2 + 0.189x + 0.5792$ , obteniendo una correlación del 0.99.

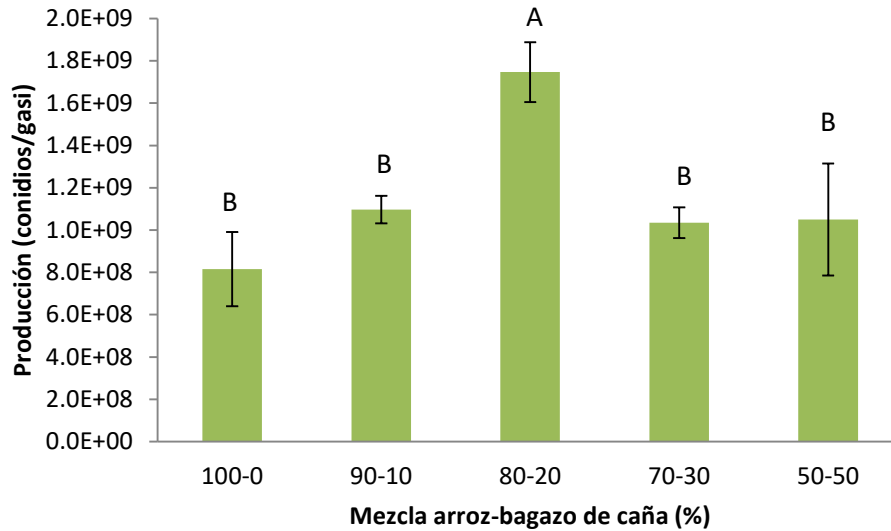


**Gráfico 2.** Porosidad y densidad aparente en relaciones de arroz-bagazo de caña. Laboratorio de química L05, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (2019).

### 7.3 Producción de conidios de *C. fumosorosea* (CHE-CNRCB 303) en diferentes relaciones arroz/bagazo de caña

En cuanto a la producción de las relaciones arroz y bagazo de caña; se encontró que la porosidad 0.51 obtenida con la relación 80-20%, presentó una diferencia significativa mayor ( $p < 0.05$ ); con respecto a las demás porosidades que se probaron (Gráfico 3), arrojando resultados del  $1.75 \times 10^9$  conidios/gasi a los 11 días.



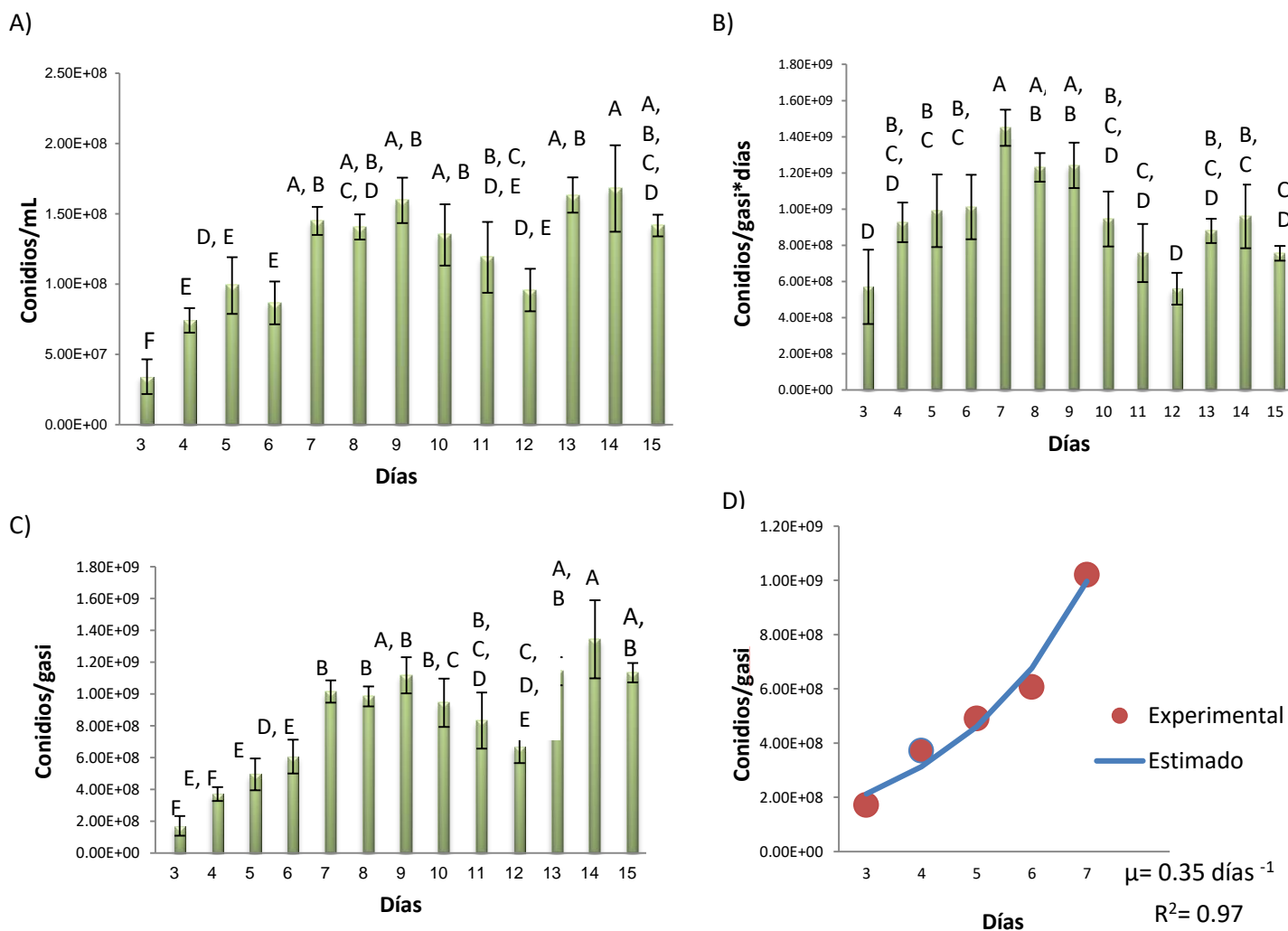


**Gráfico 3.** Producción de *C. fumosorosea* (CHE-CNRCB 303) a 11 días mediante biorreactores de columna, en diferentes porosidades arroz-bagazo de caña. AAC-BIOLAB (2021).

## 7.4 Producción, productividad, rendimiento y tasa de producción de Pae-sin (producto comercial); en diferentes porosidades arroz/bagazo de caña

### 7.4.1 Relación 100% arroz

La producción de conidios de *C. fumosorosea* (Paesin), fue monitoreada en una cinética de producción durante 15 días (Gráfico 4-A); se encontró la mayor producción a los 14 días de cultivo, la cual fue de  $1.6 \times 10^8$  conidios/mL, siendo estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los otros días. Sin embargo, la mayor productividad se obtuvo a los siete días de cultivo con un valor de  $1.4 \times 10^9$  conidios/gasi\*d (Gráfico 4-B); resultando estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ). Por otra parte, el mayor rendimiento se alcanzó a los 14 días de cultivo, con un valor de  $1.4 \times 10^9$  conidios/gasi (Gráfico 4-C); el cual fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Cabe mencionar, que se ajustó el modelo exponencial para obtener la rapidez de producción de conidios, la cual fue de  $0.35 \text{ días}^{-1}$  con un coeficiente de correlación de 0.97.

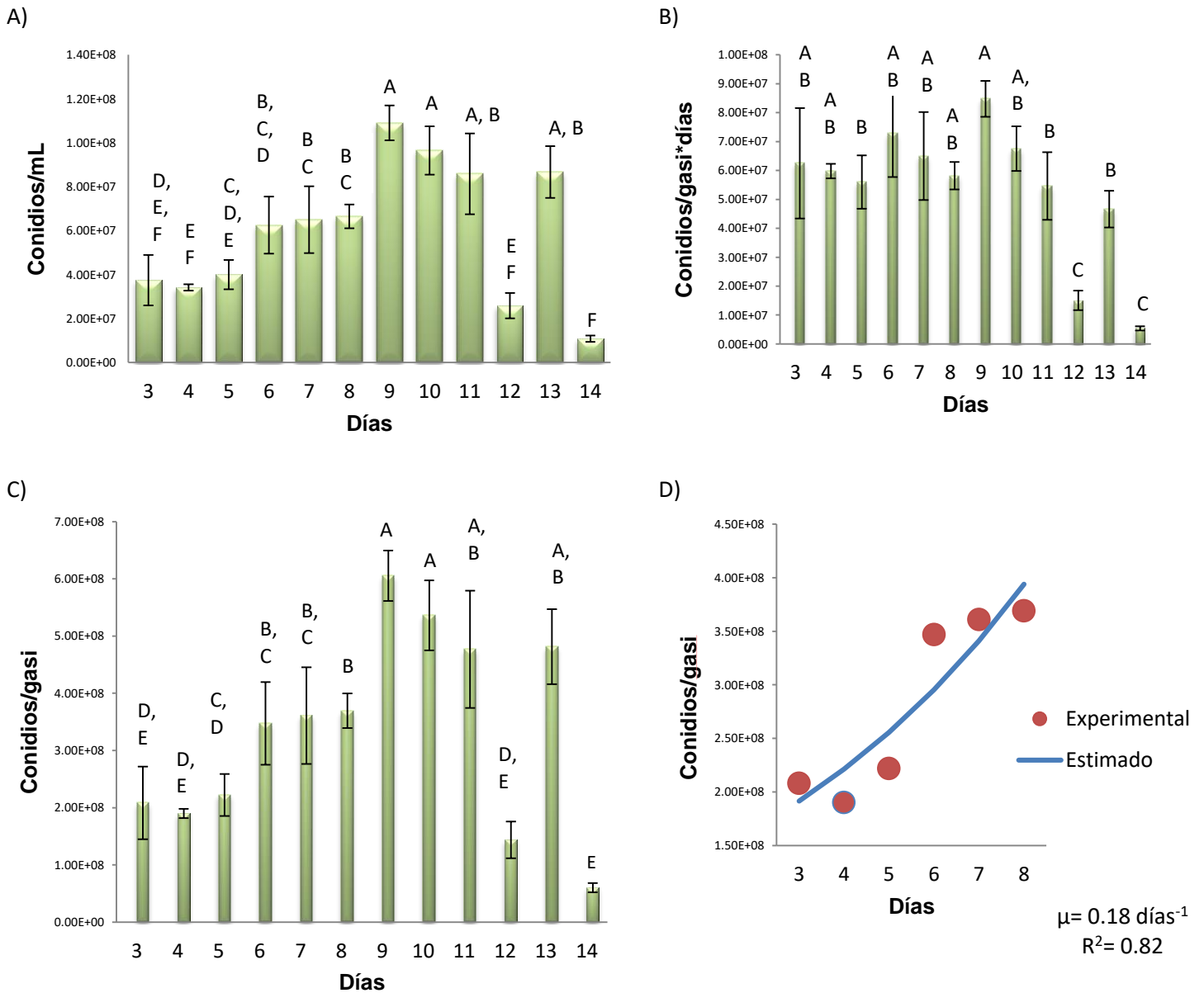


**Gráfico 4.** Cultivo de *C. fumosorosea* (Pae-sin) en 100% arroz.  
a) Cinética de producción, b) Cinética de productividad, c) Cinética de rendimiento y d) Ajuste de datos al modelo exponencial.  
AAC-BIOLAB (2021).

#### 7.4.2 Relación arroz/bagazo de caña: 90-10%

La producción de conidios de *C. fumosorosea* (Pae-sin), fue analizada en una cinética de producción durante 14 días (Gráfico 5-A); en la relación porcentual de 90-10%, se encontró, la mayor producción en el día nueve de cultivo, obteniendo un  $1.10 \times 10^8$  conidios/mL; siendo estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ); entre los otros

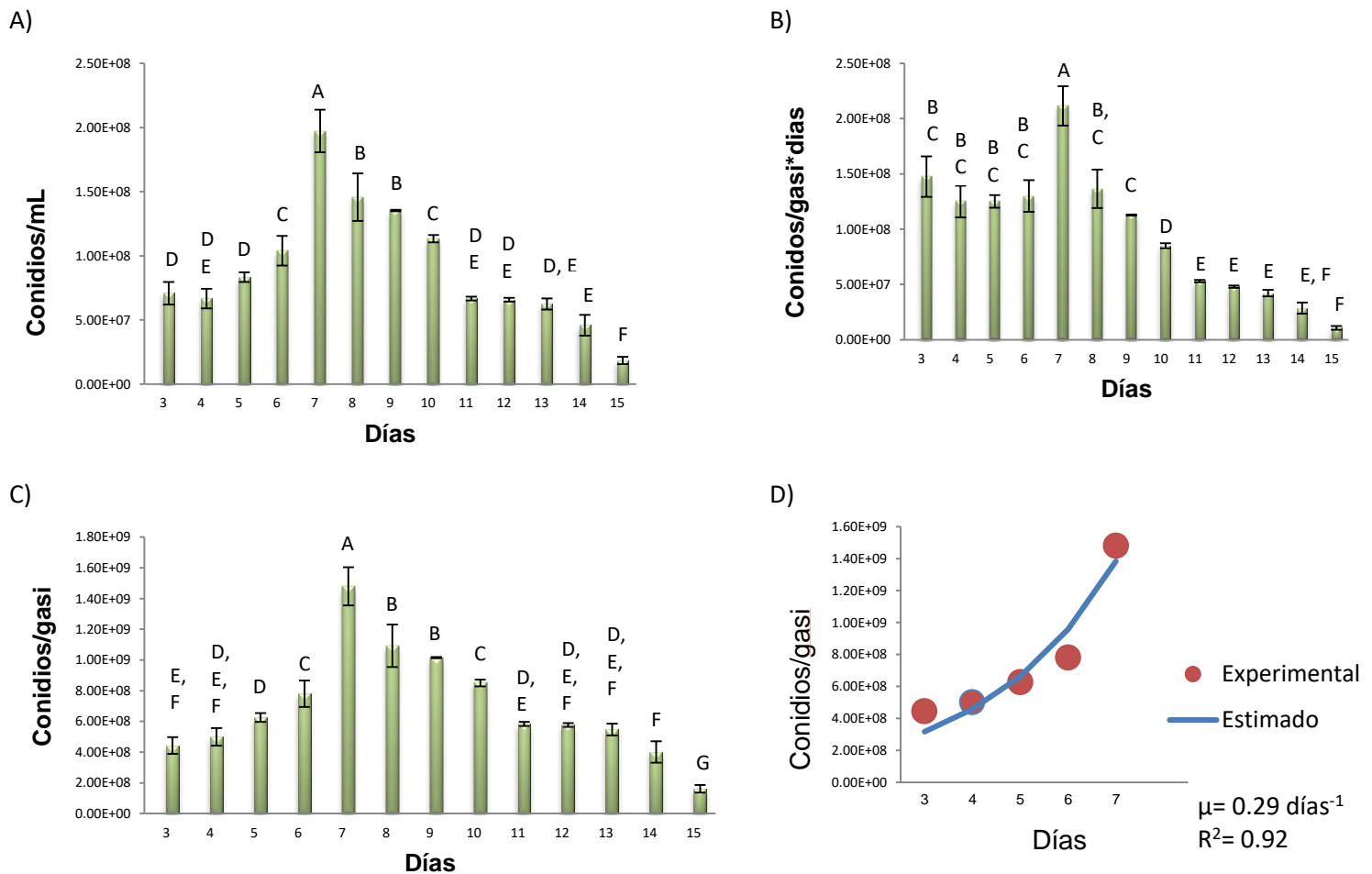
días. De la misma manera, la mayor productividad, se obtuvo a los nueve días de cultivo; con un valor del  $8.05 \times 10^7$  conidios/gasi\*d (Gráfico 5-B); con una diferencia significativa de ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, el mayor rendimiento, también se alcanzó a los nueve días de cultivo, con un valor del  $6 \times 10^8$  conidios/gasi (Gráfico 5-C); el cual fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Finalmente, se ajustó el modelo exponencial para obtener la rapidez de producción de conidios, la cual fue de  $0.18$  días<sup>-1</sup> con un coeficiente de correlación de  $0.82$ .



**Gráfico 5.** Cultivo de *C. fumosorosea* (Paesin), en arroz- bagazo de caña (90-10%) a) Cinética de producción, b) Cinética de productividad, c) Cinética de rendimiento y d) Ajuste del modelo en la fase exponencial.  
AAC-BIOLAB (2021).

#### **7.4.3 Relación arroz/bagazo de caña 80-20%**

Para la relación 80-20% arroz/bagazo de caña: la mayor producción de conidios de *C. fumosorosea* (Paesin), se encontró a los siete días (Gráfico 6-A); siendo de  $1.80 \times 10^8$  conidios/mL; donde fue estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los demás días probados. La mayor productividad también se observó a los siete días de cultivo, con un valor de  $1.50 \times 10^9$  conidios/gasi\*d (Gráfico 6-B); resultando estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ). Y de la misma manera, el rendimiento se alcanzó a los mismos días de cultivo con un valor del  $1.50 \times 10^9$  conidios/gasi (Gráfico 6-C); el cual fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Para esta relación también se ajustó el modelo exponencial para obtener la rapidez de producción de conidios, la cual fue de  $0.29 \text{ días}^{-1}$  con un coeficiente de correlación de 0.92.



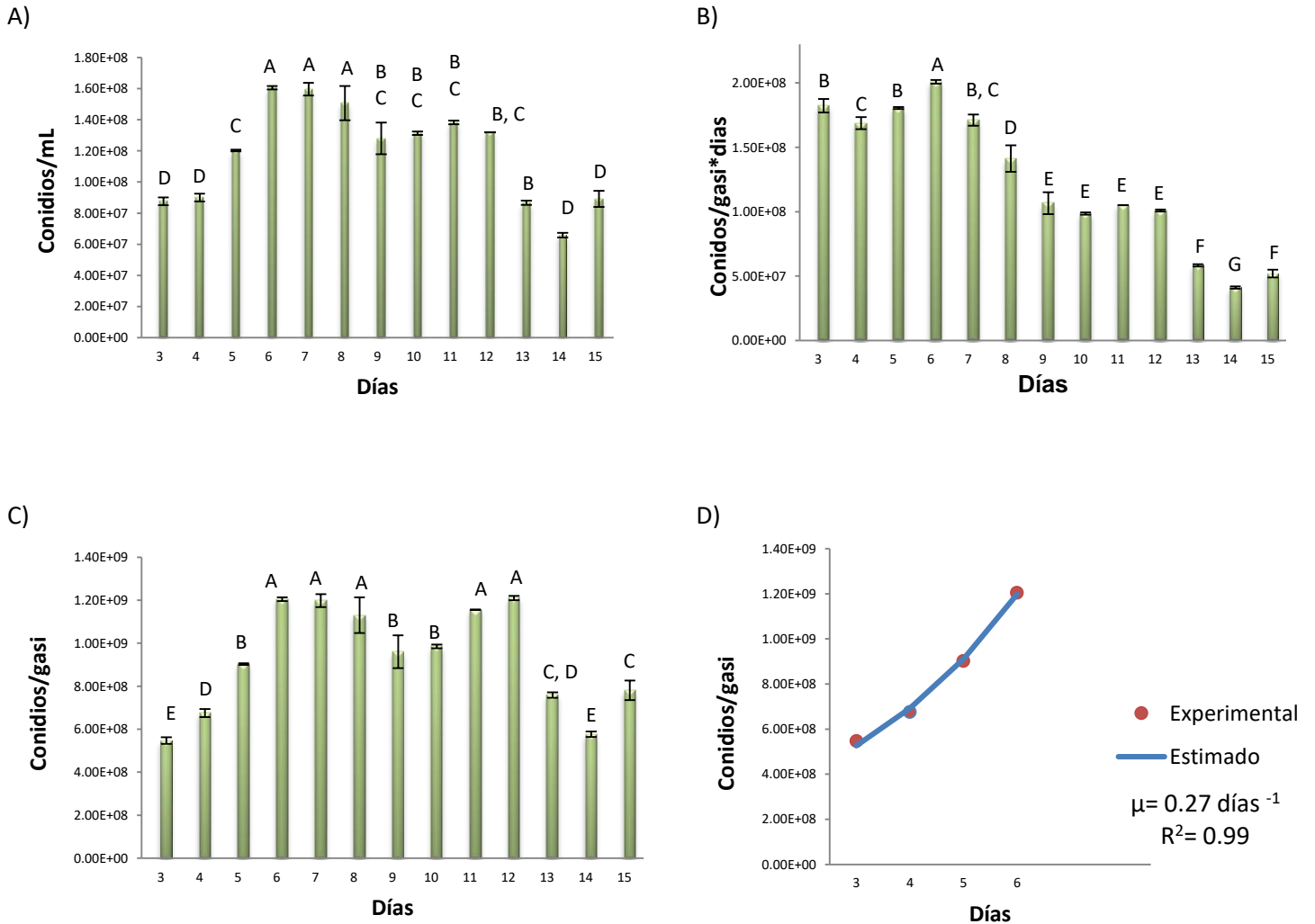
**Gráfico 6.** Cultivo de *C. fumosorosea* (Paesin), en arroz- bagazo de caña (80-20%) a) Cinética de producción, b) Cinética de productividad, c) Cinética de rendimiento y d) Ajuste del modelo en la fase exponencial.

AAC-Biolab (2021).

#### 7.4.4 Relación arroz/bagazo de caña 70-30%

La producción de conidios de *C. fumosorosea* (Paesin), fue monitoreada en una cinética de producción durante 15 días (Gráfico 7-A); se encontró la mayor producción a los seis días de cultivo, la cual fue de  $1.60 \times 10^8$  conidios/mL; siendo estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los otros días. De la misma manera, se obtuvo la mayor productividad a los  $1.90 \times 10^8$  conidios/gasi\*d (Gráfico 7-B); resultando estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ). El mayor rendimiento también se alcanzó a los seis días de cultivo con un valor de

$1.23 \times 10^9$  conidios/gasi (Gráfica 7-C); el cual fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Cabe mencionar que se ajustó el modelo exponencial para obtener la rapidez de producción de conidios, la cual fue de  $0.27 \text{ días}^{-1}$  con un coeficiente de correlación de 0.99.

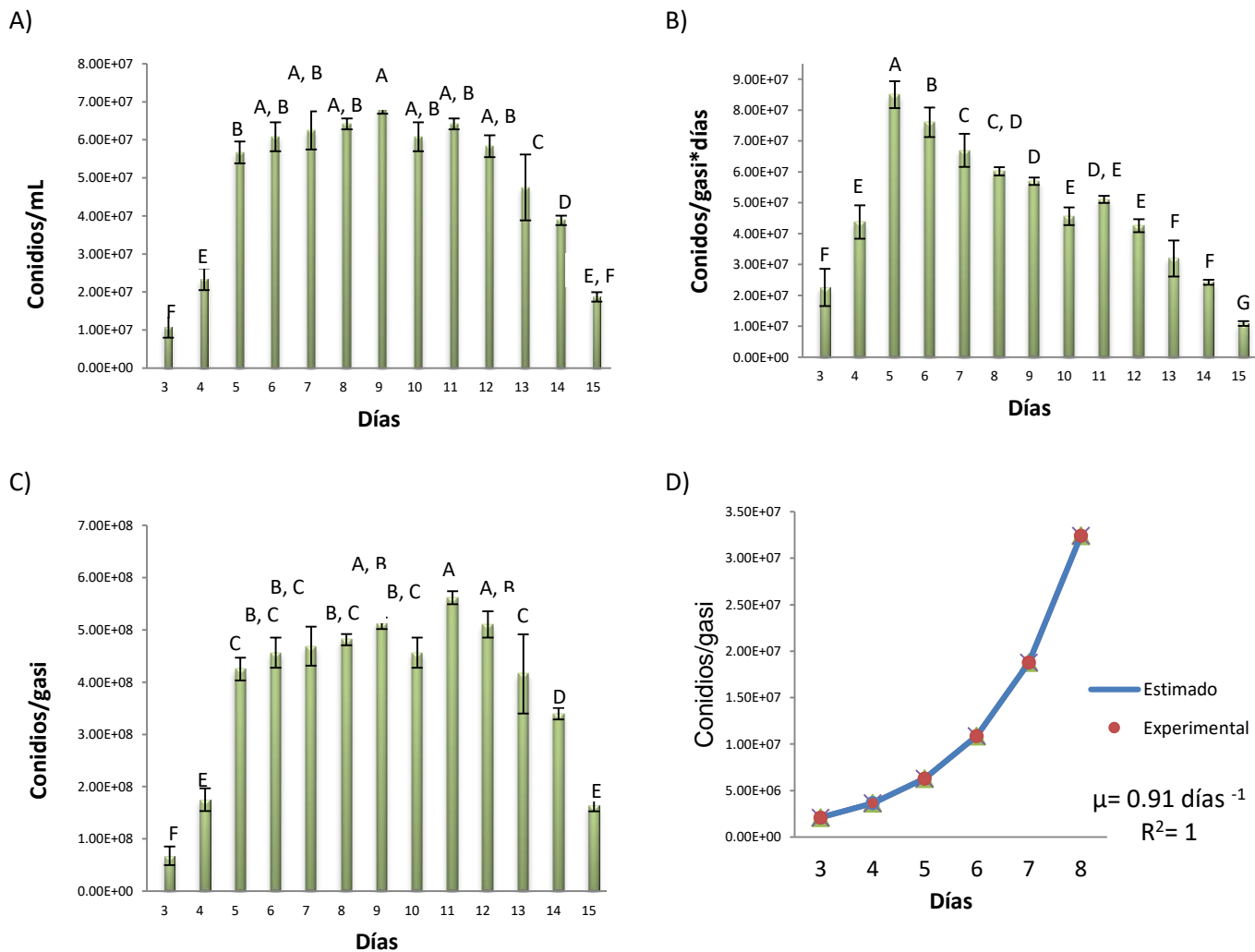


**Gráfico 7.** Cultivo de *C. fumosorosea* (Paesin), en arroz- bagazo de caña (70-30%) a) Cinética de producción, b) Cinética de productividad, c) Cinética de rendimiento y d) Ajuste del modelo en la fase exponencial.

AAC-BIOLAB (2021).

#### **7.4.5 Relación arroz/bagazo de caña 50-50%**

Por último, la producción de conidios para *C. fumosorosea* (Paesin), fue monitoreada en una cinética a los 15 días (Gráfico 8-A); encontrando la mayor producción a los nueve días de cultivo, la cual fue de  $6.80 \times 10^7$  conidios/mL; siendo estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ); entre los otros días. Sin embargo, la mayor productividad se obtuvo a los cinco días de cultivo con un valor de  $8.20 \times 10^7$  conidios/gasi\*d (Gráfico 8-B); resultando estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0.05$ ). Por otra parte, el mayor rendimiento se alcanzó a los 11 días de cultivo con un valor de  $5.80 \times 10^8$  conidios/gasi (Gráfico 8-C); el cual fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Cabe mencionar que se ajustó el modelo exponencial para obtener la rapidez de producción de conidios, la cual fue de  $0.91$  días<sup>-1</sup> con un coeficiente de correlación de 1.



**Gráfico 8.** Cultivo de *C. fumosorosea* (Paesin), en arroz- bagazo de caña (50-50%) a) Cinética de producción, b) Cinética de productividad, c) Cinética de rendimiento y d) Ajuste del modelo en la fase exponencial.

AAC-BIOLAB (2021).



## 8. Evaluación de la calidad de conidios obtenidos de *C. fumosorosea* (=Isaria) en mezclas de arroz-bagazo de caña; mediante su aplicación en *T. molitor*

### 8.1. *Tenebrio molitor*

En el cuadro 4 se presentan los parámetros de infectividad obtenidos al evaluar la acción insecticida de los conidios de *C. fumosorosea* de ambas cepas sobre larvas de *T. molitor*. Para la cepa de *C. fumosorosea* (CHE-CNRCB 303) se encontró que las relaciones 80-20% y 70-30% obtuvieron un tiempo de retardo menor que las demás mezclas, lo cual significa, que transcurrió solo 4 días en aparecer las primeras larvas muertas, en comparación de la mezcla 100-0% que fue la que tardo mayor tiempo; Por otro lado, para la cepa de Pae-sin, este efecto ocurrió en la relación 80-20%, demorando tres días para observar las primeras larvas muertas, siendo la mezcla más eficiente en este aspecto en comparación de las demás relaciones probadas.

**Cuadro 4.** Porcentaje de sobrevivencia *T. molitor*

Cepa	Arroz/bagazo de caña (%)	T <sub>0</sub> (día)	k (días <sup>-1</sup> )	TL50 (días)	S (%)
<i>C. fumosorosea</i> Pae-sin	100-0	7.652 ±0.180 <sup>ab</sup>	5.412 ±0.015 <sup>a</sup>	11.704±0.501 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	90-10	4.726 ±1.295 <sup>c</sup>	5.314±0.012 <sup>a</sup>	12.263±0.192 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	80-20	3.626 ±1.290 <sup>d</sup>	3.225±0.083 <sup>c</sup>	9.255±0.350 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	70-30	4.346 ±2.490 <sup>c</sup>	4.497±0.023 <sup>b</sup>	11.593±0.213 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	50-50	5.679 ±0.141 <sup>b</sup>	4.021±0.210 <sup>b</sup>	12.178±0.531 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<i>C. fumosorosea</i> CHE-CNRCB 303	100-0	7.091±0.181 <sup>A</sup>	6.175±0.015 <sup>A</sup>	11.383±0.992 <sup>AB</sup>	0±0 <sup>A</sup>
	90-10	6.367±0.437 <sup>B</sup>	5.929±0.025 <sup>A</sup>	10.880±0.943 <sup>B</sup>	0±0 <sup>A</sup>
	80-20	4.088±0.202 <sup>C</sup>	5.748±0.058 <sup>A</sup>	8.600±0.303 <sup>C</sup>	0±0 <sup>A</sup>
	70-30	4.236±1.768 <sup>C</sup>	4.157±0.067 <sup>B</sup>	10.146±0.535 <sup>B</sup>	0±0 <sup>A</sup>
	50-50	5.645±0.425 <sup>B</sup>	4.247±0.078 <sup>B</sup>	11.460±0.425 <sup>A</sup>	0±0 <sup>A</sup>

<sup>ab</sup> diferencia significativa (p<0.05) para Pae-sin

<sup>AB</sup> diferencia significativa (p<0.05) para CHE-CNRCB 303

En donde:

T<sub>0</sub>: Tiempo de retardo (tiempo en que tarda en aparecer el primer insecto muerto).

K: Tasa específica de muerte.

TL50: Tasa letal 50.

S: Porcentaje de sobrevivencia.

AAC-BIOLAB (2021).

## SEGUNDA PARTE: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como resultado de la revisión bibliográfica realizada de 2008 al 2021, se localizaron 220 artículos, en donde se analizó el uso de las principales especies de HE y las especies de insectos, en donde se ha evaluado el efecto insecticida de los metabolitos secundarios para el control de plagas. Dentro de los HE, la especie más estudiada es *B. bassiana*, seguida de *M. anisopliae* y *C. fumosorosea* y el número de artículos relacionados corresponde a 112, 41 y 42 respectivamente.

## 9. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se analizó la incorporación de arroz precocido como sustrato, empaquetado en biorreactores de columna para la producción de *C. fumosorosea*, en donde se encontró la mayor producción de conidios a los 11 y 12 días de cultivo con un rendimiento del  $4.72 \times 10^8$  y  $4.62 \times 10^8$  conidios/gasi respectivamente, lo cual resultó significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) a la productividad alcanzada en otros días (Figura 12). Posteriormente se analizó la porosidad y la densidad aparente en las diferentes relaciones de arroz/bagazo de caña, las cuales coincidieron exactamente con la relación 80-20% a diferencia de las demás, con una porosidad de 0.67 y una densidad aparente del 0.71 g/mL ajustándose los resultados a una ecuación polinómica de cuarto orden (Figura 13), observándose que al ir incrementando la incorporación del bagazo de caña, la densidad aparente va disminuyendo y eso se debe a que el arroz ocupa más espacio dentro de la unidad experimental. De la misma manera, en las diferentes proporciones de arroz-bagazo de caña, la relación 80-20 fue la que resultó significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) para la producción de *C. fumosorosea*

comparado con las demás (Figura 14), lo cual da indicios de que son parámetros que considerar para mejorar la producción de esporas de este hongo.

Sung *et al.*, 2009, encontraron que la temperatura óptima para la producción de biomasa micelial del hongo *cordyceps* es de 28°C por lo cual concuerda con la presente investigación ya que al utilizar esta misma temperatura para la incubación de los biorreactores de columna permitió un buen crecimiento del hongo para el desarrollo de la presente investigación. Por otro lado, también mostraron que los niveles más altos de producción se presentaron en el día 7 y en la presente investigación se obtuvo la mayor productividad en este mismo día, por ende, se puede decir que hay que tener una mayor atención en este día ya que, se tiene un mayor aprovechamiento de todos los recursos con el que cuenta el hongo para sobrevivir y multiplicarse.

En la presente investigación se pudo observar que utilizar arroz como sustrato para la producción de *Cordyceps* es beneficiosa coincidiendo con Portilho da Cunha *et al.*, 2019, en donde también se recomienda cuidar la aereación para la producción de conidios en donde, se puede complementar esa información con la incorporación de bagazo de caña como también lo menciona Jung-Young *et al.*, 2007, observando que resulta beneficioso para este parámetro. En Brasil normalmente se utiliza vasos con arroz pero se ha observado que ocupan mucho espacio, pero si se utiliza la metodología de biorreactores de columna, en donde, se tiene un control sobre estos espacios, significaría una ganancia significativa en la productividad además de un bajo índice de contaminación ya que se tienen parámetros de control importantes en este sentido.

Los HE tienen un amplio campo de aplicación como lo demostraron Deepak *et al.*, 2016, en donde no solo demuestran que tienen efecto insecticidas si no también, tiene utilidad para la remediación de metales pesados de aguas residuales contaminadas como fue en el caso de *B. bassiana*.

Es importante mencionar que en los últimos años (2010 al 2021), se han reportado investigaciones de la producción de hongos entomopatógenos en cultivo sólido, que permiten comparar los datos obtenidos en este estudio con Angel-Cuapio *et al.*, (2015), quienes reportaron una producción de  $5 \times 10^9$  conidios/gasi a ocho días de cultivo para *C. fumosorosea* (= *Isaria*) en cultivo sólido; utilizando arroz como sustrato empaquetado en frascos de vidrio. Por su parte, Méndez-González *et al.*, (2018); probaron la producción de conidios de *Metarhizium anisopliae* en reactores de columna logrando una producción de  $1.5 \times 10^9$  conidios/gasi, utilizando arroz como sustrato, resultados que concuerdan con lo obtenido en la presente investigación. Los altos niveles de esporulación pueden ser generados por el suministro de aireación forzada que utilizaron, ya que contribuye a mantener las condiciones que permiten un buen desarrollo del microorganismo y su esporulación como lo menciona Garza-López *et al.*, (2011) .

Miranda-Hernández *et al.*, (2017), mencionan que al utilizar fermentadores con texturizantes en estado sólido para la producción de conidios de las especies *M. anisopliae*, *C. fumosorosea* o *B. bassiana*; oscilan a los 21 días, pero en la presente investigación, probando a *C. fumosorosea*, los puntos máximos se presentaron entre siete y nueve días, incorporando arroz y bagazo de caña como nutriente y soporte respectivamente para la producción de conidios de este hongo.

Se han considerado diferentes sustratos para la producción de conidios de HE como lo reporta Rodríguez-Gómez *et al.*, (2009), en donde evaluaron la producción de *B. bassiana* en bolsas, de las siguientes especies: *L. vulgaris*, *Zea mays*, *L. culinaris* en el cual, comparándolo con los resultados obtenidos en esta investigación, se obtuvo valores superiores tanto en 100% arroz como en sus diferentes relaciones a la mitad del tiempo del que los autores obtuvieron sus resultados.

Por otro lado, Moura *et al.*, (2010) obtuvieron un rendimiento de conidios de *C. fumosorosea* en arroz, de  $1.14 \times 10^9$  con/gasi; utilizando la técnica de bandeja al día siete, en esta investigación, se obtuvo un rendimiento mayor en el mismo día, sustituyendo el 20% del sustrato, por un texturizante agroindustrial con un rendimiento del  $1.48 \times 10^9$  con/gasi.

Rodríguez-Gómez *et al.*, (2017), obtuvieron un rendimiento de conidios de *B. bassiana* del  $3.15 \times 10^8$  conidios/gasi a los 14 días, utilizando arroz, pero el cultivo se realizó en bolsas de polietileno, en esta investigación se logró un mayor rendimiento para *C. fumosorosea* a la mitad de los días, por lo cual, se atribuye a que en los biorreactores de columna permite la distribución del oxígeno y en caso de las mezclas ya utilizando bagazo de caña, este proporciona una porosidad que favorece dicha condición, como lo menciona Méndez-González *et al.*, (2018).

Resultados similares se observaron a esta investigación por parte de Angel-Cuapio *et al.*, (2015), coincidiendo en que es importante la incorporación de productos que brinden mayor porosidad para el crecimiento de *C. fumosorosea*. Al igual que Moura *et al.*, (2010) demuestran y sugieren que la incorporación de bagazo de caña para la producción de *Cordyceps (=Isaria)* favorece la producción de conidios debido a esta condición.

Al utilizar diversos modelos matemáticos para predecir el tiempo de crecimiento de microorganismos permite determinar la velocidad con la que se reproducen y el tiempo en que tardarían en llegar a su fase exponencial, determinando las condiciones óptimas para su desarrollo, además si se utiliza el modelo que se aplicó en esta investigación por medio de los productores de HE, podrían optimizar la calidad de conidios, evitando posibles contaminaciones en la producción sabiendo

su tiempo y poniendo atención en este periodo, así como, aprovechar cada una de sus etapas (Rodríguez y Chambi, 2019; González, *et al.*, 2022).

Se han aplicado diversos HE en *T. molitor*, con resultados satisfactorios, en el caso de *Cordyceps*, spp. existen pocos trabajos de investigación relacionados con su efectividad como agentes de control biológico, para plagas agrícolas; ya que es bien conocido que los HE son específicos para cada especie de hospederos (Castillo *et al.*, 2020), recientemente Muhammad *et al.*, en el 2020, aplicaron *C. fumosorosea* en *T. molitor* obteniendo resultados muy semejantes, a los que se tuvieron en ésta investigación, aunque la diferencia de porcentajes se puede deber a que los autores realizaron una purificación del hongo, extrayendo y aplicando los metabolitos secundarios de estos.

Anteriormente, no se observó el efecto insecticida de *C. fumosorosea* en insectos de la orden coleóptera, pero estudios recientes y en este estudio se comprobó que tiene un efecto de micosis en insectos de este género, como lo es en: *T. molitor*, abriendo la posibilidad de continuar y profundizar la investigación sobre la aplicación de este hongo en diferentes insectos de este género (Litwin *et al.*, 2020).

Por ultimo, los HE pueden ser utilizados como agentes de control biológico de diversas plagas del sector agrícola; además de *T. molitor*, como lo demostraron Chávez *et al.*, (2014), probando extracto crudo de *B. bassiana* en larvas de gallina ciega, obteniendo el 50% de mortalidad a los 10 días de tratamiento, por lo cual, coincide con los resultados obtenidos en este trabajo y concluyen que estos hongos son de amplio espectro teniendo efectos beneficios para dicha área.

## 10. CONCLUSIONES

El arroz puede ser utilizado como sustrato en cultivo sobre soporte sólido, para incrementar la producción de conidios de *Cordyceps fumosorosea* en reactores de columna empacada, ya que, a partir de este biorreactor, es posible aumentar los rendimientos considerando que existen días óptimos para ello, lo cual es un elemento fundamental para considerar en la producción de HE en gran escala.

Los parámetros de porosidad y densidad aparente al ajústalos a una ecuación polinómica de cuarto orden, nos permitirá conocer su comportamiento utilizando otro tipo de texturizante además del bagazo de caña, la cual podría desarrollarse de la siguiente manera: tenido a “y” como la porosidad base de 0.67 (obtenida en esta investigación) y a “x” como la relación, se realiza un despeje de la variable “x” para conocer qué relación se debe utilizar y poder concluir si tiene el mismo efecto o su comportamiento solamente ocurre utilizando bagazo de caña.

Para la industria, los parámetros más importantes en tomar en cuenta son: la producción, productividad y rendimiento, esta investigación demostró que si se producen conidios mediante esta técnica (biorreactores de columna), se podrá sustituir el 20% de sustrato por el 20% de texturizante obteniendo una reducción de 2 días, costos operativos y energéticos logrando resultados equivalentes a que si se siguiera utilizando la misma técnica (100% arroz).

Cabe señalar que el ajuste de una producción de conidios a un modelo, no se ha tomado en cuenta, por lo cual es una propuesta nueva, ya que, para los ingenieros es de suma importancia determinar donde se debe tener la mayor atención para obtener buenos resultados en los parámetros estudiados anteriormente.

La aplicación de los HE en insectos modelo como lo fue en *T. molitor*, permite conocer su comportamiento y efectividad a nivel laboratorio para posteriormente proponer su aplicación a diferentes niveles: ya sea, nivel invernadero o incluso a nivel campo de manera específica.

Por otro lado, tomando en cuenta la información obtenida de la revisión bibliográfica realizada, es evidente la importancia de los HE, ya que diferentes autores, han estudiado e investigado diferentes aspectos de éstos microorganismo, actualmente ya se conocen los huéspedes (insectos plagas) y el proceso infectivo de forma específica para algunos HE. Hasta el momento, se siguen proponiendo alternativas para la aplicación de los HE, ya sea, de manera individual o de manera conjunta con los MS, abriendo así la posibilidad de formular nuevos bioinsecticidas, siendo de gran utilidad en programas futuros de control biológico para plagas agrícolas.

Por los resultados obtenidos en esta investigación, se puede mencionar que *C. fumosorosea*, es una alternativa de control biológico, se recomienda hacer una purificación del hongo, para la extracción de los metabolitos secundarios y conjuntándolos con sus conidios, puede tener una mayor infectividad en menor tiempo. Para valorar el potencial micoinsecticida de *C. fumosorosea* es necesario llevar a cabo nuevas investigaciones en diferentes especies de organismos considerados como plagas.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

Abd-ElAzeem, E. M., El-Medany, W. A. Z. y Sabry, H. M., 2019. Biological activities of spores and metabolites of some fungal isolates on certain aspects of the spiny bollworms *Earias insulana* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Biological Pest Control*, 29(90), pp. 2-7.

Agrios, G. N., 1995. *Fitopatología*. México: Limusa S.A de C.V.

Aguilar–Rivera, N., 2011. Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), pp. 189-197.

Al Khoury, C., Guillot, J. y Nemer, N., 2019. Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of applied entomology*, Volumen 143, p. 974–983.

Alberto Hernández, A., 2016. *Evaluación de hongos entomopatógenos ( Beauveria bassiana y Metarhizium anisopliae) para el control de hormigas cortadoras en hojas de eucalipto*. Escuintla: Universidad Rafael Landívar.

Alcantara-Vargas, E., Espitia-López, J. y Garza-López, P. M., 2020. Producción y calidad de conidios de cepas de entomopatógenos del género *Metarhizium anisopliae*, aislados en zonas agrícolas del Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(e912912), pp. 1-11.

Alexopoulos, C., Mims, C. y Blackwell, M., 1996. *Introductory Mycology*. 4 ed. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..

Alime Bayindir, E. y otros, 2020. Effects of some entomopathogenic fungi on the aphid species, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Egyptian Journal of Biological pest control*, 30(1), p. 108.

Ali, S., Ren, S. y Huang, Z., 2014. Extracellular lipase of an entomopathogenic fungus effecting larvae of a scale insect.. *J Basic Microbiol*, 54(11), pp. 1148-1159.

Angel Cuapio, A., 2016. *Uso del lirio acuático como texturizantes en la producción de conidios de los hongos entomopatógenos en cultivo en soporte sólido*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapala.

Angel Cuapio, R. A., 2011. *Producción de conidios de hongos entomopatógenos sobre arroz y lirio acuático como texturizante*. México: Universidad Autónoma Metropolitana .

Angel-Cuapio, A. y otros, 2015. Critical values of porosity in rice cultures of *Isaria fumosorosea* by adding water hyacinth: effect on conidial yields and quality. *Applied biochemistry and biotechnology*, 177(2), p. 446–457.

Angel-Cuapio, A. y otros, 2015. Critical Values of Porosity in Rice Cultures of *Isaria fumosorosea* by Adding Water Hyacinth: Effect on Conidial Yields and Quality. *Appl Biochem Biotechnol*, Volumen 177, p. 446–457.

Avalos Vela, K. L. y Wilson-Kugg, J., 2015. Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre *Planococcus citri* en condiciones de laboratorio. *Revista Científica de Estudiantes*, 1(3), p. e44.

Bacca, T. y Lagos B, T. C., 2014. Efecto de *Beauveria bassiana* y del entomonematodo *Steinernema* sp. sobre larvas de *Galleria mellonella*. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 18(1), pp. 247-258.

Barrios T., C. E. y otros, 2016. Eficacia de hongos entomopatógenos en el control de *Leptopharsa gibbicarina* (Hemiptera: Tingidae) en palma de aceite. *Revista colombiana de Entomología*, 42(1), pp. 22-27.

Bautista, E. J., Mesa, L. y Gómez Alvarez, M. I., 2018. Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), p. 585 – 604.

Becerra-Quiroz, A. P., Buitrago-Coca, A. L. y Pinto-Baquero, P., 2016. Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), pp. 133-149.

Botello Suárez, W. A., Ortiz Varón, J. C. y Peña Perea, S. A., 2016. Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca*, 13(26), pp. 99-106.

Bustillo Pardey, A. E., 2010. Método para cuantificar suspensiones de esporas de hongos y otros organismos. *ResearchGate*, Issue 1-15.

C. Woolley, V. y otros, 2020. Cordycepin, a metabolite of *Cordyceps militaris*, reduces immune-related gene expression in insects. *Journal of Invertebrate Pathology*, Volumen 177, pp. 1-11.

Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A. y Pozo, C., 2020. Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista Espacios*, 41(10), p. 11.

Castro López, M. A. y Martínez Osorio, J. W., 2019. Compatibilidad de *Beauveria bassiana* Y *Metarhizium anisopliae* con *Chrysoperla externa* depredador de *Trialeurodes vaporariorum*. *Agro-Ciencia*, 35(1), pp. 38-48.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2012. *Producción y uso de hongos entomopatógenos*. Primera ed. Costa Rica: Darwin Granda.

Cepeda-Siller, M. y otros, 2018. Infección in vitro de cepas de *Beauveria* spp sobre *Globodera rostochiensis*. *Acta Universitaria*, Volumen 28, pp. 25-30.

Chávez Ibañez, E. y otros, 2014. Actividad insecticida in vitro de extracto crudo de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin sobre larvas de *Phyllophaga* spp. (Harris). *Protección Vegetal*, 29(3), pp. 226-230.

Cortés Nicolás, H., 2011. *Ventajas y desventajas de los insecticidas químicos y naturales*. Veracruz : Universidad Veracruzana: Poza Rica de Hgo.

Crespo Martín, E. y otros, 2018. Hongos entomopatógenos: de la agricultura a la conservación del patrimonio histórico. *pH investigación*, Volumen 94, pp. 352-367.

Cruz Martínez, L. C., 2007. *Estandarización del proceso de producción masiva del hongo *Trichoderma koningii* Th003 mediante fermentación bifásica a escala piloto*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

da Silva Santos, A. C., Gonvalves Diniz, A., Viera Tiago, P. y Tinti de Oliveira, N., 2019. Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. *Fungal biology reviews*, 34(1), pp. 1-17.

Dávila Sánchez, R. y Rodríguez, A., 2021. Caso experimental de remediación ex – situ en suelos contaminados por plaguicidas organoclorados, oxidación química y biosólidos. *Earth Journal*, 1(1), pp. 1-7.

Deepak, G. Priyadarshini, D. Arghya, B. Abhishek, M. Anushree, M. Maneesh, N. y Shaikh ziauddin, A., 2016. Multiple heavy metal removal using an entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. *Bioresource Technology*, 218, pp. 388-396.

de Albuquerque Maranhao, E. A. y de Albuquerque Maranhao, E. H., 2015. Hongos entomopatógenos: Importante herramienta para el control de "moscas. Anais da Academia Pernambucana de Ciencia Agronomica. *Anais da Academia Pernambucana de Ciencia Agronomica*, 5(6), pp. 209-242.

Debach, P., Santiago Álvarez, C. y Arroyo Varela, M., 1977. *Lucha biológica contra los enemigos de las plantas*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S. y Palacio Estrada, D. E., 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), pp. 372-387.

Díaz Ramos, A., 2020. *Diseño de una cosechadora de esporas de hongos entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana**. Oaxaca: Intituto Politécnico Nacional.

Elbanhawy, A. A., Elsherbiny, E. A., Abd El-Mageed, A. E. y Abdel-Fattah, G. M., 2019. Potential of fungal metabolites as a biocontrol agent against cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover and the possible mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Issue 159, p. 34–40.

El-Ghany TM, A., El-Sheikh, H., El-Rahman GA, A. y El-Nasser AM, A., 2012. Biodiversidad de hongos entomopatógenos en suelos nuevos cultivados con su uso para el control de *Galleria Mellonella*. *Revista Internacional de Investigación y Revisión*, Volumen 4, pp. 17-31.

Espinel Correal, C. y otros, 2018. *Hongos entomopatógenos en el control biológico de plagas*. Primera ed. Colombia: Agrosavia.

Espinoza, F. y otros, 2019. Effects of *Beauveria bassiana* (Hypocreales) on plant growth and secondary metabolites of extracts of hydroponically cultivated chive (*Allium schoenoprasum* L. [Amaryllidaceae]). *Heliyon*, 5(12), p. e03038.

Feichtmayer, J. D. L. y Griebler, C., 2017. Interacciones microbianas antagonistas: contribuciones y aplicaciones potenciales para el control de patógenos en los sistemas acuáticos. *Frontiers in Microbiology*, 8(2192), pp. 1-14.

Franco Chávez, K. G., Rodríguez Navarro, S., Cervantes Mayagoitia, J. F. y barranco Florido, J. E., 2011. Enzimas y toxinas de hongos entomopatógenos, su aplicación potencial como insecticidas y fungicidas. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 11(22), pp. 144-160.

Gallegos Morales, G., Cepeda Siller, M. y Olayo Paredes, R. P., 2016. *Entomopatógenos*. Primera ed. México: Trillas.

García-Torres, R. y otros, 2011. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 27(1), pp. 31-39.

Garza-López, P. M., Konigsberg, M., Saucedo-Castañeda, G. y Loera, O., 2011. Differential profiles of *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill as a response to CO<sub>2</sub>: production of conidia and amylases. *Agrociencia*, 45(7), pp. 761-770.

Gómez Ramírez, H., Zapata Granja, A., Torres del Aguila, E. y Tenorio Cantora, M., 2014. *Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos*. Perú: SENASA.

González Baca, G. y otros, 2019. Abundancia y distribución de hongos entomopatógenos en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), pp. 669-681.

González-Bacerio, J., Rodríguez Hernández, J. y del Monte Martínez, A., 2010. Las lipasas: enzimas con potencial para el desarrollo de biocatalizadores inmovilizados por adsorción. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), pp. 124-140.

González, L. C., 1989. *Introducción a la fitopatología*. Costa Rica: Orton IICA / CATIE..

González, R. E., Taròn Dunoyer, A., Pèrez Mendoza, J., 2022. Modelo de crecimiento microbiano para predecir el comportamiento de *Salmonella spp.* en queso costeño colombiano. *Revista Informaciòn Tecnologica*, 33(1), pp. 225-234.

Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J. y Vera-Nuñez, J. A., 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), pp. 1261-1274.

Guarro, J., 2012. Taxonomía y biología de los hongos causantes de infección en humanos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 30(1), pp. 33-39.

Hernández-ALvarado, J. y otros, 2018. Actividad antibacteriana y sobre nematodos gastrointestinales de metabolitos secundarios vegetales: enfoque en Medicina Veterinaria. *Abanico veterinario*, 8(1), pp. 14-27.

Heukelbach, J. y Feldmeier, H., 2004. Ectoparasites the underestimated realm. *The Lancet*, 363(9412), pp. 889-891.

Hussain, A. y Mohammed Aljabr, A., 2020. Potential Synergy between Spores of *Metarhizium anisopliae* and Plant Secondary Metabolite, 1-Chlorooctadecane for Effective Natural Acaricide Development. *Molecules*, 25(1900), pp. 1-15.

Instituto Nacional del Cáncer, 2019. *Diccionarios de NCI*. [En línea] Available at: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/peptido> [Último acceso: 18 Marzo 2021].

Jímenez Monte, P. E. y Pantoja Ponce, V. E., 2012. *Diseño y construcción de un fermentador rotatorio de fase sólida para la multiplicación del hongo Trichoderma Sp.* Ecuador: Escuela Superior politécnica de Chimborazo.

Jung-Young, O. Eun-Jae, C. Sung-Hee, N. Jang-Won, C. y Jong-Won, Y., 2007. Production of polysaccharide-peptide complexes by submerged mycelial culture of an entomopathogenic fungus *Cordyceps sphecocephala*. *Process Biochemistry*, 42, pp.352-362.

Kato, T. y otros, 2021. Effects of Cordycepin in *Cordyceps militaris* during Its Infection to Silkworm Larvae. *microorganisms*, 9(681), pp. 1-12.

Kerstetter, J. E. y otros, 2005. The impact of dietary protein on calcium absorption and kinetic measures of bone turnover in women. *J. Clin Endocrinol Metab*, Volumen 90, pp. 26-31.

Keswani, C. y otros, 2019. Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important fungi as next biocontrol agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Volumen 103, p. 9287-9303.

Konings, W. N., Sonja-Verena, A., Sonja, K. y Arnold JM, D., 2002. The cell membrane plays a crucial role in survival of bacteria and archaea in extreme environments. *Antonie van Leeuwenhoek*, Volumen 81, pp. 61-72.

León-Martínez, T. S., Dopico-Ramírez, D., Triana-Hernández, O. y Medina-Estevez, M., 2013. Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 47(2), pp. 13 - 22.

Litwin, A., Nowak, M. y Róz-alska, S., 2020. Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Environ Sci Biotechnol*, Volumen Issue 19, pp. 23-42.

López Lastra, C. C., Hajek, A. E. y Humber, R. A., 2002. Comparing methods of preservation for cultures of entomopathogenic fungi. *Canadian Journal of Botany*, 80(10), pp. 1126-1130.

López Rodríguez, L. y Burrola-Aguilar, C., 2019. Hongos parásitos de insectos y otros hongos: una alternativa de alimento funcional. *Agroproductividad*, 12(5), pp. 57-62.

Lozano-Tovar, M. y otros, 2013. Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive. *Biological Control*, 67(Issue 67), pp. 409-420.

Portilho da Cunha, L. Perpétua Casciatori, F. de Cenco Lopes, I. y Claudio Thomèo, Joao, 2019. Production of conidia of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* ICB 425 in a tray bioreactor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42 (11), pp. 1757-1768.

Margulis, L. y Sagan, D., 2003. *Una teoría sobre el origen de las especies*. Barcelona: Kairós.

Marín-Cruz, V. H., Rodríguez-Navarro, S., Barranco-Flrido, J. E. y Cibrián-Tovar, D., 2017. Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), pp. 329-340.

Marín-Cruz, V. H., Rodríguez-Navarro, S., Barranco-Flrido, J. E. y Cibrián-Tovar, D., 2017. Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), pp. 329-340.

MedlinePlus, 2006. *Metabolismo*. *Enciclopedia Médica*. [En línea] Available at: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002257.htm> [Último acceso: 12 Marzo 2021].

Méndez-González, F., Loera-Corral, O., Saucedo-Castañeda, G. y Favela-Torres, E., 2018. Bioreactors for the Production of Biological Control Agents Produced by Solid-State Fermentation. *Desarrollos actuales en biotecnología y bioingeniería*, Volumen 7, pp. 109-121.

Méndez-González, F., Loera, O. y Favela-Torres, E., 2018. Conidia Production of *Metarhizium anisopliae* in Bags and Packed Column Bioreactors. *Current Biotechnology*, 8(1), pp. 1-5.

Méndez-González, J. F., Loera, O., Saucedo-Castañeda, G. y Favela-Torre, E., 2020. Forced aeration promotes high production and productivity of infective conidia from *Metarhizium robertsii* in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, Volumen 156, p. 107492.

Mi Woo, R. y otros, 2020. Insecticidal and insect growth regulatory activities of secondary metabolites from entomopathogenic fungi, *Lecanicillium attenuatum*. *Journal of Applied entomology*, Issue 144, p. 655-663.

Miranda-Hernández, F., Angel-Cuapio, A. y Loera, O., 2017. Production of fungal spores for biological control. *Current developments in biotechnology and bioengineering*, Volumen 33, pp. 757-779.

M, M. y Manuel, 2019. *Atlas de histología vegetal y animal. La célula*. [En línea] Available at: <http://mmegias.webs.uvigo.es/5-celulas/1-introduccion.php> [Último acceso: 18 Marzo 2021].

Montesinos Matías, R. y otros, 2011. Variación de fenotipos de crecimiento y de virulencia en cepas mutantes de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. resistentes a 2–desoxi–D–glucosa. *Agrociencia*, 45(8), pp. 929-942.

Montesinos-Matías, R., Viniestra-González, G., Alatorre-Rosas, R. y Loera, O., 2011. Relationship between virulence and enzymatic profiles in the cuticle of *Tenebrio molitor* by 2-deoxy-D-glucose-resistant mutants of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *World J Microbiol Biotechnol*, Volumen 27, p. 2095–2102.

Monzón, A., 2018. *El software para la gestión integral en empresas agrícolas*. [En línea] Available at: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/hongos-entomopatogenos-en-control-biologico-de-plagas-1> [Último acceso: 23 Marzo 2021].

Morcelle del Valle, S. R., Gomes, M. T. R. y Vairo Cavalli, S. E., 2014. Caracterización bioquímica y estructural de proteasas. *Enzimas proteolíticas de vegetales superiores*, pp. 163-176.

Motta-Delgado, P. A. y Murcia-Ordoñez, B., 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambi-Agua*, 6(2), pp. 77-90.

Motta-Delgado, P. A. y Murcia-Ordoñez, B., 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), pp. 77-90.

Moura Mascarin, G., Batista Alves, S. y Biaggioni Lopes, R., 2010 . Culture Media Selection for Mass Production of *Isaria fumosorosea* and *Isaria farinosa*. *Brazilian Archives of biology and technology an International Journal*, 53(4), pp. 753-761.

Müller-Esterl, W., 2008. *Bioquímica: Fundamentos para Medicina y Ciencias de la Vida*. [En línea] Available at: <https://books.google.es/books?id=X2YVG6Fzp1UC&pg=PA44&dq=eucariotas,&hl=> [Último acceso: 13 Marzo 2021].

Natareno Cabrera, K. E., 2019. *Sistema de trazabilidad para el laboratorio de producción del hongo *Metarhizium anisopliae* en el ingenio Santa Ana*. Guatemala: Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.

Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R. y Vázquez-Montoya, E. L., 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3b), pp. 17-29.

Nowak, M., Bernat, P., Mrozińska, J. y Rózalska, S., 2020. Acetamiprid Affects Dextruxins Production but Its Accumulation in *Metarhizium* sp. Spores Increases Infection Ability of Fungi. *Toxins*, 12(587), pp. 1-14.

Oide, S. y Turgeon, B. G., 2020. Natural roles of nonribosomal peptide metabolites in fungi. *Mycoscience*, Issue 61, pp. 101-110.

Pacheco Hernández, M. d. L., Reséndiz Martínez, J. F. y Arriola Padilla, V. J., 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56), pp. 4-32.

Pérez Lozano, V. M., 2008. *Control biológico de plagas y enfermedades vegetales*:. España: Universidad de Alicante.

Pernalet, Z. y otros, 2008. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, 20(1), pp. 3-10.

Poma Laura, H. J., 2011. *Reproducción masiva de conidias de cepas del hongo entomopatógeno Beauveria bassiana (Balsamo) Vuillemin sobre sustrato natural de arroz, bajo diferentes calidades de grano*. La Paz, Bolivia: Facultad de agronomía.

Pontón, J., 2008. La pared celular de los hongos y el mecanismo de acción de la anidulafungina. *Revista Iberoamericana de Micología*, Issue 25, pp. 78-82.

Qunfang Weng, X., Zhang, Wei, C. y Qiongloo, H., 2019. Metabolitos secundarios y los riesgos de *Isaria fumosorosea* e *Isaria farinosa*. *Molecules*, 24(4), p. 664.

Qunfang Weng, X. Z., Wei, C. y Qiongbo, H., 2019. Secondary Metabolites and the Risks of *Isaria fumosorosea* and *Isaria farinosa*. *molecules*, 24(664), pp. 1-17.

Rachmawati, R., Kinoshita, H. y Nihira, T., 2018. Production of Insect Toxin Beauvericin from Entomopathogenic Fungi *Cordyceps militaris* by Heterologous Expression of Global Regulator. *Journal of Agricultural Science*, 40(1), pp. 177-184.

Raymundo-Jiménez, R. y otros, 2019. Producción y germinación de conidios del hongo entomopatógeno *Hirsutella citrifomis* (Ascomycota: Ophiocordycipitaceae). *Scientia Fungorum*, Volumen 49, pp. 1-9.

Rodríguez Navarro, S., Barranco Florido, J. E., Terrón Sierra, R. A. y Marín Cruz, V. H., 2017. Extractos crudos producidos por fermentación de hongos entomopatógenos para el control de *Macrodactylus infuscatus* Bates (Coleoptera: Melolonthidae): Una alternativa hacia la sustentabilidad. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 17(33), pp. 17-30.

Rodríguez R, R., 1965. Anabolismos y Catabolismo. *Revista de la Facultad de Medicina*, 7(10), pp. 697-710.



Rodríguez-Gómez, L. A. y otros, 2017. Evaluación de sustratos naturales para la producción de conidios de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypovreales: Cordycipitaceae) en cultivo bifásico. *Interciencia*, 42(11), pp. 739-743.

Rodríguez-Gómez, L. A. y otros, 2017. Evaluación de sustratos naturales para la producción de conidios de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypocreales: Cordycipitaceae) en cultivo bifásico. *Interciencia*, 42(11), pp. 739-743.

Rodríguez-Gómez, D., Loera, O., Saucedo-Castañeda, G. y Viniegra-González, G., 2009. Substrate influence on physiology and virulence of *Beauveria bassiana* acting on larvae and adults of *Tenebrio molitor*. *World J Microbiol Biotechnol*, Volumen 25, pp. 513-518.

Rodríguez Molina, M. y Chambi Rodríguez, A. D., 2019. Determinación de la curva de crecimiento microbiano. *Fides Et. Ratio*, 18(18), pp. 201-2013.

Rosales-López, C., 2019. Los bioprocesos en la biotecnología: uso de biorreactores para la producción y el escalamiento de productos de interés comercial. *Tecnología en Marcha*, Volumen 25, pp. 41-46.

Rosas-García, N. M., Mireles-Martínez, M. y Villegas-Mendoza, J. M., 2020. Detección de bassianolida y beauvericina en cepas de *Beauveria bassiana* y su participación en la actividad patogénica hacia *Spodoptera* sp. *Biociencia*, 23(3), pp. 93-99.

Sánchez-Pérez, L. d. C. y otros, 2014. Enzymes of Entomopathogenic Fungi, Advances and Insights. *Advances in Enzyme Research*, Volumen 2, pp. 65-76.

Sepúlveda-Vázquez, J. y otros, 2018. La importancia de los metabolitos secundarios en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andino Animal Science*, 5(2), pp. 79-95.

Sepúlveda-Vázquez, J. y otros, 2018. La importancia de los metabolitos secundarios en el control 438 de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andino Animal Science*, 5(2), pp. 79-95.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018. *La producción de caña de azúcar supera las 55 millones de toneladas en 2018*. [En línea] Available at: <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-produccion-de-cana-de-azucar-supera-las-55-millones-de-toneladas-en-2018#:~:text=Veracruz%20y%20Jalisco%20aportaron%2050.6%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20nacional&text=Al%20residuo%20de%20los%20tallos,dentro%20de%20> [Último acceso: 30 Marzo 2021].

Sharapova, I. E., 2019. Prospects of using entomopathogenic fungus in development of a biopesticide product with nematicidal activity. *Biocatálisis y biotecnología agrícola*, 19(2), p. 101098.

Sharif Swallah, M. y otros, 2020. Antioxidant Potential Overviews of Secondary Metabolites. *International Journal of Food Science*, Volumen 9081686, pp. 1-8.

Šimčíková, D. y otros, 2019. Rapid methods for the separation of natural mixtures of beauverolides, cholesterol acyltransferase inhibitors, isolated from the fungus *Isaria fumosorosea*. *Journal of separation science*, 43(5), p. 847–1018.

Sowers, A. y otros, 2006. Hemolymph osmolality and cation concentrations in *Litopenaeus vannamei* during exposure to artificial sea salt or a mixed-ion solution: Relationship to potassium flux. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A. Molecular y Integrative Physiology*, 145(2), pp. 176-180.

Sung Hak, L. Hee Sun, H. y Jong Won, Y., 2009. Production of polysaccharides by submerged mycelial culture of entomopathogenic fungus *Cordyceps takaomontana* and their apoptotic effects on human neuroblastoma cells, 26(4), pp. 1075-1083.

Taevernier, L., Wynendaéle, E., Gevaert, B. & De Spiegeleer, B., 2017. Chemical classification of cyclic dipeptides. *Current Protein and Peptide Science*, 18(5), pp. 425-452.

Taiz, L. & Zeiger, E., 2006. *Secondary Metabolites and Plant Defense*. 4 ed. Los Ángeles: California : s.n.

Tellez-Jurado, A. y otros, 2009. Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista Mexicana de micología*, Volumen Issue 30, pp. 73-80.

Tortora, G. J. y Funke, B. R., 2007. *Introducción a la microbiología*. [En línea] Available at: [https://books.google.es/books?id=Nxb3iETuwpIC&pg=PA242&dq=conjugaci%C3%B3n+bacteriana&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjPOOj\\_vqfXAhWDXBQKHQuBB5QQ6AEIJAA#v=onepage&q=conjugaci%C3%B3n%20bacteriana&f=false](https://books.google.es/books?id=Nxb3iETuwpIC&pg=PA242&dq=conjugaci%C3%B3n+bacteriana&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjPOOj_vqfXAhWDXBQKHQuBB5QQ6AEIJAA#v=onepage&q=conjugaci%C3%B3n%20bacteriana&f=false) [Último acceso: 13 Marzo 2021].

Vallejos Sirpa, J. G., Espinal Churata, C., Mollinedo, P. y Terraza Siles, E., 2014. Evaluación de actividad insecticida y quitinolítica de *Trichoderma inhamatum* y *Beauveria bassiana* en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*. *Bolivian Journal of Chemistry*, 31(1), pp. 5-9.

Vásquez-Bonilla, J. N. y otros, 2017. Actividad biológica de la micotoxina beauvericina en células cancerosas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 48(4), pp. 17-27.

Vázquez, L. L. y Pérez, N., 2017. El control biológico integrado al manejo territorial de plagas de insectos en Cuba. *Agroecología*, 12(1), pp. 39-46.

Villegas-Mendoza, J. M. y otros, 2019. Evaluación de la Toxicidad de un Extracto Metanólico de *Beauveria bassiana* en Larvas de *Spodoptera exigua* y *Spodoptera frugiperda*. *Southwestern Entomologist*, 44(3), pp. 715-722.

- Villegas-Mendoza, J. M. y otros, 2019. Evaluación de la Toxicidad de un Extracto Metanólico de *Beauveria bassiana*1 en Larvas de *Spodoptera exigua*2 y *Spodoptera frugiperda*2. *BioOne Complete*, 44(3), pp. 713-722.
- Villegas-Mendoza, J. M. y otros, 2019. Evaluación antimicrobiana de un extracto metanólico de *Beauveria bassiana* contra bacterias patógenas de importancia nosocomial. *Ars Pharm*, 60(3), pp. 169-176.
- Vivas Carmona, L. E., 2017. El Manejo Integrado de Plagas (MIP): Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), pp. 1-2.
- Vivekanandhan, P., Karthi, S., S. Shivakumar, M. y Benelli, G., 2018. Synergistic effect of entomopathogenic fungus *Fusarium oxysporum* extract in combination with temephos against three major mosquito vectors. *Pathogens and Global Health*, 112(1), pp. 37-46.
- Vivekanandhan, P. y otros, 2020. Larvicidal toxicity of *Metarhizium anisopliae* metabolites against three mosquito species and non-targeting organisms. *Plos One*, 15(5), pp. 1-18.
- Walter, N. G. y Engelke, D. R., 2002. *Biologist*. London : s.n.
- Wang, X. G. X., Li, P., Lai, D. y Zhou, L., 2018b. iversidad estructural y actividades biológicas de los dipéptidos cíclicos de los hongos. *Molecules*, 123(1), p. 169.
- Weng, Q., Zhang, X., Chen, W. y Hu, Q., 2019. Secondary Metabolites and the Risks of *Isaria fumosorosea* and *Isaria farinosa*. *Molecules*, 24(664), pp. 2-17.
- Xiu-Qu, L., Kuo, X., Xin-Min, L. y Peng, Z., 2020. A Systematic Review on Secondary Metabolites of *Paecilomyces* Species: Chemical Diversity and Biological Activity. *Planta Med*, 86(12), pp. 805-821.
- Ze-Bao, D., Xin, W. y Guo-Hong, L., 2020. econdary Metabolites and Their Bioactivities Produced by *Paecilomyces*.. *Molecules*, 25(5077), pp. 1-18.
- Zepeda-Jazo, I., 2018. Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(1), pp. 99-108.
- Zhang, L. y otros, 2020. Secondary metabolites from hypocrealean entomopathogenic fungi: genomics as a tool to elucidate the encoded parvome. *Natural Product Reports*, 37(9), pp. 1164-1180.

## **SEGUNDA PARTE**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **12. USO DE METABOLITOS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS**

Debido a la pandemia de la COVID-19, el proyecto se modificó, por lo cual se realizó una revisión bibliográfica. El planteamiento inicial era realizar la purificación de los metabolitos secundarios de *C. fumosorosea* y aplicarlos a diferentes concentraciones.

La revisión bibliográfica, se llevó a cabo en revistas especializadas, de los años 2008 al 2021, se localizaron 220 artículos de investigación, de cada uno de ellos se hizo un análisis detallado; se anexa al final del presente trabajo el manuscrito completo.

De acuerdo con la revisión y análisis de la bibliografía realizada, la aplicación de conidios de los HE se encuentra en desventaja, algunos autores proponer aplicar los conidios en combinación con los MS para la infección de los insectos, reduciendo el tiempo de efectividad y reduciendo la susceptibilidad hacia condiciones ambientales. Por otro lado, es importante conocer la estructura y composición química de los MS y cuál es su clasificación, con el fin de tener un amplio criterio en su aplicación, así como, para identificar el efecto que puede tener: insecticida o insectistático.

Es necesario señalar, que no solo se busca la mortalidad en el huésped, también se puede controlar a las plagas, al afectar su morfología y fisiología; un ejemplo es ocasionar malformaciones en el cuerpo; alteración del ciclo de vida, deterioro en la movilidad e incluso afectando su alimentación.

Secondary metabolites of entomopathogenic fungi, biological alternative for the control of agricultural pests and diseases; present and perspectives.

Nallely San Juan-Maldonado<sup>1</sup>, Silvia Rodríguez-Navarro<sup>2</sup>, Alejandro Angel-Cuapio<sup>3</sup>, Juan Esteban Barranco-Florido<sup>4\*</sup>.

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Agropecuarias. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, alcaldía Coyoacán. C. P. 04960 México, Ciudad de México. <sup>2</sup>Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, alcaldía Coyoacán. C. P. 04960, Ciudad de México. <sup>3</sup>División de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/TES de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, CP 55210, Estado de México. <sup>4</sup>Departamento de Sistemas Biológicos. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, alcaldía Coyoacán. C. P. 04960 Ciudad de México.

\*Corresponding author

E-mail address: [barranco@correo.xoc.uam.mx](mailto:barranco@correo.xoc.uam.mx)

### ABSTRACT

The use of entomopathogenic fungi (EF) in recent years have been highly effective against the different orders of insects considered pests of agricultural importance and their conidia have been commonly applied, but it has been reported that these are sensitive to the environmental conditions. For this reason, bioplagicides products have been formulated based on secondary metabolites, recently. These biomolecules participate as biological control agent, such as: cyclic depsipeptides, amino acids, polyketides, polyphenols and terpenoids. Affecting their morphology, life cycle and insect behavior. The use of secondary metabolites of entomopathogenic fungi opens the possibility of application in a more efficient way for the control of agricultural pests in a compatible with the environment and human health, therefore, it is important to know, analyzing the type of molecules, their effects and their different methods of application.

Key words: cyclic, polyphenolic depsipeptides, secondary metabolites, insecticidal effect, destruxins, insectistatic effect.

### 1. Introduction

Entomopathogenic fungi (EF) have shown that they are used efficiently as biological control agents, since they are responsible for causing diseases in insects [1]. Until now, more than 90 genders and 700 species of EF have been described and the isolation of new strains continues, among the most used are: *Metarhizum anisopliae* with 33.9%, *Beauveria bassiana* with 33.9%, *Cordyceps (=Isaria) fumosorosea* with 5.8% and *Beauveria brongniartii* with 4.1% [2, 3]. EF present a life cycle marked by a stage at which conidia are formed as a form of asexual reproduction, in which fungi remain until adhere to the insect's cuticle [4]. According to [5], its pathogenicity mechanism for EF consists of germination, penetration by mechanical and enzymatic action, mainly by proteases, lipases and chitinases, affecting the host cuticle. Later, [6] mentioned that a germ tube is formed and quickly reaches the hemocele, the mycelium of the fungus is transformed in blastospores, which evade the insect's immune system, producing toxins, such as secondary metabolites (SM), such as depsipeptides, flavonoids, terpenes, polyketides, SM does not participate directly in the growth of the insect, otherwise, with their survival.

SM cause alterations in the epithelial cells of the trachea, disable the mechanisms of the immune system and interrupt the physiological processes of the host, reduce feeding rates and the weight of some insect larvae, damage the nervous system, and they reduce their capacity to defend from the insect [7, 8, 9].

Conidia from EF are generally used in pest control., but EF has a high sensitivity to the variation of climatic conditions such as extreme temperatures and ultraviolet light, also to their infection time, is long compared to

chemical products [10]; Therefore, the potential of formulating new bioinsecticides for the control of agricultural pests from these metabolites [11].

SM can be used together with conidia and thus reduce the time of infection in insects. Therefore, the objective of this review is to analyze the advances in research on the SM produced by HE and the potential they have as biological control agents.

## 2.- Secondary metabolites (SM) of EF

EF produce a wide variety of organic molecules that have no direct function in primary metabolic processes, such as nutrient assimilation, protein, carbohydrate or lipid synthesis, and which are referred to as SM, which are important for the survival and interaction of the organism with its environment [6]. SM serve as: organisms used against other bacteria, fungi, plants, and insects, metal transporters, and symbiosis agents [12]. [13] report that cordycepin (a), ergosterol (b) and polysaccharides (c) are identified as the main metabolites of entomopathogens. On the other hand, other types of compounds have been reported, such as: polyphenolics with functional properties found in the plant and fungal kingdom, such as terpenes, flavonoids and alkaloids [14].

For EF, protein synthesis is essential and ribosomes participate in an important way in this process. However, there are SM called non-ribosomal peptides, which unlike ribosomes, are independent of messenger RNA and among these are polyketides, non-ribosomal depsipeptides [15, 16, 17].

Several EF species such as *Beauveria spp.*, *Lecanicillium lecanii*, *C. fumosorosea* and *M. anisopliae* are capable of producing organic acids and some non-peptidic pigments, where these have participated in the infective process against insects considered pests; These compounds have been described as an infectivity factor and it has also been suggested that they may be an element that contributes to the solubilization of the cuticular protein [18].

## 3.- Classification of SM

According to their chemical structure, they can be divided into the following groups: cyclic depsipeptides (cyclic tetradepsipeptides and cyclic hexadepsipeptides), peptides (octadepsipeptides, dipeptides and depsipeptides), amino acid derivatives, polyketides, polyphenols, terpenoids as shown in figure 1 [19].

### a) Cyclic depsipeptides

[20] define cyclic depsipeptides, as a family of cyclic peptide-related compounds, whose ring is mainly composed of amino acid and hydroxy acid residues linked by amide and ester bonds (at least one), resulting in a wide diversity of chemical structures.

Beauvericin (d) present in *B. bassiana* and *Fusarium spp.*, is a recognized mycotoxin that according to [21] forms a cyclic hexadepsipeptide composed of three molecules of N-methyl phenyl alanine and three molecules of 2-hydroxy isovaleric acid and its synthesis is carried out by a non-ribosomal mechanism specific to fungi using the beauvericin synthetase enzyme complex, which has the ability to increase the permeability of cell membranes to ions causing cell death [22, 23]. These have antibacterial, antifungal, cytotoxic and insecticidal activities, possess low toxicity in humans and do not need special requirements for their use [24].

[25, 26] described that beauvericin belongs to a new group of emerging mycotoxins mainly composed of enniatins (EN) and these are divided into different classes: ENA, ENA1, ENB, ENB1 and BEA, the latter being of most recent interest; The difference between enniatins is due to the amino acid composition and presence of functional groups in different positions, similarly in type A and B EN they are composed of: N-methylvaline (e) or N-methylisoleucine (f) or mixtures of these two amino acids, with a wide range on biological activities.

Destruxins (h) are cyclic hexadepsipeptides, isolated mainly from *Metarhizium*, more than 40 types have been reported, of which A, B and E are the most significant in the pathogenesis process and are well known for their insecticidal, fungicidal and bactericidal activity [27].

Two bioactive compounds have been detected from *C. militaris*; cordycepin (3'-deoxyadenosine), which is an important bioactive compound and has a broad spectrum of biological activity, on the other hand, it has also been reported to produce adenosine (g), which is a nitrogenous base and acts as a cellular nucleoside, which is necessary for the various molecular processes in cells, such as DNA and / or RNA synthesis [28, 29, 30].

#### b) Alkaloids:

Fumosorinone (i) is a 2-pyridone alkaloid isolated from *Cordyceps (=Isaria) fumosorosea*, it is a potent non-competitive inhibitor of the protein tyrosine phosphatase which is essential in the regulation of cell function in eukaryotes [31, 32]. [33] mentions that in *Cordyceps farinosa*, new yellow pigments, farinosones A (n) and B (o) together with farinosone C (p), a metabolite derived from an early step in the biosynthesis of pyridine alkaloid (j), were isolated. The alkaloid (+) N-deoxy militarinone A (k), was reported by [34] which was extracted from this same fungus, besides three new pyridone alkaloids were isolated from *Paecilomyces militaris* which were: militarinone A, B and D (k, l, m), having a pharmaceutical activity, as well as a biological control agent presenting changes in the host [35, 36].

#### c) Flavonoids

Flavonoids are MS with broad health-promoting insecticidal use and as biocatalysts, in nature they are mainly found in the form of glycosides [37]. EF are effective in the biotransformation of flavonoids, as demonstrated by [38] obtaining 2'-hydroxy-5'-methyl chalcone 3-O-β-D- (4'' -O-methyl) - gluco pyranoside from *B. bassiana* and *C. fumosorosea*, also in the latter, flavonones were detected (q) such as 6-methyl 4'-O-β-D- (4'' -O-methyl) -gluco pyranoside and 2 -phenyl-6-methyl chroman 4- O-β-D- (4'' -O-methyl) -gluco pyranoside.

#### d) Terpenoids and steroids

Stigmasterol (r), a phytosterol with a side chain containing ten carbon atoms attached to the steroid backbone, was isolated from *Paecilomyces* sp. from marine sponge [39]. On the other hand, [40], report the terpenoid, cateniolin C (s) causing an inhibitory effect on the growth in larvae of *Helicoverpa armigera* [41]. In addition, [32] carried out an analysis of different terpenoids reported in the literature, in which they mention that the benzofuran meroterpenoid was isolated from *Cordyceps annulata*; Benzofurans (t), felinone (u) and chromene meroterpenoids were isolated from *Cordyceps felina*, and they also mention that in *B. bassiana* the following alkaloids were identified: swainsonine (v) and tyrosine betaine (x). Similarly, [42] reported the terpenes: β-elemene, α-chamigreno and β-bisabolene found in *C. fumosorosea*.

#### e) Organic acids

In *B. bassiana* contains an oxaloacetate hydrolase enzyme in which, through the cytoplasmic way and the mitochondrial pathway, produces oxalic acid (y), which has been reported to have effects involved in the acidification of insect tissues; it also participates in the sequestration of metallic ions such as calcium, manganese, magnesium and iron; participating in the inhibition or reduction of the host defensive system [43, 44, 45]. Another important compound produced by *Cordyceps* spp. and *M. anisopliae* is dipicolinic acid (z) also known as: 2,6-pyridinedicarboxylic acid, where it modifies its pH by acidifying it to allow a greater robustness in the growth of HE conidia as well as, it reduces the sensitivity to ultraviolet rays and finally it has been reported to possess insecticidal properties against the Diptera family.

Its mode of action involves cation coordination through the formation of a ligand with three anions that can act as an enzyme inhibitor by subtracting essential ions from metalloenzymes [46, 47, 48].

#### f) Non-peptide and polyketide pigments

In the same way, *B. bassiana* is well known to produce a diverse variety of biologically active DMs including non-peptidic and polyketide pigments such as: oosporein (aa), bassianin and tenellin [49], the former is a red benzoquinone, which can oxidize proteins and amino acids showing a broad insecticidal, antifeedant and immunosuppressive effect, tested on adults of *Hylobius abietis* (Linnaeus, 1758) and larvae of *Galleria*

*mellonella* (Linnaeus, 1756), on the other hand, bassianin and tenellin affect cuticular membrane ATPases, performing important pathogenesis functions [50, 51].

#### 4.-SM and its use as a biological control agent

SM have a broad toxic effect on hosts as it causes severe damage to fatty tissues and organs [52], another reported symptom is the outflow of ions due to the loss of fluids through the peritrophic membrane, causing cellular dehydration through pores, in the same way it has been reported convulsions lack of coordination, altered behavior and paralysis in the host [53], the latter is caused as a consequence of the contraction of insect muscles through muscle depolarization due to the opening of Ca<sup>2+</sup> channels in the membrane that slows growth [54], also these molecules have effects on nutrient intake in the host presenting a loss of appetite [55, 56].

On the other hand, extracts of phytopathogenic fungi such as: *Fusarium oxysporum* and *Fusarium solani* have insecticidal effect on different orders of insects among them: Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Blattodea, Diptera, Thysanoptera and Orthoptera, thus finding the greatest effect (96.6%) in the orders: Coleoptera and Diptera [57, 58], Therefore, they have insecticidal effects and can be a form of biological control of insects with a broad spectrum.

#### Diptera

Different concentrations of SM belonging *M. anisopliae* have been applied to control larvae of *Anopheles stephensi* (Liston, 1901), *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823), observing a mortality of 85 to 97% from 24 hours after application, having an effect of these SM against these insects [59].

It has also been showed that extracts of *Lecanicillium attenuatum* isolated from soil with high infective capacity, can be applied against larvae of *Aedes albopictus* (Skuse 1895), in the same way it presents negative physiological effects on the same stage of *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) interfering in its development: such as the inability to withdraw from the head capsule, causing it to not completely remove from its old cuticles [54, 60] called this behavior as insecticidal effect, which is manifested through lack of appetite, inhibition in growth, development and oviposition of the insect.

On the other hand, SM of phytopathogenic fungus *F. oxysporum* have also been tested for the control of larvae and pupae of *A. stephensi*, *A. aegypti* and *C. quinquefasciatus* under laboratory conditions; where damage has been detected in the intestinal tissue epithelial cells, adipose tissue and muscles [61]. And phytopathogenic fungus *Ganoderma applanatum* has also been used under laboratory conditions for the control of larvae of these same insects, reporting a mortality of 50% after 24 hours of application, observing damage in the epithelial cells of the midgut and damage to muscle tissues in insects [62].

Another method commonly applied for the control of some bioplaguicides is the use of organic biopreparations such as whey and grain liquor, complemented with *B. bassiana* extract for adults of adults *Drosophila melanogaster* (Fallén, 1823) intensifying its effectiveness, being able to observe 100% mortality two days after application [63]. It can be observed that the synergistic use of these organic biopreparations with the extract of this fungus has a faster effect for the control of this pest.

#### Lepidoptera

*Cordyceps* (= *Isaria*) SM exhibit nematicidal, bactericidal, antiparasitic and insecticidal effects, as is the case of Oosporein (aa), which has been used for the control of hemiptera and lepidopteran insects, such as aphids and whiteflies [64]. Furthermore catenoblin(s) and fomolactone (bb) in particular, have effects on the growth of *H. armigera* (Hübner, 1805), as demonstrated by [65].

The effect of cordycepin (a), SM produced by *Cordyceps militaris* tested on *Galleria mellonella* (Linnaeus, 1756), has been analyzed and found to cause a significant decrease in the mean survival time of the insect [40].



Similarly, crude extracts of *B. bassiana* have been tested on this same insect, producing a 55% larval death, after 96 hours of application [66].

The use of conidia has been the most common for biological control, but the effectiveness of applying extracts of EF has been analyzed, as is the case of the comparison between them by applying them on larvae of two species of *Spodoptera* (Guenée, 1852 ) under laboratory conditions, where 90% mortality can be obtained with the extract and 30% mortality with conidia for both species after 72 hours of application [15]. And when testing only the SM of this fungus on larvae of *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808) and *S. frugiperda* (Walker), a mortality of 26% and 44% respectively was obtained after 7 days of application [67]. The use of fungal extracts is a mixture of several toxins that can produce a greater insecticidal effect than traditional application of conidia.

## Hemiptera

It has been reported that the application of *B. bassiana* extracts has a wide effectiveness for the control of *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), showing a significant reduction in the population of eggs and nymphs stages [68]. Similarly, extracts of *Lecanicillum lecanii* and *B. bassiana* have also been tested on of *Planococcus citri* (Risso, 1813) nymphs in vitro, where it was observed that their extracts produce an insectistatic effect in *P. citri* such as: loss of appetite and poor mobility [6]. On the other hand, MS of *B. bassiana* have been tested of *Aphis gossypii* (Glover, 1877), showing 100% mortality on the third day of application [69].

Similarly the effect that of SM produced by *B. bassiana* on the cellular immune defenses of *Eurygaster integriceps* (Puton, 1881), has been shown to inhibit the phagocytic activity of *E. integriceps* hemocytes and hinder nodule formation and it was also observed that these toxins deactivate several immune mechanisms allowing the fungus to overcome and then kill its host [65].

Dipicolinic acid produced by *C. fumosorosea* from a 6-day supernatant has also been reported to have a toxic effect, an example of which is the mortality observed against third instar nymphs of *B. tabaci* in the first 24 to 48 hours [70, 71].

## Trombidiformes

The combination of plant SM and EF have a wide potential for control of some mites, as demonstrated with the use of 1-chloro octadecane and *Metarhizium anisopliae* extract on *Oligonychus afrasiaticus* (Berlese, 1886), obtaining 100%-mortality after 15 days of application, demonstrating their synergy, reducing the mortality time and increasing the insecticidal capacity with this combination [41].

## Prostigmata

The effect of beauvericin against *Tetranychus urticae* (CL Koch, 1836) has been tested with 100% mortality using two different concentrations against motile stages, and it was also found that this toxin was able to inhibit egg hatching up to 69.3 % under laboratory conditions [23].

## Coleoptera

Oxalic acid produced by *B. bassiana* has been found to have insecticidal effects against adults of *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797), obtaining a mortality of 50.39% [48].

On the other hand, it has been seen that the application of beauvericin (d) in adults of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) negatively affects the insect and blocks its response mechanisms, in the same way it progressively degenerates the tissues, structural changes of the membranes are observed causing changes in the

electrical activity of the nerves in the host and this is caused by the increase of oxygen consumption in an attempt of the insect to restore itself [70].

## Nematodes

Beauvericin was shown to have effective insecticidal activity against *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner, 1934), with 46% mortality [25]. Similarly extracts of *B.bassiana* are reported to have a broad effect against *Caenorhabditis* sp. (Dougherty, 1955) obtaining a mortality of 100% at 48 hours of application, it was also tested on *Glycines heterodera* (Ichinohe, 1952), obtaining the same percentage of motility at the same time of application, the same was applied in *Aphelenchoides besseyi* (Christie, 1942), where a mortality of 64.8% was observed in the first 48 hours and finally at the same hours a mortality of 99.7% was found in *Meloidogyne incognita* [64].

## Other

Osporein and beauvericin, besides having an insecticidal effect, also limit the growth of pathogens in plants in vitro, so it is inferred that they have fungicidal effects [72]. In the same way, it has been reported that the use of *B. bassiana* extract works as a plant growth factor, for example, increasing the SM production of *Allium schoenoprasum* (Linneo) [73].

## Conclusions

### Analysis

As previously observed, the highest mortality is obtained when HE extract is applied, and this is due to the fact that this extract contains several toxic molecules in which both enzymes and MS participate, thus increasing toxicity and accelerating mortality.

It is important to know how SM are formed and what is their classification, therefore, this review helps us to study the toxins produced by EF, analyzing the different strategies for their application, obtaining highly significant results, having a wide insecticidal capacity both in the larval stage and in insect pupae, as having an insectistatic effect.

This effect causes the insects to have changes in their behavior and / or morphology, in which they do not develop normally as if they were 100% healthy, therefore, they become clumsy and thus, susceptible to be prey of other insects, on the other hand, the effect on their behavior is noticeable in their feeding when they stop eating and die.

To combat pests in different crops, producers have resorted to the use of organic biopreparations, but by using the extract of an EF in a synergistic way, it increases the infectivity for insects of the order of diptera, so the panorama and a wide possibility of use, is friendly to the environment, as well as to its applicators.

It is of utmost importance to study each of the strains before their application to determine their host specificity, since this varies among genera and therefore, they tend to be more effective against some orders as opposed to others.

## Bibliography

[1] Gandarilla-Pacheco, F. L., Elías-Santos, M., Flores- González, M. del S., De Luna-Santillana, E. de J., Quintero-Zapata., I. (2018) Virulence of blastospores of *Isaria fumosorosea* native to northeastern Mexico on *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). Colombian Journal of Entomology, 44(2), 187-192.

[2] González Baca, G., Venegas Barrera, C. S., González Gaona, O. J., Vargas Madriz, Haidel., Jiménez Gómez,M.A., Pérez Arriaga, E. and Azuara Domínguez, A. (2019) Abundance and distribution of

entomopathogenic fungi in different locations and environments in southern Tamaulipas. Mexican Journal of Agricultural Sciences, 10(3), 669-681.

[3] Alcantara-Vargas, E., Espitia-López, J., Garza-López, P. M. and Angel-Cuapio, A. (2020) Production and quality of conidia of strains of entomopathogens of the genus *Metarhizium anisopliae*, isolated in agricultural areas of the State of Mexico. Mexican Journal of Biodiversity, 91(2), 1870-3453.

[4] Crespo Martín, E., Gallego Sánchez, L. M., Gámez Arcas, S., Mozo Mulero, M., Nevado Berzosa, M. P., Pérez Camacho, I., Soriano Bermúdez, J. J., Téllez Pueblas, E. A., Molina-Heredio, F. P., Roncel, Mercedes., and Pérez Castiñeira, J. R. (2018) Entomopathogenic fungi: from agriculture to the conservation of historical heritage. pH research, 94, 352-367.

[5] Cepeda-Siller, M., Garrido Cruz, F., Castro Narro, E., Sánchez Peña, S.R., and Dávila Medina, M. D. (2018) In vitro infection of strains of *Beauveria* spp on *Globodera rostochiensis*. University Act, Issue 28, 25-30.

[6] Avalos Vela, K. L. and Wilson-Kugg, J. (2015) Effect of *Lecanicillium lecanii* and *Beauveria bassiana* on *Planococcus citri* under laboratory conditions. Scientific Journal of Students, 1(3), e44.

[7] Ali, S., Ren, S. and Huang, Z. (2014) Extracellular lipase of an entomopathogenic fungus effecting larvae of a scale insect. Journal Basic Microbiol, 54(11), 1148-59.

[8] Mi Woo, R., Gu Park, M., Young Choi, J., Hwan Park, D., Young kim, J., Wang, Minghui., Ji Kim, H., Dong Woo, S., Su Kim, J., and Ho Je, Y. (2020) Insecticidal and insect growth regulatory activities of secondary metabolites from entomopathogenic fungi, *Lecanicillium attenuatum*. Journal of Applied entomology, Issue 144, 655–663.

[9] Logeswaran, C., Vivekanandhan, P. and Shivakumar, M. S. (2019) Chemical constituents of thermal stress induced *Ganoderma applanatum* (Per.) secondary metabolites on larvae of *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* and histopathological effects in mosquito larvae. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 1-29.

[10] Cañedo, V. and Ames, T. (2004) Laboratory Manual for the Management of Entomopathogenic Fungi. 62 ed. Lima, Perú: International Potato Center (CIP).

[11] Sani, I., Izera Ismail, S., Abdulah, S., Jalinas, J., Jamalana, S. and Saad, N. (2020) A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. Insects, 11(619), 1-18.

[12] Keswani, C., Singh, Harikesh B., Hermosa, R., García-Estrada, C., Caradus, J., He, Ya-Wen., Mezaache-Aichour, S., Glare, T. R., Borriss, R., Vinale, F., Sansinenea, E. (2019) Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important fungi as next biocontrol agents. Applied Microbiology and Biotechnology, Issue 103, 9287–9303.

[13] López Rodríguez, L. and Burrola-Aguilar, C. (2019) Parasitic fungi of insects and other fungi: a functional food alternative. Agroproductivity, 12(5), 57-62.

[14] Sharif Swallah, M., Sun, H., Affoh, R., Fu, H. and Yu, H. (2020) Antioxidant Potential Overviews of Secondary Metabolites. International Journal of Food Science, 2020 (9081686), 1-8.

[15] Villegas-Mendoza, J. M., Mireles-Martínez, M., Rodríguez Castillejos, G., Santiago-Adame, R. and Rosas-García. (2019) Antimicrobial evaluation of a methanolic extract of *Beauveria bassiana* against pathogenic bacteria of nosocomial importance. Ars Pharm, 60(3), 169-176.

- [16] Elbanhawy, A. A., Elsherbiny, E. A., Abd El-Mageed, A. E. and Abdel-Fattah, G. M. (2019) Potential of fungal metabolites as a biocontrol agent against cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover and the possible mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Issue 159, 34–40.
- [17] Oide, S. and Turgeon, B. G. (2020) Natural roles of nonribosomal peptide metabolites in fungi. *Mycoscience*, Issue 61, 101-110.
- [18] Pucheta Díaz, M., Flores Macías, A., Rodríguez Navarro, S. and de la Torre, M. (2006) Mechanism of action of entomopathogenic fungi. *INCI, Caracas*, 31(12), 856-860.
- [19] Wang, X., Gong, X., Li, P., Lai, D. and Zhou, L. (2018 b) Structural diversity and biological activities of the cyclic dipeptides of fungi. *Molecules*, 123(1), 169.
- [20] Tavevner, L., Wynendaele, E., Gevaert, B. and De Spiegeleer, B. (2017) Chemical classification of cyclic dipeptides. *Current Protein and Peptide Science*, 18(5), 425-452.
- [21] Rachmawati, R., Kinoshita, H. and Nihira, T. (2018) Production of Insect Toxin Beauvericin from Entomopathogenic Fungi *Cordyceps militaris* by Heterologous Expression of Global Regulator. *Journal of Agricultural Science*, 40(1), 177-184.
- [22] Vásquez-Bonilla, J. N., Cabrera-Vega, E. J., Vázquez-Olvera, J. I., Gutiérrez-Nava, M. A., Hurtado- y de la Peña, M. and Barranco-Florido, J. E. (2017) Biological activity of the mycotoxin beauvericin in cancer cells. *Mexican Journal of Pharmaceutical Sciences*, 48(4), 17-27.
- [23] Al Khoury, C., Guillot, J. and Nemer, N. (2019) Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of applied entomology*, Issue 143, 974–983.
- [24] Chávez Ibañez, E., Rodríguez Navarro, S., Sánchez Pérez, LL de C., Hamdam Partida, A., and Barranco Florido, J. E. (2014) In vitro insecticidal activity of crude extract of *Beauveria bassiana* (Balsam) *Vuillemin* on larvae of *Phyllophaga* spp. (Harris). *Plant Protection*, 29(3), 226-230.
- [25] Stanciu, O., Juan, C., Miere, D., Loghin, F. and Mañes, J. (2017) Analysis of enniatins and beauvericin by LC-MS/MS in wheat-based products. *CyTA - Journal of Food*, 15(3), 433-440.
- [26] Křížová, L., Dadáková, K., Dvoráková, M. and Kašparovský, T. (2021) Feedborne Mycotoxins Beauvericin and Enniatins and Livestock Animals. *toxins*, 13(1), 32.
- [27] Litwin, A., Nowak, M. and Rózalska, S. (2020) Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Rev Environ Sci Biotechnol*, Issue 19, 23–42.
- [28] Tuli, H. S., Sandhu, S. S. and Sharma, A. (2014) Pharmacological and therapeutic potential of *Cordyceps* with special reference to Cordycepin. *Biotech*, Volumen 4, 1-12.
- [29] Wen, T. C., Long, F. Y., Kang, C., Wang, F. and Zeng, W. (2017) Effects of additives and bioreactors on cordycepin production from *Cordyceps militaris* in liquid static culture. *Mycosphere*, 8(7), 886–898.
- [30] Raethong, N., Wang, H., Nielsen, J. and Vongsangnak, W. (2020) Optimizing cultivation of *Cordyceps militaris* for fast growth and cordycepin overproduction using rational design of synthetic media. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 1-8.

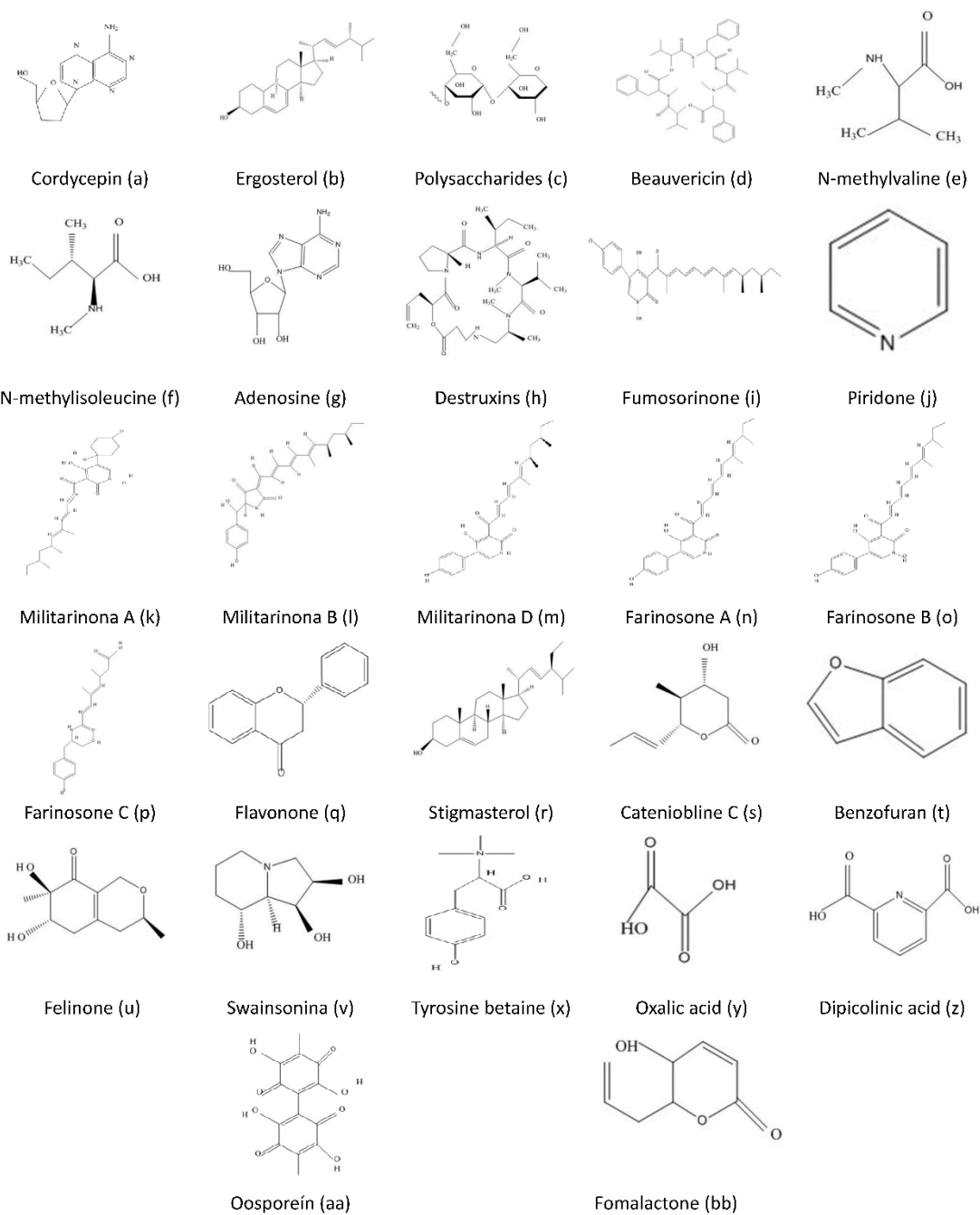
- [31] Nascimiento, M., Zhang, W-W., Ghosh, A., R. Houston, D., M. Berghuis, A., Oliver, M and Matlashewski, G. (2006) Identification and Characterization of a Protein-tyrosine Phosphatase in *Leishmania*. *The Journal of Biological Chemistry*, 281(47), 36257–36268.
- [32] Zhang, L., Yue, Q., Wang, C., Xu, Y. and Molnár, I. (2020) Secondary metabolites from hypocrealean entomopathogenic fungi: genomics as a tool to elucidate the encoded parvome. *Natural Product Reports*, 37(9), 1164-1180.
- [33] Zimmermann, G. (2008) The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 18(9), 865-901.
- [34] Cheng, Y., Schneider, B., Riese, U., Schubert, B., Li, Z., and Matthias, H. (2006) (+)-N-Deoxymilitarinone A, a neurotogenic pyridone alkaloid from the insect pathogenic fungus *Paecilomyces farinosus*. *Journal of natural products*, 69, 436–438.
- [35] Schmidt, K., Günther, W., Stoyanova, S., Schubert, B. L. and Matthias, H. (2002) Hamburger, M. Militarinone A, a neurotrophic pyridone alkaloid from *Paecilomyces militaris*. *Org Lett*, 4(2), 197–199.
- [36] Schmidt, K., Riese, U., Li, Z. and Matthias, H. (2003) Novel tetramic acids and pyridone alkaloids, militarinones B, C, and D, from the insect pathogenic fungus *Paecilomyces militaris*. *J. Nat. Prod.*, 66, 378–383.
- [37] Dymarska, M., Janeczko, T. and Kustrzema-Suslow, E. (2018) Glycosylation of Methoxylated Flavonoids in the Cultures of *Isaria fumosorosea* KCH J2. *Molecules*, 23(2578), 1-18.
- [38] Krawczyk-Lebek, A., Dymarska, M., Janeczko, T. and Kostrzema-Suslow, E. (2020) Entomopathogenic Filamentous Fungi as Biocatalysts in Glycosylation of Methylflavonoids. *catalysts*, 10 (1148), 1-19.
- [39] Xiu-Qu, L., Kuo, X., Xin-Min, L. and Peng, Z. (2020) A Systematic Review on Secondary Metabolites of *Paecilomyces* Species: Chemical Diversity and Biological Activity. *Planta Med*, 86(12), 805-821.
- [40] Wu, H.-Y., Wang, Y.-L., Tan, J.-L., Zhu, C.-Y., Li, D.-X., Huang, R., Zhang, K.-Q. and Niu, X.-M. (2012) Regulation of the growth of cotton bollworms by metabolites from an entomopathogenic fungus *Paecilomyces catenobliquus*. *J. Agric. Food Chem*, 60(22), 5604–5608.
- [41] Hussain, A. and Mohammed Aljabr, A. (2020) Potential Synergy between Spores of *Metarhizium anisopliae* and Plant Secondary Metabolite, 1-Chlorooctadecane for Effective Natural Acaricide Development. *Molecules*, 25(1900), 1-15.
- [42] Bojke, A., Tkaczuk, C., Stepnowski, P. and Gulebiowski, M. (2018) Comparison of volatile compounds released by entomopathogenic fungi. *Microbiological research*, Volumen 214, 129-136.
- [43] Brett H., K., Asma, E. and Nemat O., K. (2005) Oxalic Acid as a Fungal Acaricidal Virulence Factor. *Journal Medical Entomology*, 42(3), 346-351.
- [44] Borges, D., Díaz, A. O., San Juan, A. N. and Gómez, E. (2010) Secondary metabolites produced by entomopathogenic fungi. *ICIDCA. About Sugar Cane Derivatives*, 44(3), 49-55.
- [45] Yang, G., Ming-Guang, F., Sheng-Hua and Ying. (2018) Oxaloacetate hydrolase gene links the cytoplasmic route of oxalate formation to differentiation and virulence of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, Volumen 21, 211-216.
- [46] Asaff, A., Rojas-Rojas, C. and De la Torre, M. (2005) Isolation of dipicolinic acid as an insecticidal toxin from *Paecilomyces fumosoroseus*. *Appl Microbiol Biotechnol*, Volumen 68, 542–547.

- [47] Luo, Z. Ren, H., Mousa, J. J., Rangel, D., and Zhang, Y. (2017) The PacC transcription factor regulates secondary metabolite production and stress response, but has only minor effects on virulence in the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Environ Microbiol*, 19(2), 788-802.
- [48] Feijó de Souza, D. J., Vinícius Scalco, A., Molina de Souza, R., Marins Ocampos, F. M., Barison, A., Angeli Alves, L. F., Oliveira Janeiro Neves, P. M. (2018) Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* to *Beauveria bassiana* extracts. *Natural Product Research*, 33(20), 3033-3036.
- [49] Xiao, G., Ying, S.H., Zheng, P., Wang, Z-L., Zhang, S., Xie, X-Q., Shang, Y., Leger, R. J. St., Zhao, G-D., Wang, C. and Feng, M-G. (2012) Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*. *Scientific reports*, 2(483), 1-10.
- [50] Eun-Min, C., Drion, B. and Nemat O, K. (2006) EST analysis of cDNA libraries from the entomopathogenic fungus *Beauveria (Cordyceps) bassiana*. II. Fungal cells sporulating on chitin and producing oosporein. *Microbiology*, Volumen 152, 2855–2864.
- [51] Namara, L. M., Dolan, S. K., Walsh, J. M. D., Stephens, J. C., Glare, T. R., Kavanagh, K., Griffin, C. T. (2019) Oosporein, an abundant metabolite in *Beauveria caledonica*, with a feedback induction mechanism and a role in insect virulence. *Fungal Biology*, 123(8), 601-610.
- [52] Sánchez-Pérez, LL. d. C., Barranco-Florido, J. E., Rodríguez-Navarro, S., Cervantes-Mayagoitia, J. F., and Ramos-López, M. Á. (2014) Entomopathogenic fungal enzymes, advances and knowledge. Issue 2, 65-76.
- [53] Tellez-Jurado, A., Cruz Ramírez, M. G., Mercado Flores, Y., Asaff Torres, A. and Arana-Cuenca, A. (2009) Mechanisms of action and response in the relationship between entomopathogenic fungi and insects. *Mexican Journal of Mycology*, Issue 30, 73-80.
- [54] Mi Woo, R., Gu Park, M., Young Choi, J., Hwan Park, D., Young kim, J., Wang, Minghui., Ji Kim, H., Dong Woo, S., Su Kim, J., and Ho Je, Y. (2020) Insecticidal and insect growth regulatory activities of secondary metabolites from entomopathogenic fungi, *Lecanicillium attenuatum*. *Journal of Applied entomology*, Issue 144, 655–663.
- [55] Nowak, M., Bernat, P., Mrozinska, J. and Rózsalska, S. (2020) Acetamiprid Affects Dextruxins Production but Its Accumulation in *Metarhizium sp.* Spores Increases Infection Ability of Fungi. *Toxins*, 12(587), 1-14.
- [56] Kato, T., Nishimura, K., Suparmin, Ahmad., Ikeo, K. and Y. Park, E. (2021) Effects of Cordycepin in *Cordyceps militaris* during Its Infection to Silkworm Larvae. *microorganisms*, 9(681), 1-12.
- [57] Patocka, J. (2016) Bioactive metabolites of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. *Military Medical Science Letters*, 85(2), 80-88.
- [58] da Silva Santos, A. C., Gonvalves Diniz, A., Viera Tiago, P. and Tinti de Oliveira, N. (2019) Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. *Fungal biology reviews*, 1-17.
- [59] Vivekanandhan, P., Swathy, K., Kalaimurugan, D., Ramachandran, M., Yuvaraj, A., Noresh Kumar, A., Subramanian Shivakumar, M. and J. Kweka, E. (2020) Larvicidal toxicity of *Metarhizium anisopliae* metabolites against three mosquito species and non-targeting organisms. *Plos One*, 5(5), e0232172.
- [60] Marín-Cruz, V. H., Rodríguez-Navarro, S., Barranco-Florido J. E. and Cibrián-Továr, D. (2017) Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 329-340.

- [61] Vivekanandhan, P., Karthi, S., Shivakumar, M. S. and Benelli, G. (2018) Synergistic effect of entomopathogenic fungus *Fusarium oxysporum* extract in combination with temephos against three major mosquito vectors. *Pathogens and Global Health*, 112(1), 37-46.
- [62] Logeswaran, C., Vivekanandhan, P. and Shivakumar, M. S. (2019) Chemical constituents of thermal stress induced *Ganoderma applanatum* (Per.) secondary metabolites on larvae of *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* and histopathological effects in mosquito larvae. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1-29.
- [63] Sharapova, I. E. (2019) Prospects of using entomopathogenic fungus in development of a biopesticide product with nematicidal activity. *Biocatálisis y biotecnología agrícola I*, 19(2), 101098.
- [64] Zhang, X., Hu, Q. and Qunfang, W. (2019) Secondary metabolites (SMs) of *Isaria cicadae* and *Isaria tenuipes*. *The Royal Society of Chemistry*, Issue 9, 172–184.
- [65] Ze-Bao, Dai, Xin, W. and Guo-Hong, L. (2020) Secondary Metabolites and Their Bioactivities Produced by *Paecilomyces*. *Molecules*, 25(5077), 1-18.
- [66] El-Ghany TM, A., El-Sheikh, H., El-Rahman GA, A. and El-Nasser AM, A. (2012) Biodiversity of entomopathogenic fungi in new cultivated soils with their use for the control of *Galleria mellonella*. *International Journal of Research and Review*, 4, 17-31.
- [67] Rosas-García, N. M., Mireles-Martínez, M. and Villegas-Mendoza, J. M. (2020) Detection of bassianolide and beauvericin in strains of *Beauveria bassiana* and their participation in the pathogenic activity towards *Spodoptera* sp. *Biotecnia*, 23(3), 93-99.
- [68] Sani, I., Izera Ismail, S., Abdulah, S., Jalinas, J., Jamalana, S. and Saad, N. (2020) A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects*, 11(619), 1-18.
- [69] Alime Bayindir, E., Ovidad, Abdelaziz., Ali Kemal, B., Mohamed Morad, S., Ammar, O., and Ismail, K., (2020) Effects of some entomopathogenic fungi on the aphid species, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Egyptian Journal of Biological pest control*, 30(1), 108.
- [70] Asaff, A., Rojas-Rojas, C. and de la Torre, M. (2005) Isolation of dipicolinic acid as an insecticidal toxin from *Paecilomyces fumosoroseus*. *Appl Microbiol Biotechnol*, Volumen 68, 542–547.
- [80] Ji Hee, H., Byung Rae, J., Jeong Jun, K. and Sang Yeob, L. (2014) Virulence of Entomopathogenic Fungi *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* for the Microbial Control of *Spodoptera exigua*. *Mycobiology*, 42(4), 385-390.
- [81] Lozano-Tovar, M. D., Ortiz-Urquiza, A., Garrido-Jurado, I., Trapero-Casas, A., Quesada-Moraga, E. (2013) Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive. *Biological Control*, Issue 67, 409–420.
- [82] Espinoza F., Vidal, Stefan., Rautenbach, Fanie., Lewu, F. and Nchu, Felix, (2019) Effects of *Beauveria bassiana* (Hypocreales) on plant growth and secondary metabolites of extracts of hydroponically cultivated chive (*Allium schoenoprasum* L. [Amaryllidaceae]). *Heliyon*, Issue 5, e03038.

## Figure Title

**Figure 1.** Main SM produced by EF of insecticidal importance for the control of bioplaguicides.





## 13. ANEXOS

### 13.1 Determinación de parámetros físicos de la relación arroz/bagazo

Se especificó la cantidad de humedad presente en las diferentes relaciones de arroz/bagazo de caña, en donde se puede observar que el bagazo de caña sin mezcla tiene mayor cantidad de humedad (Cuadro 2), en comparación con las demás mezclas.

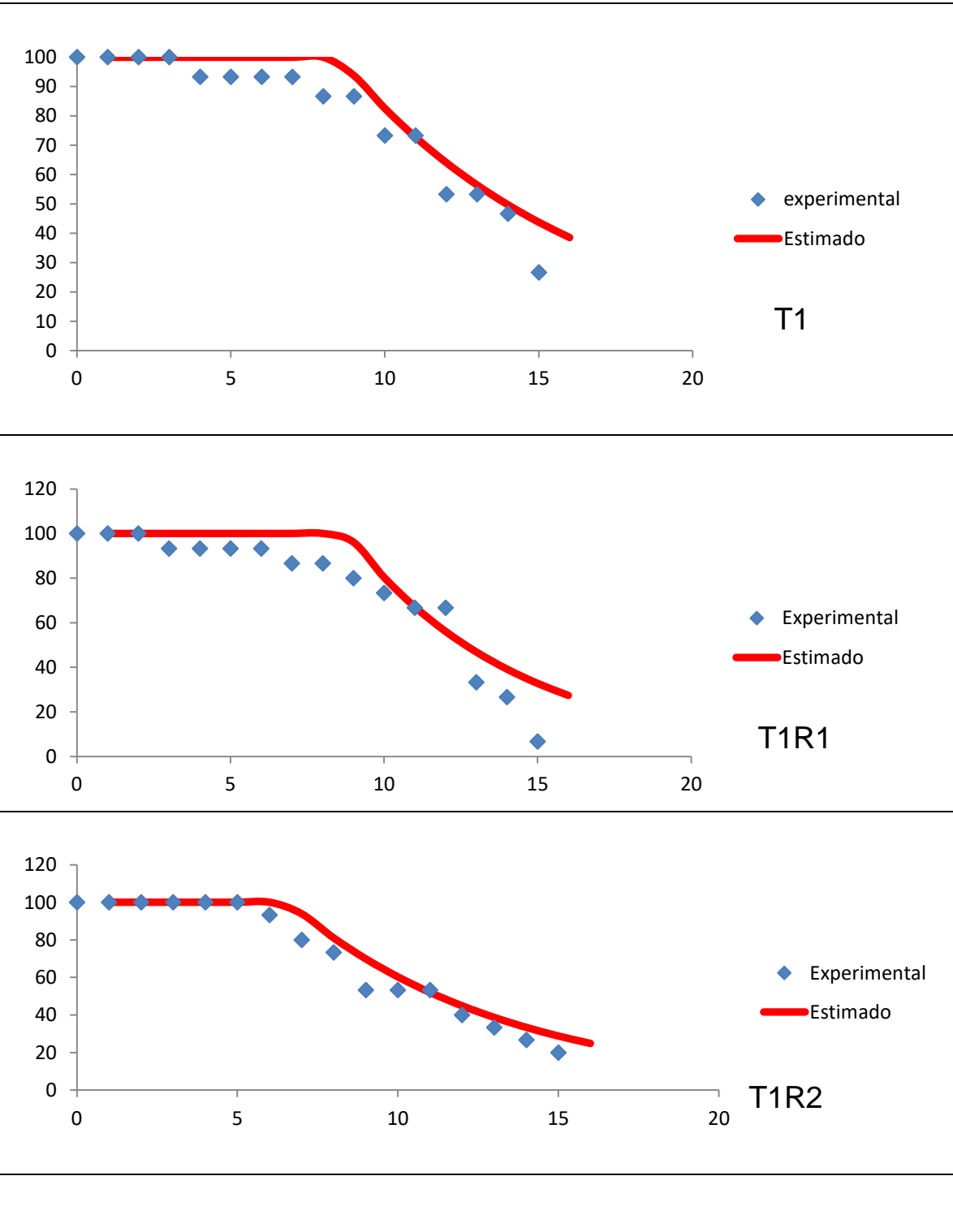
**Cuadro 6.** Porcentaje de humedad en la relación arroz/bagazo.

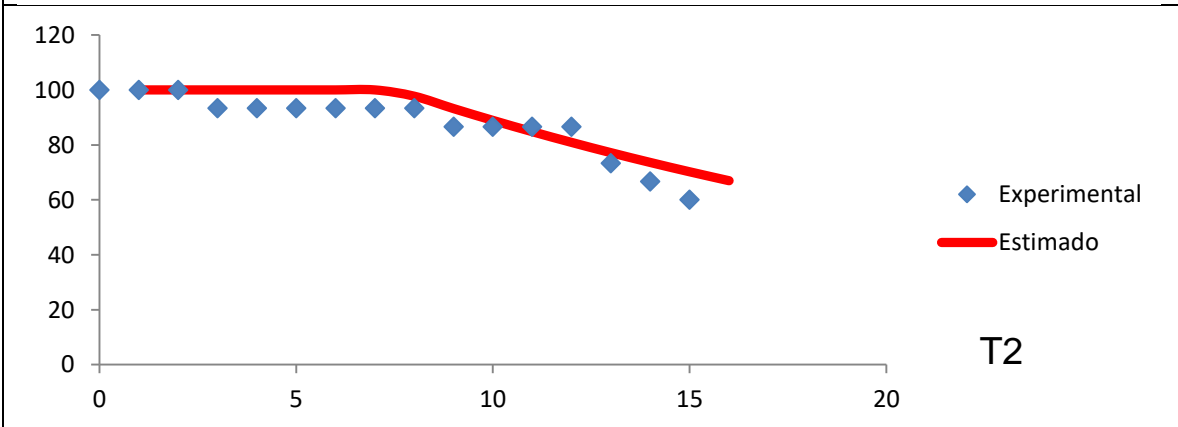
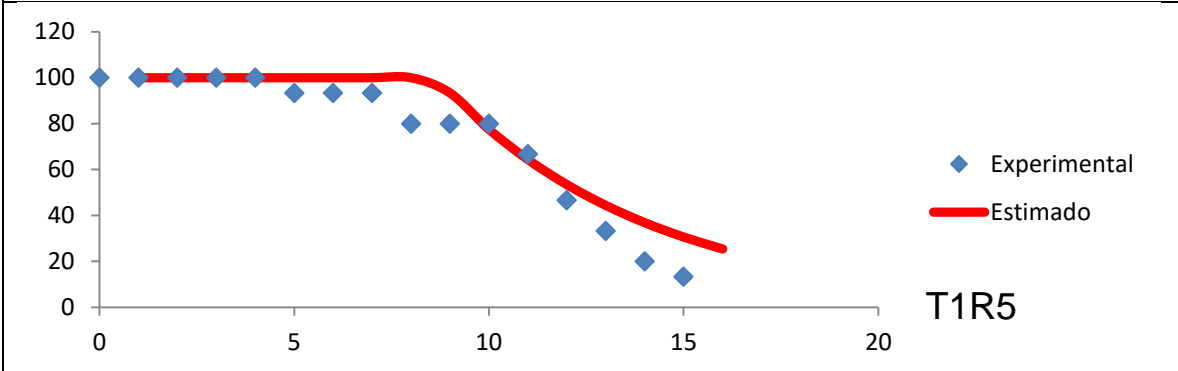
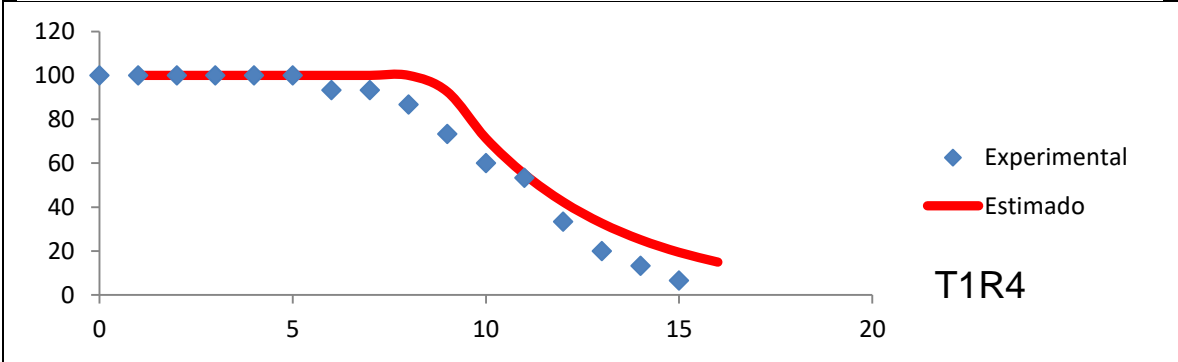
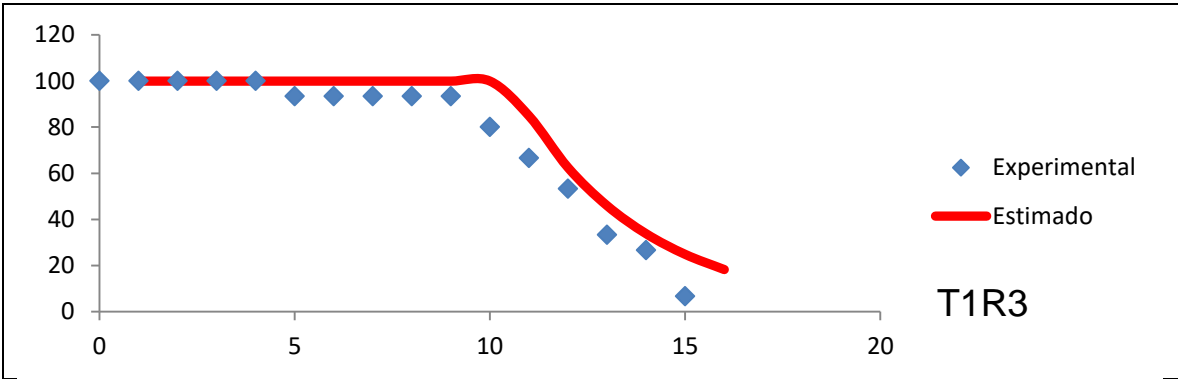
Relación (Arroz/bagazo)	Peso inicial (g)	Humedad (%)	Masa Seca (%)	Peso residual (g)
100-0	1.03 ±0.01	2.75±0.73	97.25±0.73	1±0
90-10	1.03±0.02	2.27±0.6	97.73±0.59	1±0
80-20	1.07±0	2.18±0.9	97.79±0.9	1.05±0
70-30	1.03±0	3.24±0.5	96.76±0.5	0.99±0
50-50	1.06±0	5.34±1.1	94.63±1.1	1±0
0-100	1±0	6.50±0.5	93.50±0.5	0.93±0

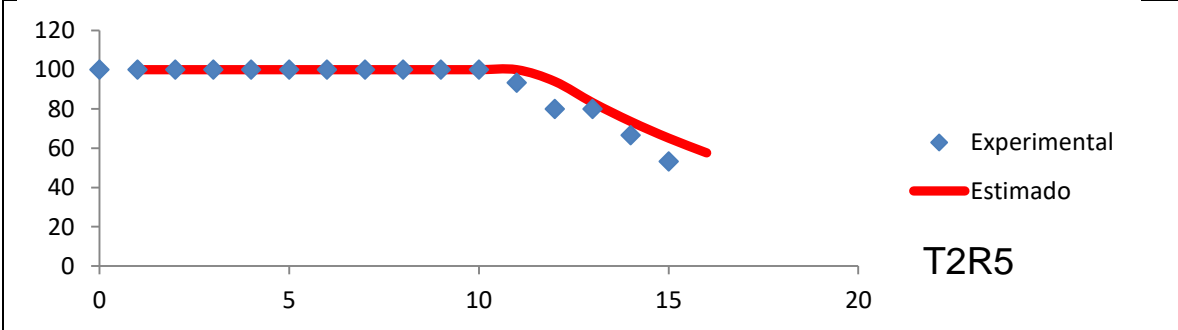
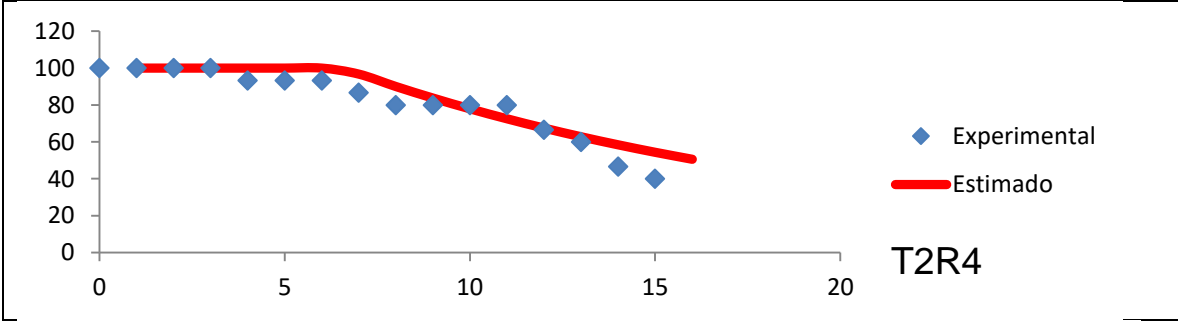
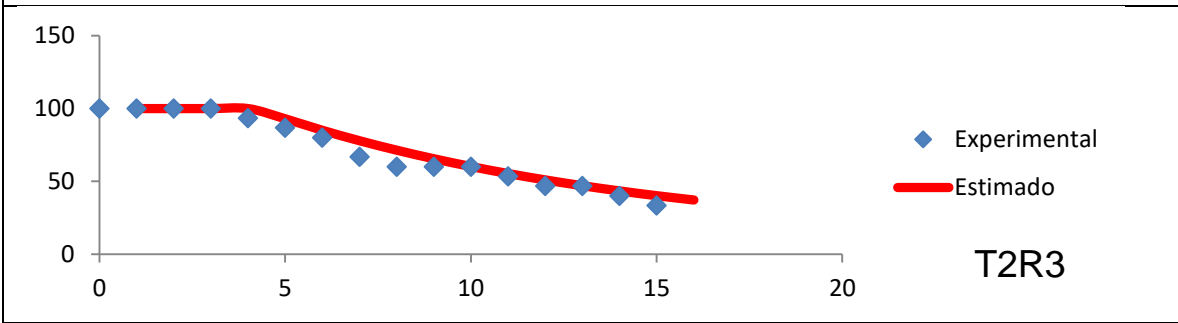
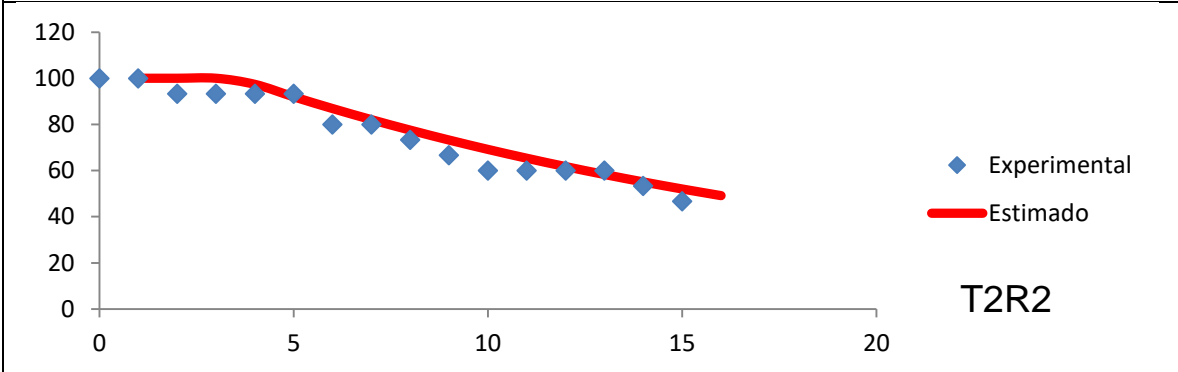
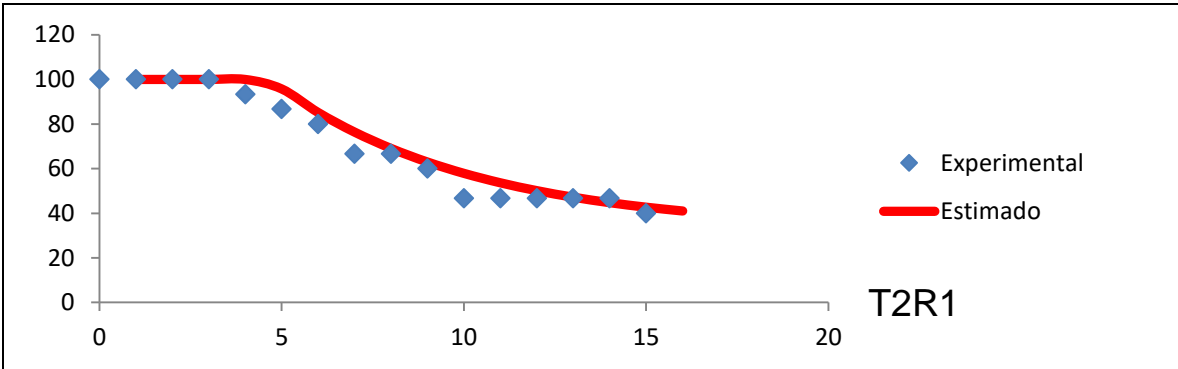
**Cuadro 7.** Cantidad de agua que se requiere para ajustar cada tratamiento al 40% de humedad.

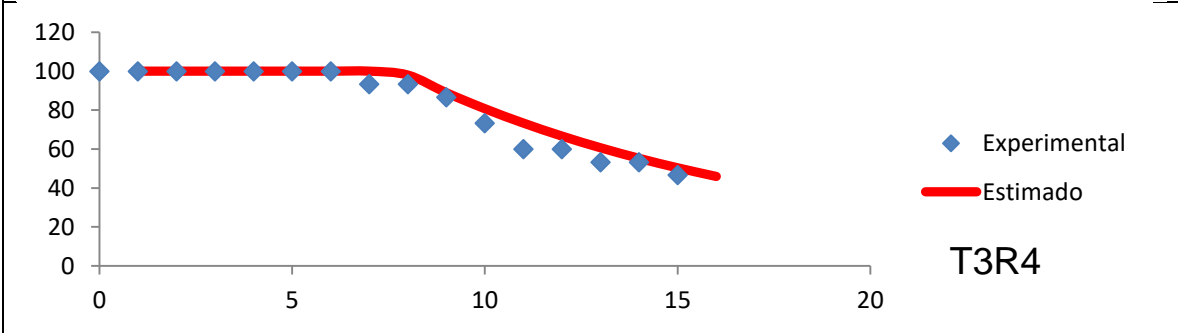
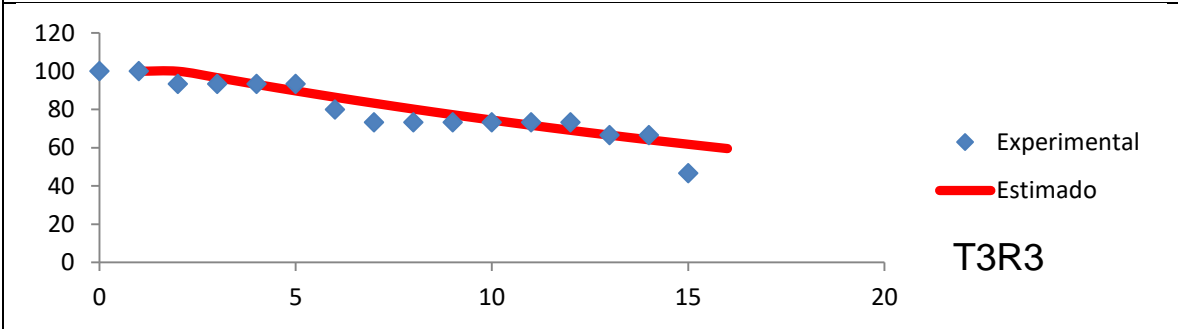
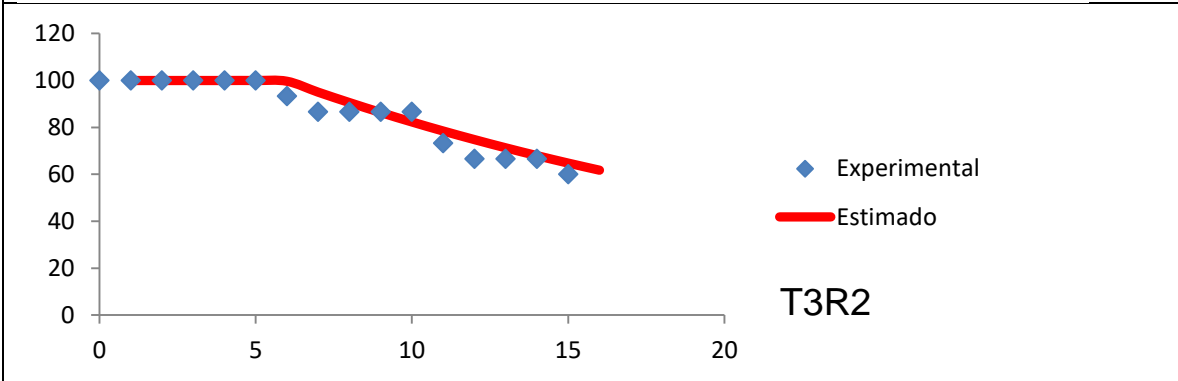
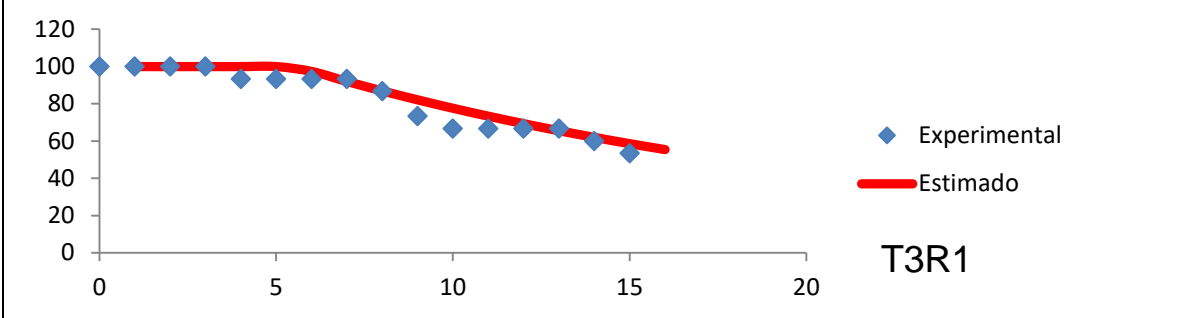
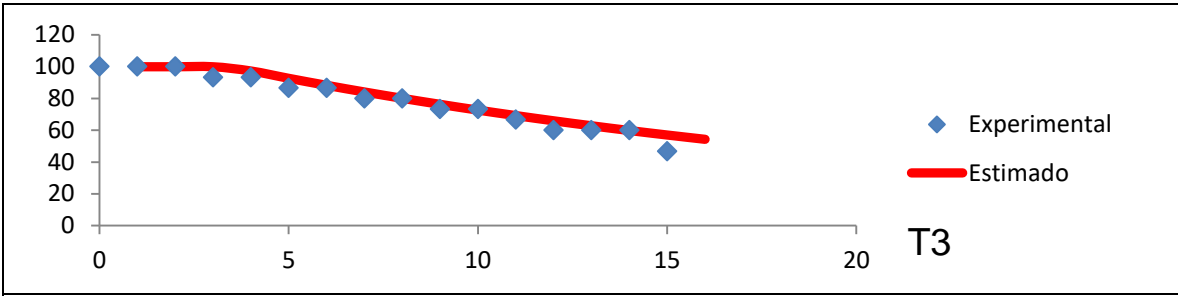
Arroz/bagazo (%)	Cantidad de agua (mL)
100-0	6.209
90-10	6.288
80-20	6.302
70-30	6.127
50-50	5.774
0-100	5.583

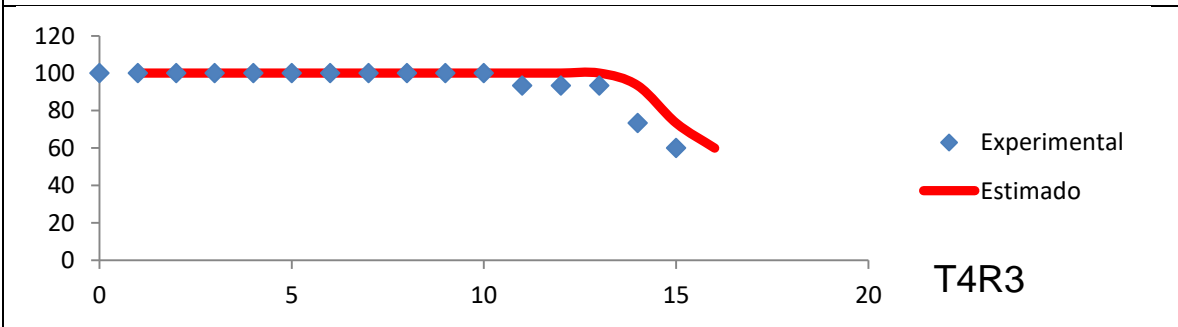
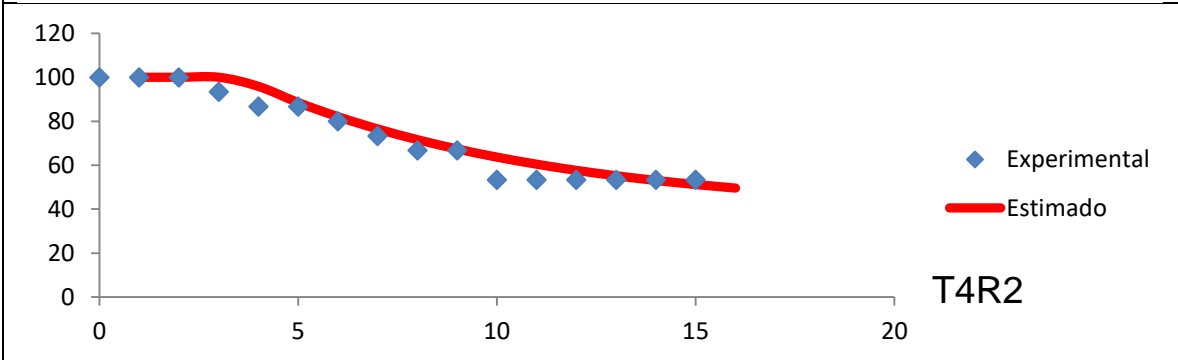
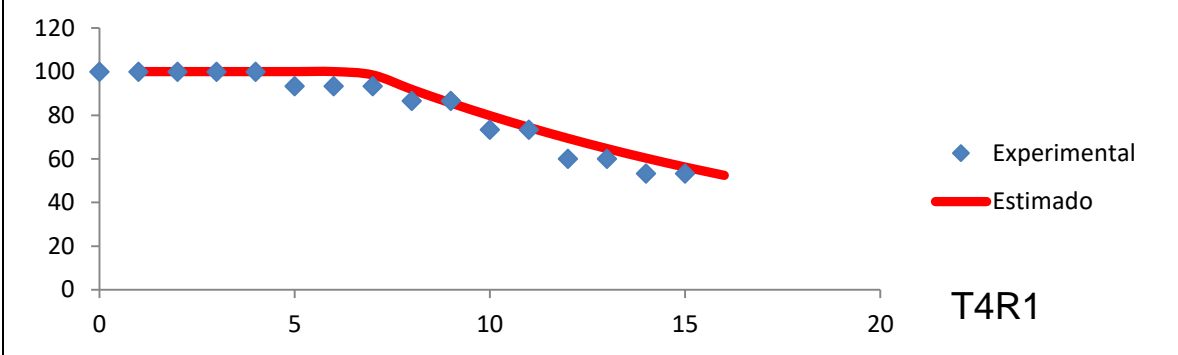
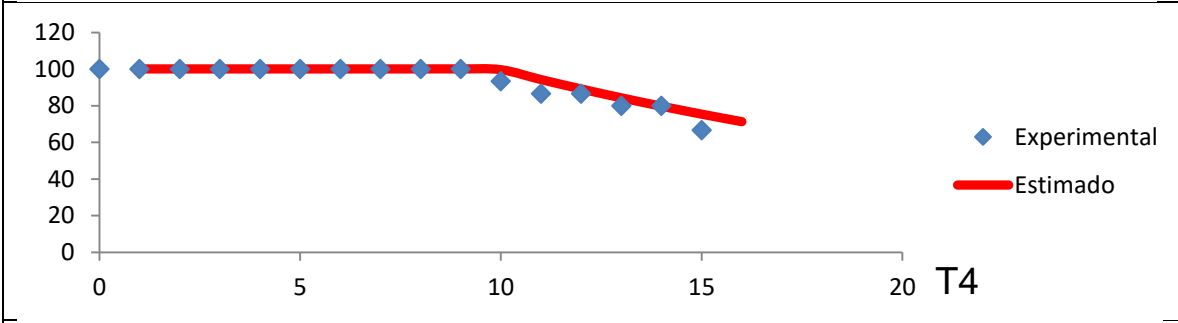
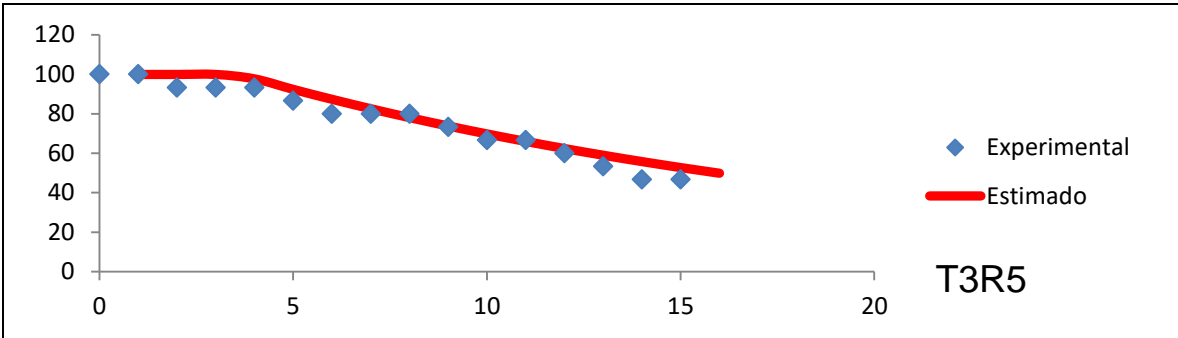
Evaluación de infectividad con tenebrio molitor, ajuste del valor experimental con el estimado.

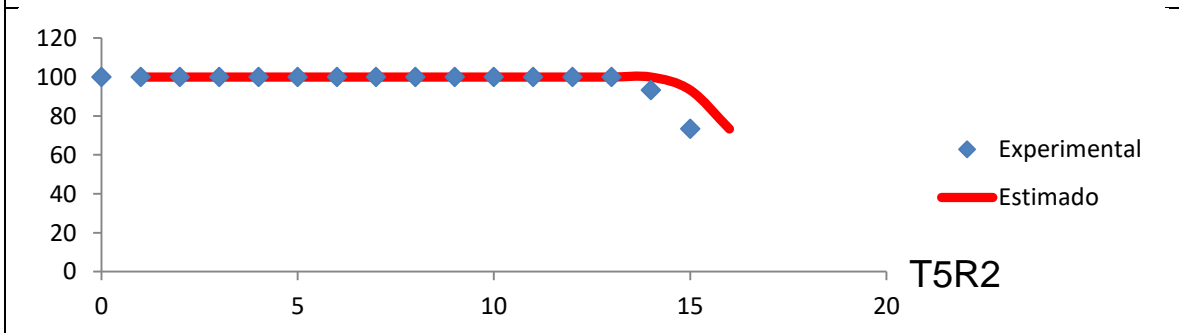
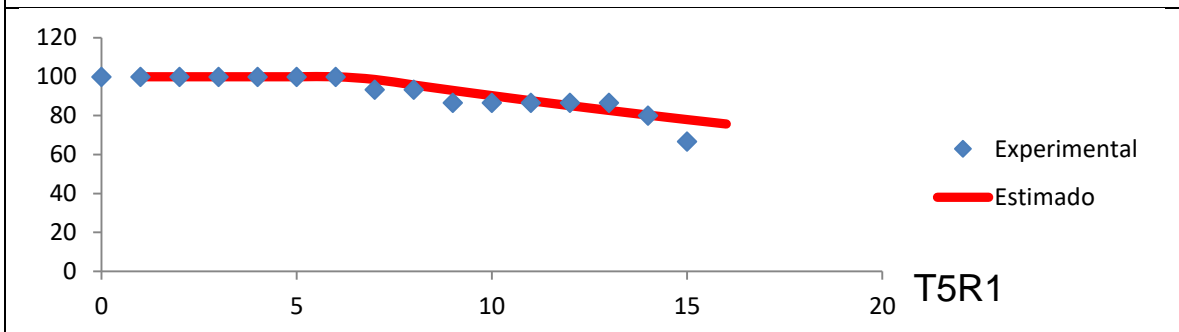
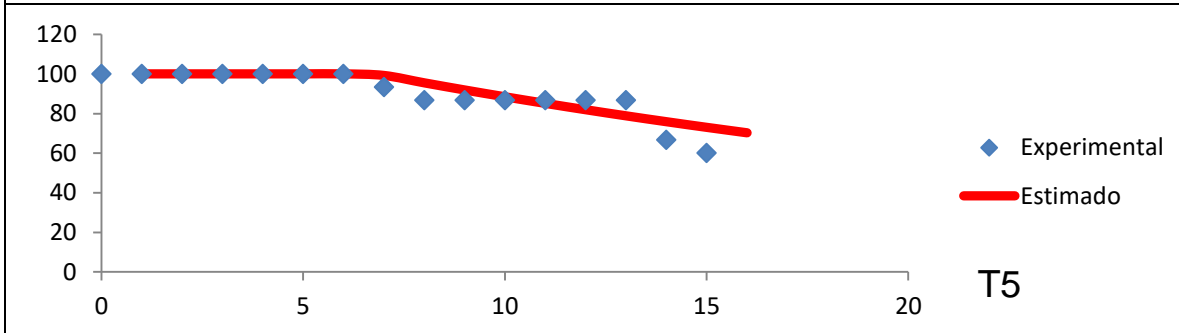
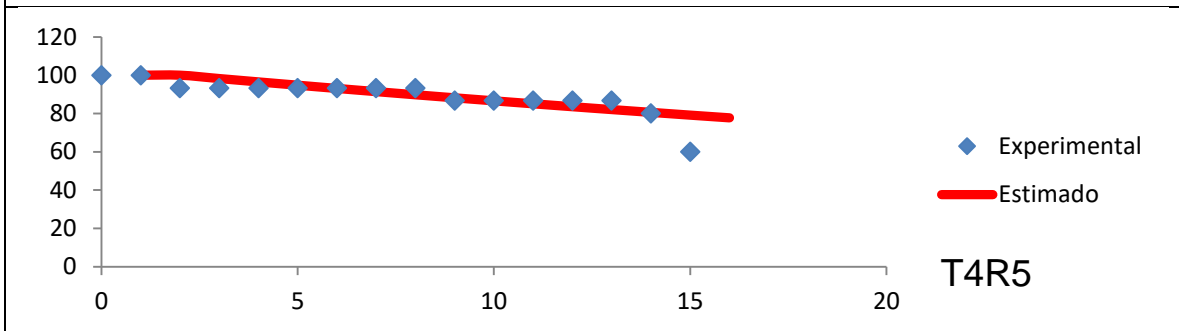
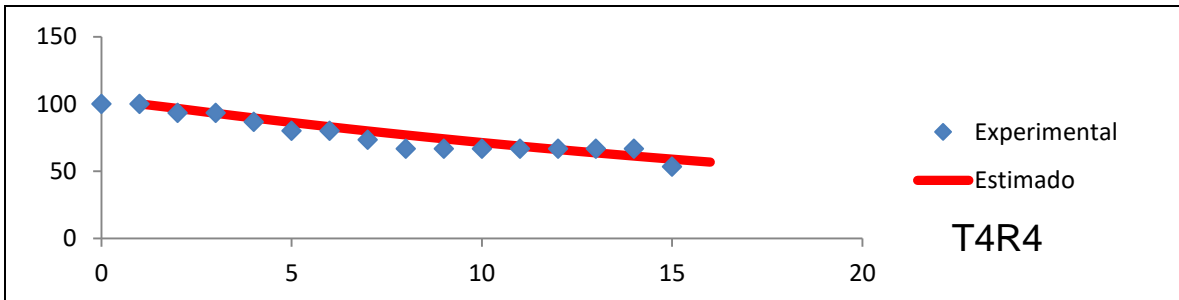


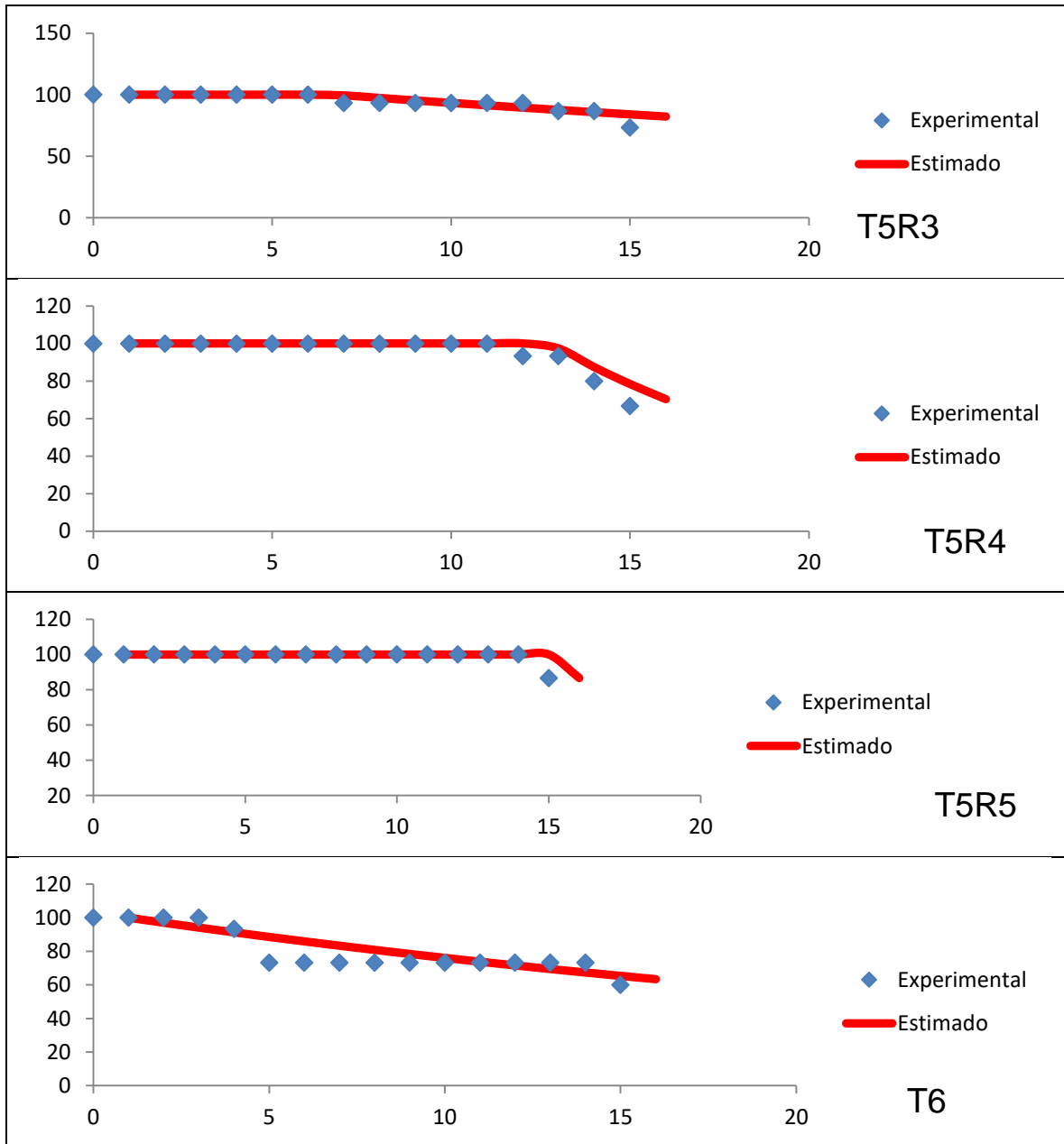












### 13.2 Perspectivas

- Se realizaron también bioensayos con *Cyclocephala spp* (*Melolonthidae: Coleoptera*) (Gallina ciega) obtenida en el desierto de los leones, México, el cual se siguió la siguiente metodología:



Se emplearon 33 contenedores con una capacidad de medio litro (15 contenedores para larvas infectadas con CHE-CNRCB 303, 15 contenedores para larvas infectadas con Pae-sin como control positivo y 3 contenedores como control negativo (Tween 80), en donde fueron colocadas 3 larvas en cada contenedor y fueron infectados con la misma metodología utilizada para *T. molitor*, (7.3.3), después del tratamiento las larvas estuvieron en contacto con 30 g de suelo estéril y con una dieta de 5 g de zanahoria rayada, así mismo estuvieron a una temperatura de 25°C y una humedad del 50%, finalmente se registró la mortalidad cada 24 h durante 15 días (Chávez *et al.*, 2014).

## Resultados

Las larvas muertas se colocaron en cámaras húmedas para monitorear que hayan muerto por micosis, pero solo 5 de 66 individuos presentaron micosis, por lo cual, no es un resultado significativo, a continuación, se muestra la base de resultados de mortalidad:

Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Hrs.	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	
T1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	/	/	/	/	/	3
T1R1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	/	/	/	/	/	/	3
T2	0	0	2	0	0	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
T2R1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	/	/	/	/	/	3
T3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	/	/	/	/	3
T3R1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	/	/	/	/	/	/	3
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	/	/	/	3
T4R1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	/	/	/	/	/	3
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	/	/	3
T5R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	/	/	3
T6	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	/	/	/	/	/	3
T6R1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	/	/	/	/	3
T7	0	2	0	0	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
T7R1	0	2	0	0	0	0	0	1	/	/	/	/	/	/	/	3
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	/	/	3
T8R1	0	1	0	0	1	0	0	1	/	/	/	/	/	/	/	3
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	/	/	/	3
T9R1	0	1	0	0	0	2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	/	/	3
T10R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	/	/	/	3
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	/	/	/	/	3
T11R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	/	/	/	/	3

Esto se puede deber a las condiciones ambientales en las que se desarrolló el experimento, por lo cual, se habrá la posibilidad de que se pueda realizar nuevamente bajo las condiciones ambientales y de laboratorio necesarias, además

de una mejora en el número de individuos para cada tratamiento, cuidando que en su mayoría estén en el mismo estadio y posteriormente probar en condiciones de invernadero y continuamente ir escalando en su aplicación.

Por todo lo anterior, es que se invita a continuar la investigación y replicar esta metodología cuidando los diversos parámetros a considerar, determinando así, si se tiene efecto de este hongo sobre este insecto.

En cuanto a la producción de conidios de este hongo, se puede probar utilizando otro tipo de sustratos ya sean orgánicos o incluso inertes con aportes similares al bagazo de caña y arroz, pudiendo hacer una comparación entre ellos y así poder determinar con mayor puntualidad cual sustrato conviene a pequeña, mediana y grande escala, contribuyendo al medio ambiente y económicamente sustentable.

## GLOSARIO

- **Anabolismo y catabolismo** (Rodríguez R, 1965; Main Line Health, 2018).

	Anabolismo	Catabolismo
¿Qué es?	Fase donde se construyen las moléculas que el cuerpo necesita.	Proceso que descompone las moléculas grandes del cuerpo en otras más pequeñas.
Tipo de fase	Constructiva.	Destructiva.
Energía	La consume del organismo.	La libera para el organismo. Esto es posible gracias al aporte de energía del adenosín trifosfato (ATP).
Reacción	Endergónica, de reducción y de síntesis o construcción.	Exergónica, degradativa o destructiva y oxidativa.
Moléculas	Se producen moléculas complejas a partir de moléculas simples.	Se producen moléculas simples a partir de moléculas complejas.
Hormonas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrógeno.</li> <li>• Insulina.</li> <li>• Hormona de crecimiento.</li> <li>• Testosterona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adrenalina.</li> <li>• Cortisol.</li> <li>• Citocinas.</li> <li>• Glucagón.</li> </ul>

Ejemplos	Cuando los aminoácidos se convierten en proteínas, la glucosa en glucógeno y los ácidos grasos en triglicéridos.	Cuando las proteínas se convierten en aminoácidos, las proteínas en glucosa, el glucógeno en glucosa y los triglicéridos en ácidos grasos.
----------	--	--

- **Antagonista.** - Capacidad de un microorganismo para inhibir el desarrollo de otros microorganismos de su comunidad (Feichtmayer y Griebler, 2017).
- **Aminoácido.** - Es una molécula orgánica con un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) en uno de los extremos de la molécula y un grupo carboxilo (-COOH) en el otro extremo. Son la base de las proteínas, sin embargo, tanto estos como sus derivados participan en funciones celulares tan diversas como la transmisión nerviosa y la biosíntesis de porfirinas, purinas, pirimidinas y urea (González-Bacerio *et al.*, 2010).
- **Apresorio.** Son como ensanchamientos del tubo germinativo que se adhieren fuertemente a la superficie externa de los órganos de las plantas, para permitir tener un punto de apoyo en la etapa de penetración del hospedero (Agrios, 1995; Gallegos *et al.*, 2016).
- **Blastoesporas.** - Son esporas formadas por gemación, que son el resultado de la reproducción asexual de origen blástico; encontrada en una gran variedad de hongos (Alexopoulos *et al.*, 1996; Morcelle del Valle *et al.*, 2014).
- **Biorreactores.** - Es un sistema de contención apropiado, que debe diseñarse para brindar el mejor medio ambiente para el crecimiento celular y actividad metabólica; Es un pequeño ecosistema totalmente controlado que le permite al organismo vivo crecer adecuadamente (Rosales-López, 2019).
- **Caldo de cultivo.** - Es un gel o una solución que contiene los nutrientes necesarios para permitir, en condiciones favorables de pH y temperatura, el crecimiento de virus, microorganismos, células, tejidos vegetales o incluso pequeñas plantas (Müller-Esterl, 2008).

- **Células eucariotas (Hongos entomopatógenos).**- Se caracterizan por presentar siempre un citoplasma compartimentado por membranas, y donde destaca la existencia de un núcleo celular organizado, cubierto por una envoltura nuclear, en el cual está conteniendo el material hereditario, que incluye al ADN que es la base de la herencia; se distinguen así de las células procariotas que carecen de núcleo definido, por lo que el material genético se encuentra disperso en su citoplasma (Margulis y Sagan, 2008).
- **Células procariotas.** - Es un organismo unicelular sin núcleo, cuyo material genético se encuentra en el citoplasma, reunido en una zona denominada nucleoide (Müller-Esterl, 2008).
- **Célula.** - Conjunto de moléculas altamente organizado. De hecho, poseen numerosos compartimentos con funciones definidas. Vamos a considerar a un compartimento celular como un espacio, delimitado o no por membrana, donde se lleva a cabo una actividad necesaria o importante para la célula (Megias, 2019).
- **Conidio.** - Es una espora asexual inmóvil formada directamente a partir de una hifa; Los conidios sirven para dispersar al hongo hacia nuevos hábitats. Cuando estos se forman el color blanco del micelio cambia y toma el color de los conidios que puede ser negro, verde azulado, rojo, amarillo o marrón (Alexopoulos *et al.*, 1996; Qunfang *et al.*, 2019).
- **Conidióforo.** - Es una estructura microscópica especializada en la producción asexual de miles de esporas llamadas conidios. Se localizan en el extremo de hifas las cuales levantan la conidiófora en el aire con el fin de esparcir las esporas con más eficiencia (Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, 2012).
- **Diploide.** - Son las células que tienen un número doble de cromosomas (a diferencia de los gametos) (Tortora y Funke, 2007).
- **Ectoparásito.** - Son los parásitos que habitan en la piel de sus hospedadores o sobre esta, como ejemplo, las pulgas, los piojos, las garrapatas y los ácaros (Heukelbach y Feldmeier, 2004).

- **Enzimas.** - Son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción. Las enzimas son catalizadores específicos: cada enzima cataliza un solo tipo de reacción, y casi siempre actúa sobre un único sustrato o sobre un grupo muy reducido de ellos (Ruela *et al.*, 2019).
- **Entomopatógeno.** - Se trata de enfermedades de los insectos causadas por bacterias, hongos, virus, protozoos y nematodos (Crespo *et al.*, 2018).
- **Haploide.** - Es aquella que contiene un solo juego de cromosomas o la mitad (n, haploide) del número normal de cromosomas que en células diploides (Tortora y Funke, 2007).
- **Hemocele.** - Es el nombre que recibe una cavidad general secundaria de los artrópodos, que constituye un sistema lagunar lleno de líquido hemático y que forma parte del aparato circulatorio abierto (Alexopoulos *et al.*, 1996; Gallegos *et al.*, 2016).
- **Hemolinfa.** - tejido líquido que tienen los invertebrados y es homólogo a la sangre y la linfa de vertebrados. La hemolinfa cumple las funciones similares a las que cumple la sangre de vertebrados, pero en artrópodos, moluscos y otros invertebrados, en general la hemolinfa supone entre un 5 y un 40% del peso del individuo, dependiendo de la especie (Aparecida de Lima *et al.*, 2020).
- **Hospedero.** - Organismo que alberga a otro en su interior o que lo porta sobre sí (Gallegos *et al.*, 2016).
- **Lipasas.** - Es una enzima que se usa en el organismo para disgregar las grasas de los alimentos de manera que se puedan absorber. Su función principal es catalizar la hidrólisis de triacilglicerol a glicerol y ácidos grasos libres. Las lipasas se encuentran en gran variedad de seres vivos (González-Bacero *et al.*, 2010).

- **Metabolismo.** - Se conoce que los mismos contribuyen a la modificación de la integridad estructural del hospedero, a inhibir el proceso selectivo o a sus enzimas y a interferir con su sistema regulador; además de realizar funciones completamente diferente dentro de la célula antes de ser secretados, como facilitar el movimiento de los iones a través de las membranas (MedlinePlus, 2006).
- **Metabolito.** - Son aquellos que se producen en la fase exponencial y son necesarios para la sobrevivencia del microorganismo y también es cualquier molécula utilizada, capaz o producida durante el metabolismo. Así, dada la ruta metabólica:



**A, B, C, D, E;** Son los metabolitos; el primer metabolito de la ruta (**A**) suele denominarse sustrato; el último (**E**), metabolito final o producto, y el resto (**B, C, D**), metabolitos intermediarios (Rosales, 2019).

- **Metabolitos primarios.** - Se refiere a los procesos sintéticos que dan lugar a los ácidos carboxílicos del ciclo de Krebs que son de bajo peso molecular y que están ampliamente distribuidos, alfa-aminoácidos, carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, los cuales están implicados en los procesos vitales entre los que se encuentran los azúcares o carbohidratos (Taiz y Zeiger, 2006; Verdecia *et al.*, 2021).
- **Metabolitos secundarios.** - Se conoce que los mismos contribuyen a la modificación de la integridad estructural del hospedero, no directamente con su desarrollo ya que inhibe el proceso selectivo o a sus enzimas y a interferir con su sistema regulador; además de realizar funciones completamente diferentes dentro de la célula antes de ser secretados, como facilitar el movimiento de los iones a través de las membranas, como lo son: aceites esenciales, alcaloides, cumarinas, esteroides, fenoles, flavonoides, glucósidos, gomas, iridoideas, lignanos, mucílagos, pectinas, quinonas, saponinas, taninos y terpenos, entre otros (Taiz y Zeiger, 2006; Pinard *et al.*, 2019).

- **Membrana celular.** - Es una estructura con gran plasticidad que protege a la célula de diferentes tipos de estrés ambiental, entre los que destacan los cambios osmóticos. Además, la pared celular permite la interacción con el medio externo ya que algunas de sus proteínas son adhesinas y receptores. En todo tipo de células, la membrana posee en general las siguientes funciones: (Konings *et al.*, 2002, Pontón, 2018).
  - Protección celular del medio externo.
  - Anclaje del citoesqueleto.
  - Semipermeabilidad, para el intercambio de sustancias, presentando un transporte activo altamente selectivo hecho por transportadores de membrana.
  - Ósmosis, para la difusión pasiva de solutos como iones, moléculas pequeñas y gases.
  - Otras funciones de acuerdo con el tipo de organismos.
- **Mitocondrias.** - Son orgánulos celulares eucariotas encargados de suministrar la mayor parte de la energía necesaria para la actividad celular (respiración celular) (Tortora y Funke, 2007).
- **Pared celular.** - Es un componente típico de las células eucarióticas vegetales y fúngicas. Tienen un papel importante en actividades como absorción, transpiración, traslocación, secreción y reacciones de reconocimiento, como en los casos de germinación de tubos polínicos y defensa contra bacterias u otros patógenos y está formada principalmente por quitina (Pontón, 2008; Lucas-Bautista, *et al.*, 2019).
- **Proteasas.** - Son enzimas que rompen los enlaces peptídicos de las proteínas. Para ello, utilizan una molécula de agua (mediante hidrólisis) (Morcelle del Valle *et al.*, 2014).

- **Proteína.** - Las proteínas son una clase importante de moléculas que se encuentran en todas las células vivas. Son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos. Las proteínas están formadas por aminoácidos y esta secuencia está determinada por la secuencia de nucleótidos de su gen correspondiente (Kerstetter *et al.*, 2005; National Human Genome. Research Institute, 2019).
- **Peptona.** - Son polipéptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Contienen aminoácidos libres y cadenas cortas de péptidos, y a veces carbohidratos (Jean-François, 2014).
- **Péptido.** - Molécula que contiene dos o más aminoácidos (las moléculas que se unen entre sí para formar proteínas). Los péptidos pueden contener muchos aminoácidos que se llaman polipéptidos o proteínas (Instituto Nacional del Cáncer, 2019).
- **Quitinasas.** - Son enzimas hidrolíticas que rompen enlaces glicosídicos en moléculas de quitina (González-Bacerio *et al.*, 2010).
- **Retículo endoplásmico.** - Es un orgánulo que se encuentra en el citoplasma de la célula eucariota y su función primordial es la síntesis de proteínas y lípidos, es el compartimento celular en el cual se pliegan y modifican la mayor parte de las proteínas transmembranales y de secreción (Tortora y Funke, 2007; Dominguez y Escalante, 2018).