



PRODUCCIÓN DE *BEAVERIA BASSIANA* PARA LA FORMULACIÓN DE BIOPLAGUICIDAS

PRODUCTION OF *BEAVERIA BASSIANA* FOR THE FORMULATION OF BIOPESTICIDES

Jessenia Lucero*, Jorge Manzano, Iliana Loaiza, y Yamile Orellana

Instituto Superior Tecnológico Manuel Encalada Zúñiga. 070206. Machala, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jesylyu@hotmail.es

Manuscrito recibido el 10 de enero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 19 de mayo de 2022.

Resumen

Los efectos nocivos de los productos químicos en la agricultura convencional y la creciente demanda de alimentos libres de residuos tóxicos, ha dado lugar al desarrollo de estrategias sostenibles con el medio ambiente. Una alternativa eficaz para el manejo integrado de plagas en los cultivos agrícolas son los bioplaguicidas formulados con estructuras de microorganismos o a partir de la producción de los compuestos activos. En este contexto, el presente trabajo describe los procesos de producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas de uso agrícola. La recolección de la información se realizó mediante una búsqueda sistemática en ResearchGate, Google Académico, ScienceDirect y PubMed, empleando palabras claves como producción, *Beauveria bassiana*, fermentación sólida, fermentación líquida y metabolitos. A partir de los resultados de la investigación se afirma que *B. bassiana* es uno de los microorganismos con gran potencial para la producción de bioplaguicidas, por el mecanismo de acción entomopatógeno y los metabolitos secundarios, que pueden ser utilizados para el control biológico de insectos fitófagos. Así mismo, en la producción de *B. bassiana* se debe considerar un medio de cultivo rentable a gran escala, además de controlar las variables ambientales como temperatura a 25 °C, humedad relativa 65-70%, pH de 5.4, tiempo de propagación entre 4 a 8 días, y para el proceso de fermentación líquida agitación constante entre 200 a 400 rpm. Los productos biológicos representan una alternativa para minimizar el uso de plaguicidas sintéticos, reducir la contaminación ambiental y garantizar la seguridad e inocuidad de los alimentos.

Palabras clave: Bioplaguicidas, *Beauveria bassiana*, fermentación sólida, fermentación líquida, metabolitos.

Abstract

The harmful effects of chemicals in conventional agriculture and the growing demand for food free of toxic residues has developed environmentally sustainable strategies. An effective alternative for integrated pest management in agricultural crops are biopesticides formulated with microorganic structures or from the production of active compounds. This paper describes the production processes of *Beauveria bassiana* for formulating biopesticides for agricultural use. The information was collected through a systematic search in Research Gate, Google Scholar, Science Direct and PubMed, using keywords such as production, *Beauveria bassiana*, solid fermentation, liquid fermentation and metabolites. The results affirm that *B. bassiana* is one of the microorganisms with great potential to produce biopesticides, due to the entomopathogenic mechanism of action and secondary metabolites, which can be used for the biological control of phytophagous insects. Likewise, for the formulation of *B. bassiana* it should be considered a profitable culture medium for large-scale production, also the control of environmental variables such as temperature at 25 °C, relative humidity 65-70%, pH of 5.4, propagation time between 4 to 8 days, and for the liquid fermentation process, a constant agitation between 200 to 400 rpm must be maintained. Biological products represent an alternative to minimize the use of synthetic pesticides, reduce environmental pollution and ensure food safety and security.

Keywords: Biopesticides, *Beauveria bassiana*, solid fermentation, liquid fermentation, metabolites.

Forma sugerida de citar: Lucero, J., Manzano, J., Loaiza, I. y Orellana, Y. (2024). Producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. [Acceso Temprano] <http://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.08>.

IDs Orcid:

Jessenia Lucero: Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6723-8249>

Jorge Manzano: Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4652-8877>

Iliana Loaiza: Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2703-4887>

Yamile Orellana: Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6956-8276>

1 Introducción

Los cultivos agrícolas se ven afectados de forma negativa por bacterias, hongos, arvenses, insectos y nematodos, ocasionando reducciones en el rendimiento de las producciones (Thakur y col., 2020). Desde 1960, los métodos de control de plagas agrícolas se realizaban mediante aplicaciones de plaguicidas sintéticos, como el dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), seguido de otros plaguicidas organofosforados y carbamatos (Kumar, 2012).

Las tecnologías de la revolución verde contribuyeron a aumentar la producción de los alimentos a través de la agricultura intensiva, mediante el uso de fertilizantes químicos y pesticidas (Kumar y Singh, 2015). Sin embargo, los efectos adversos como la degradación de suelos, contaminación del agua, resistencia en los insectos y residuos tóxicos en los alimentos (Lengai y Muthomi, 2018), han impulsado la demanda de producir alimentos saludables, disminuyendo el uso de los recursos naturales, y fortaleciendo la agricultura sostenible (Kumar, 2012).

La producción de bioplaguicidas microbianos ha tomado un gran auge por la demanda de alimentos libres de químicos, siendo estos esenciales en la agricultura orgánica (Mascarín y Jaronski, 2016). Los bioplaguicidas generalmente están compuestos de bacterias, virus, hongos y nematodos benéficos con actividades quitinolíticas, entomopatógenas y antagonistas, utilizados como controladores biológicos de fitopatógenos, insectos y nematodos fitófagos (Lengai y Muthomi, 2018).

Los análisis bioquímicos y genómicos han demostrado que los metabolitos que producen los microorganismos tienen gran potencial en el control biológico de plagas (Luo y col., 2017). Los metabolitos identificados de *Beauveria bassiana* son beauvericina y bassiacridin de acción insecticida (Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019; Quesada-Moraga y Vey, 2004), y son empleados para el control de *Tetranychus urticae*, *Bemisia tabaci* y *Locusta migratoria*; oosporein con efectos antivirales y antibacteriales en *Enterococcus faecalis* y *Stenotrophomonas* spp. (Jeffs y Khachatourians, 1997), y bassianin como inhibidor de la ATP (Patočka, 2016).

Las tecnologías de formulación de agentes de control biológico para el escalado comercial deben considerar ciertos criterios para el proceso de producción (Ávila-Hernández y col., 2020) como la estabilización del microorganismo en la etapa de producción, distribución y almacenamiento; también se deben proporcionar las condiciones propicias para la aplicación en campo (Dannon, Dannon y Douro, 2020). Se deben realizar evaluaciones de la persistencia después de la aplicación, y la adaptación a condiciones ambientales sin alterar las propiedades fisicoquímicas del microorganismo (Ávila-Hernández y col., 2020).

Los plaguicidas elaborados a partir de hongos entomopatógenos se utilizan con frecuencia en los programas fitosanitarios para controlar poblaciones de insectos fitófagos (Luo y col., 2014). Uno de los hongos entomopatógenos con mayor relevancia en el campo agrícola es *Beauveria bassiana*, empleado para controlar plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), picudo negro en banano (*Cosmopolites sordidus*), pulgones y arañitas rojas, entre otras (Gerónimo y col., 2016; Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019; Ávila-Hernández y col., 2020). Este hongo es considerado un enemigo natural de insectos en los ecosistemas, residuos de cosechas y en los huéspedes colonizados (Marín y col., 2018).

Las formulaciones comerciales de *Beauveria bassiana* incluyen métodos artesanales como la fermentación en sustratos sólidos, en la cual el hongo se encuentra inoculado en un sustrato y la aplicación se realiza mediante un filtrado de los conidios del microorganismo. En cambio, los métodos más innovadores consisten en desarrollar formulaciones secas y líquidas, impulsando el propágulo del hongo (conidio o blastosporas). El proceso de secado se realiza por aspersión, secado al aire, secado rotativo en tambor al vacío y secado en lecho fluidizado; estas técnicas son empleadas para estabilizar los propáguulos de *Beauveria bassiana* a gran escala y que su vida útil sea satisfactoria (Mascarín y Jaronski, 2016). De acuerdo con el análisis de la problemática del uso de plaguicidas químicos y la necesidad de producir insumos amigables con el medio ambiente, se ha realizado una revisión sistemática que tiene como finalidad describir los procesos de producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas de uso agrícola.

2 Metodología

Se realizó una revisión sistemática de 60 manuscritos en buscadores especializados y bases de datos de ResearchGate (18), Semantic Scholar (10), Google Académico (14), Springer (2), SciELO (2), ScienceDirect (6) y PubMed (8), dedicando un tiempo aproximado de 1920 horas en el proceso de búsqueda bibliográfica, revisión y redacción científica. La investigación se enfocó en el entomopatógeno *Beauveria bassiana* por el potencial biocida para el control de insectos fitófagos, y los procesos de producción *in vitro* y a escala comercial para la formulación de biopesticidas de uso agrícola. La búsqueda se realizó en revistas como Journal of Applied Entomology, Plant Protection Science, World Journal of Microbiology and Biotechnology, Biology, Journal of Invertebrate Pathology y otras como fuentes primarias; y como fuentes secundarias en instituciones como Servicio Nacional de Sanidad Agraria y empresas que formulan o comercializan insecticidas que contienen *Beauveria bassiana*. La información seleccionada corresponde a artículos publicados durante los últimos 10 años, con algunas excepciones consideradas por la relevancia aportada a la revisión bibliográfica.

3 Antecedentes de *Beauveria bassiana* como controladores biológicos.

El entomopatógeno *B. bassiana* se observó por primera ocasión en los gusanos de seda, donde las larvas tenían una cubierta de color blanco en el exterior con múltiples inflorescencias que podían contagiar a las larvas sanas en un corto periodo de tiempo (Bassi, 1835). En el año 1954, se reportaron los primeros brotes de infección en acrididos, pero fue en el año de 1987 cuando se comprobó la patogenicidad del microorganismo en saltamontes bajo condiciones de laboratorio (Inglis, Goettel y Johnson, 1993).

En los últimos años se han descubierto alrededor de 700 especies de insectos hospederos del patógeno *B. bassiana* (Xiao y col., 2012). Este hongo tiene la capacidad de infectar a los principales taxones de insectos cuando encuentra las condiciones adecuadas para inocular el huésped. Sin embargo,

los estudios relacionados con la patogenicidad de *B. bassiana* se han centrado en los insectos considerados plagas (Meyling y Eilenberg, 2007). La secuencia del genoma de huéspedes infectados demostró que *B. bassiana* evolucionó a partir de insectos; también se asume que la expresión de ciertos genes de tipo proteasas y quitinasas están asociadas a las funciones necesarias para la patogénesis de insectos y la evolución convergente (Xiao y col., 2012).

4 Potencial bioplaguicida de *Beauveria bassiana*.

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno utilizado como controlador biológico en plagas de cultivos agrícolas (Barcenilla, 2021). El patógeno ingresa en los insectos a través de los conidios que se adhieren a la cutícula del huésped. La formación del tubo germinativo y el apresorio permite la fijación al tegumento del insecto por presión. La acción de las enzimas hidrolíticas de tipo lipasas, proteasas y quitinasas ingresan al cuerpo del insecto por las partes blandas (Lara-Juache y col., 2021). Las hifas tienen contacto con la hemolinfa que contiene altos contenidos de nutrientes, iniciando una etapa de gemación de blastosporas unicelulares (Mascarín y Jaronski, 2016). El hongo coloniza los tejidos internos del insecto y durante este proceso liberan metabolitos como beauvericina y bassiacridin que ayudan a inhibir el sistema inmunológico, facilitando el ingreso hacia los órganos internos del huésped y provocando su muerte (Figura 1) (Harith-Fadzilah, Abd Ghani y Hassan, 2021). Los insectos infectados muestran una cubierta algodonosa y polvorienta de coloración amarilla cremosa que recubre la parte externa del huésped (Barcenilla, 2021).

En la etapa de colonización, *B. bassiana* secreta proteínas y enzimas que pueden ser utilizadas como fábricas celulares para la producción de insumos comerciales. La evaluación de la actividad metabólica, por secuenciación completa del genoma, expresa que *B. bassiana* posee un pangenoma abierto, con capacidad para colonizar diferentes huéspedes (insectos, nematodos y plantas). Además, se identificaron 10366 genes que codifican para proteínas como proteasas y 145 enzimas activas de carbohidratos de tipo quitinasas, celulasas y hemicelulasas (Vidal y Jaber, 2015).

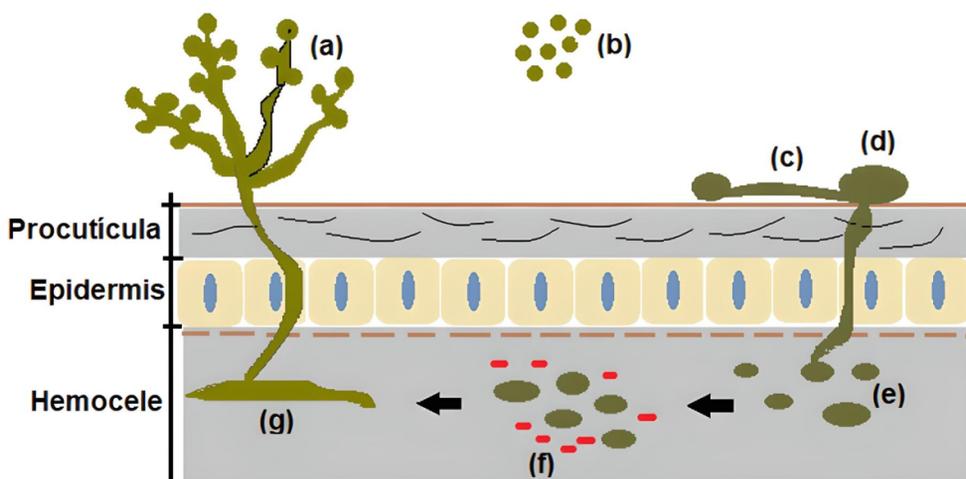


Figura 1. Proceso de infección de *Beauveria bassiana* en la cutícula de los insectos. (a) Estructuras de *B. bassiana* (b) Diseminación de conidios *B. bassiana*. (c) Formación del tubo germinativo en la superficie del cuerpo del insecto. (d) Formación del apresorio e ingreso de la hifa en la procutícula y epidermis. (e) Producción de Blastosporas e invasión en hemocele. (f) Liberación de metabolitos secundarios. (g) Formación de las estructuras del hongo (hifas, micelio y conidios) y liberación al espacio exterior.

Fuente: figura elaborada por los autores.

La expresión génica de *B. bassiana* en el proceso de inoculación de insectos demuestran la presencia de enzimas peroxidasa, trehalasa, lipasa, peptidasa, fosfatasa y liasa responsables de la degradación de la cutícula de los huéspedes. Las enzimas quitinasas de *B. bassiana* hidrolizan los enlaces de polímeros de quitina en monómeros de N-acetil b-D-glucosamina presentes en el exoesqueleto de artrópodos (Amobonye y col., 2020). La cutícula de los insectos está formada por lípidos superficiales que actúan como una barrera protectora de patógenos. Sin embargo, las lipasas producidas por *B. bassiana* contribuyen a la degradación de la cutícula del insecto (Salazar y col., 2020); estas son enzimas solubles en agua que actúan sobre sustratos insolubles que tienen la capacidad de hidrolizar triglicéridos y transformarlos a ácidos grasos y glicerol. Las proteasas entomopatógenas actúan sobre la cutícula del huésped y atacan el tejido debilitado por acciones quitinolíticas (Amobonye y col., 2020).

La diversidad de toxinas producidas por *B. bassiana* puede ir desde compuestos simples como las macromoléculas biológicas, por ejemplo, ácido oxálico, 2,6- piridindicarboxílico (ácido dipicolínico), y compuestos de estructuras más complejas de naturaleza peptídica cíclica y lineal como beauvericina, bassiacridina, beauverólidos y bassianólidos (Borges y col., 2010). Las toxinas alteran la permeabili-

dad natural y artificial de las membranas, inducen la pérdida de líquidos de las células, producen cambios en el núcleo durante los procesos de la muda y metamorfosis, deforman las estructuras externas de los insectos e interfieren en los procesos de fecundación (Patočka, 2016). Por último, las enzimas lipasas, quitinasas, proteasas y amilasas degradan el exoesqueleto del huésped y permite el ingreso del hongo en sus tejidos internos (Cortés y Mosqueda, 2013).

5 Producción *in vitro* de *Beauveria bassiana*

Los procesos de producción de conidios de *B. bassiana* pueden ir desde métodos muy simples a procesos que implican mayor tecnificación (Vela y col., 2019). El primer paso para la producción de *B. bassiana* consiste en realizar aislamiento de las cepas del microorganismo; para ello es importante determinar la composición del medio de cultivo y los parámetros óptimos para el crecimiento. Greenfield y col. (2016) afirma que las cepas de *B. bassiana* pueden cultivarse en agar glucosa, peptona de soya, agar papa-dextrosa (PDA), agar de dextrosa-Sabouraud (SDA) o agar harina de avena. Las temperaturas óptimas para el crecimiento van desde 22-26 °C, alternando luz y oscuridad por ocho días.

En cambio, Bugti y col. (2018) manifiestan que se debe realizar una suspensión de esporas del microorganismo e inocular el medio de cultivo agar dextrosa-Sabouraud (agar 20 g, peptona 10 g, dextrosa 40 g, potasio 0.5 mg, en 1000 mL de agua destilada) e incubar a 24 ± 1 °C por doce días.

El segundo paso consiste en comprobar la patogenicidad de *B. bassiana* a través de inoculaciones de insectos sanos. Para ello se debe preparar suspensiones de conidios en una solución de Tween 80 al 0.05%, con agitación constante por cinco minutos, y ajustar la concentración de esporas y rociar los insectos (Bugti y col., 2018). En la Tabla 1 se detallan estudios realizados para comprobar la patogénesis de *B. bassiana* en diferentes huéspedes.

6 Fermentaciones en sustratos sólidos

La producción de *Beauveria bassiana* en sustratos sólidos por reproducción de conidios aéreos es el método más utilizado a nivel comercial tanto para

pequeñas, medianas y grandes empresas dedicadas a la producción de bioplaguicidas (Feng, Poprawski y Khachatourians, 2008). Los medios de cultivo para la producción de *B. bassiana* deben tener una composición de nutrientes y condiciones controladas de pH, temperatura, luz, disponibilidad de agua y mezcla de gases atmosféricos, pues son factores cruciales para el crecimiento del microorganismo y esporulación (Patočka, 2016). El proceso de producción consiste en inocular conidios de *B. bassiana* en sustratos sólidos nutritivos. La fermentación en sustratos sólidos bajo condiciones controladas pueden alcanzar rendimientos desde 4×10^{12} a 4×10^{13} conidios·kg⁻¹.

Los materiales más utilizados para la fermentación en estado sólido es el arroz, cebada, trigo, centeno, sorgo y maíz, (Jaronski, 2014). Así mismo, los desechos agroindustriales permiten reducir los costos de producción y consumo de energía. Un ejemplo de ello es la piel de papa y cáscara de arroz, en condiciones óptimas de humedad 65-70%, temperatura 25 °C y tiempo entre 7 a 8 días, permite alcanzar una producción de 1.3×10^9 esporas·g⁻¹ de *B. bassiana* (Sala y col., 2021).

Tabla 1. Estudios realizados para comprobar la patogénesis de *Beauveria bassiana* en diferentes hospederos y su porcentaje de mortalidad

Concentración conidios/ml	Hospederos	Estados morfológicos	% de mortalidad	Referencia
1×10^8	<i>Lygus lineolaris</i>			
	<i>Anthonomus signatus</i>	Adultos	77,47	Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008)
	<i>Otiorhynchus ovatus</i>		60,35	
		54,50		
1×10^7	<i>Bemisia tabaci</i>	Adulto	67	Ruiz y col. (2009)
1.7×10^8	<i>Ceratitidis capitata</i>	Adulto	91,90	Muñoz, Rosa y Toledo (2009)
1×10^7	<i>Bemisia tabaci</i>	Huevo	27	Ruiz y col. (2009)
1×10^8	<i>Premnotrypes vorax</i>	Larva	96	García y col. (2013)
2×10^7	<i>Panonychus citri</i>	Ninfas Adultos	94	Alayo y Krugg (2014)
1×10^7	<i>Hypothenemus hampei</i>	Adulto	100	Gerónimo y col. (2016)
1×10^8	<i>Helicoverpa zea</i>	Larva	100	Everton y col. (2016)
1×10^8	<i>Tenebrio molito</i>	Larvas	100	López-Sosa, García-Gómez y Gaona (2018)
1×10^6	<i>Rhynchophorus palmarum</i> L.	Adultos	43,33	León, Campos y Arguelles (2019)
4×10^{10}	<i>Monalonion velezangeli</i>	Ninfas	84	Góngora y col. (2020)

Otro factor importante son los contenedores de fermentación, estos pueden ser bolsas de plásticos resistentes a altas temperaturas o grandes cámaras, considerando la aireación ya que los propágulos requieren de un equilibrado intercambio de gases para el crecimiento micelial. La producción de conidios aéreos se puede realizar a través de una o dos etapas. La primera etapa consiste en realizar la inoculación del hongo directamente del sustrato sólido y la segunda etapa implica la producción del inóculo por fermentación líquida y posterior la inoculación en el sustrato sólido (Mascarin y Jaronski, 2016).

El sustrato debe estar previamente esterilizado a 121 °C, 15 lb de presión por 30 minutos, se inocula el sustrato con la suspensión de conidios de *B. bassiana* o con una proporción de micelio. Los sustratos inoculados se incuban a 25 °C por 7 días y se eliminan los sustratos contaminados (López-Sosa, García-Gómez y Gaona, 2018). Por consiguiente, las bolsas se agitan para oxigenar el inóculo y conseguir una mezcla homogénea, se incuba por 21 días a 24 °C (Monzón, 2001) conservando una humedad relativa del 53%. Una vez esporulado el hongo en todo el sustrato, se realiza el proceso de secado a temperaturas entre 16-20 °C por un periodo de 5 a 6 días para reducir la humedad relativa al 15% (Gómez y col., 2014).

El problema principal de la fermentación sólida es el escalado comercial, siendo el principal enfoque la producción de un gran número de conidios de forma eficiente y económica para reducir los costos de producción y poder competir con los plaguicidas tradicionales (Rodríguez-Gámez y col., 2017). Por ello es importante utilizar sustratos y recipientes de buena calidad, pero al mismo tiempo económicos; y, además, vigilar de forma constante cada uno de los procesos de producción para evitar contaminaciones, realizando un correcto proceso de esterilización y manipulación de los materiales. Los sustratos y las condiciones ambientales para la fermentación sólida de *Beauveria bassiana* se muestran en la Tabla 2.

7 Fermentaciones en sustratos líquidos

El proceso de fermentación líquida facilita el escalado masivo para la formulación de bioplaguicidas. Este método permite tener un mejor control de las variables ambientales y reducir los tiempos de producción (Jaronski, 2014). Sin embargo, la implementación a escala comercial requiere de una considerable inversión en equipamiento para la producción masiva de micoinsecticidas, y es uno de los métodos más aplicados a escala comercial (Mascarin y Jaronski, 2016).

La fermentación líquida se puede realizar de forma estacionaria o por fermentación sumergida. La primera produce micelios y conidios aéreos, por el contrario, la segunda opción produce blastosporas, conidios de microciclo, o microesclerocios en un medio líquido agitado y aireado (Jaronski, 2014). Los medios de cultivo deben ser ricos en nutrientes con altas concentraciones de carbono y nitrógeno para inducir la producción de blastosporas o conidios. Una relación de C:N óptima induce el crecimiento del hongo bajo condiciones controladas (Pham y col., 2009).

Según García y col. (2013) el medio de cultivo SDA (Sabouraud dextrose agar) proporciona nutrientes adecuados para el desarrollo de *B. bassiana* en un periodo de incubación de 15 días a 30 °C. Así mismo, Pham y col. (2009) señalan que los inóculos de conidios para medios de cultivos líquidos se deben obtener a partir de cultivos esporulados de dos semanas de edad en Agar Papa Dextrosa (PDA) a una temperatura de 25 ± 1 °C. La cosecha de los conidios se realiza mediante un raspado del inóculo con una solución de tween 80 al 0,02% (Lee y col., 2016). Se inoculan los matraces que contiene medio de cultivo líquido con melaza como fuente de carbono (García y col., 2013), caldo de levadura o glucosa por 6 días a una temperatura de 24-26 °C (Lee y col., 2016) en un agitador rotatorio a 200 rpm hasta conseguir una suspensión estable (Pham y col., 2009). La suspensión obtenida se utiliza para inocular el fermentador en una concentración del 10% referente al volumen del fermentador, con una fase de propagación de 4 días hasta que el hongo alcance el 80% de la fase logarítmica de crecimiento (García y col., 2013).

Tabla 2. Sustratos utilizados para la fermentación sólida de *Beauveria bassiana*.

Inóculo	Sustrato	Incubación	Producción en sustrato	Referencia
1×10^7 conidios·mL ⁻¹	Cebada	25 °C/14 días	s/n	Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008)
1×10^8 conidios·mL ⁻¹	Cáscara de arroz	28 °C/14 días	$4,3 \times 10^8$ esporas·g ⁻¹	Mishra, Kumar y Malik (2016)
1×10^8 esporas·mL ⁻¹	Salvado de trigo	28 °C/14 días	$2,1 \times 10^8$ esporas·g ⁻¹	Mishra, Kumar y Malik (2016)
$3,5 \times 10^9$ conidios·mL ⁻¹	Arroz quebrado	25 °C/7 días	10^9 conidios·g ⁻¹	López-Sosa, García-Gómez y Gaona (2018)
1×10^6 blastosporas·mL ⁻¹	Avena	25 °C/14 días	10^8 conidios·g ⁻¹	Rodríguez-Gámez y col. (2017)
6×10^6 esporas·mL ⁻¹	Harina de arroz	30 °C/5 días	$6,2 \times 10^{10}$ esporas·g ⁻¹	Deepak y col. (2019)
$6,6 \times 10^6$ esporas·mL ⁻¹	Cáscara de arroz	25 °C/7 días	$1,3 \times 10^9$ esporas·g ⁻¹	Sala y col. (2021)

Los sustratos utilizados para la elaboración de los medios de cultivos líquidos deben ser de bajos costos, y al mismo tiempo deben proporcionar las condiciones adecuadas para la producción de blastosporas o conidios (Mascarin y col., 2015). En este contexto, Pham y col. (2009) comunica que un medio de cultivo con harina de maíz al 3%, polvo de maceración de maíz 2% y de salvado de arroz 2% permite obtener una producción de $8,54 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹. En cambio, García y col. (2013) informa que para la producción de blastosporas el medio óptimo debe tener melaza 14,5mL·L⁻¹, (NH₄)₂SO₄ 6 g·L⁻¹, KH₂PO₄ 3,5 g·L⁻¹, MgSO₄ 0,5 g·L⁻¹, NaCl 0,1g·L⁻¹, CaCl₂ 0,1g·L⁻¹, y se puede obtener una producción $8,40 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹. Por otro lado, Elías-Santos y col. (2021) informa que un medio de cultivo con 20 g de harina de pericarpio de cacahuate y 200 g de glucosa de maíz permite obtener $5,10 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹.

De igual forma, las condiciones ambientales son importantes para la producción *Beauveria bassiana* en medios de cultivos sumergidos. El rango de temperatura se sitúa ente los 25-30 °C, pH del medio de cultivo 5.4, agitación constante de 200 a 400 rpm, hasta que el hongo pueda alcanzar el 80% de la fase logarítmica de crecimiento (Pham y col., 2009; García y col., 2013; Elías-Santos y col., 2021). En la Tabla

3 se pueden observar los medios de cultivos y las condiciones ambientales para la producción de *B. bassiana* por fermentación de sustratos líquidos.

8 Producción de metabolitos secundarios de *Beauveria bassiana*

El entomopatógeno *Beauveria bassiana* secreta una gran variedad de enzimas y metabolitos biológicamente activos (Amobonye y col., 2020), con potenciales de aplicación en los sectores industriales, agrícolas y farmacéuticos, entre otros (Mancillas-Paredes y col., 2019). Las enzimas más importantes producidas por *B. bassiana* son las quitinasas, lipasas y proteasas, aunque también producen amilasa, asparaginasa, celulasa, galactosidasa, etc. (Amobonye y col., 2020); y metabolitos con actividad insecticida (Tabla 4) como beauvericina (Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019), bassiacridin (Quesada-Moraga y Vey, 2004), bassianolide (Patočka, 2016), antivirales y antibacteriales como oosporein (Jeffs y Khachatourians, 1997), y bassianin como inhibidor de la ATP (Patočka, 2016). La producción de metabolitos secundarios está influenciada por las condiciones ambientales y nutrientes disponibles en el medio de cultivo (Ávila-Hernández y col., 2020) (Tabla 5).

Tabla 3. Fermentación en sustratos líquidos de *Beauveria bassiana*.

Cepa	Inóculo	Medio de cultivo	Incubación	Producción	Referencia
GHA	1×10^7 conidio·mL ⁻¹	50 g glucosa, 50 g sacarosa y 20 g licor macerado de maíz	26 °C/3 días 300 rpm	$6,38 \times 10^9$ blastosporas·mL ⁻¹	(Chong-Rodríguez y col., 2011)
Iran 441c	1×10^4 conidio·mL ⁻¹	Melaza de caña de azúcar	25 °C/3 días	$2,4 \times 10^8$ esporas·mL ⁻¹	(Latifian y col., 2013)
ATP-02	5×10^4 esporas·mL ⁻¹	5% remolacha azucarera	25 °C/8 días 600 rpm	$5,32 \times 10^{10}$ esporas·mL ⁻¹	(Lohse, Jakobs-Schönwandt y Patel, 2014)
GHA	5×10^6 conidio·mL ⁻¹	100 g glucosa 25 g harina de semillas de algodón	28 °C/3 días 350 rpm	$11,6 \pm 0,6 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Mascarin y col., 2015)
ESALQ1 432	5×10^6 conidio·mL ⁻¹	100 g glucosa y 25 g harina de semillas de algodón	28 °C/3 días 350 rpm	$12,4 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Mascarin y col., 2015)
KK5	5×10^7 conidio·mL ⁻¹	3% de harina de maíz 2% de maíz en polvo 2% de salvado de arroz	25 °C/2 días 200 rpm	$8,54 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Atef y Behle, 2017)

9 Aplicación de bioplaguicidas en la agricultura

El crecimiento poblacional, la degradación del medio ambiente (Thakur y col., 2020), la demanda de cultivos libres de químicos y las estrictas regulaciones de los plaguicidas en países europeos y norte de América (Mascarin y Jaronski, 2016) representan un desafío para la producción de alimentos en todo el mundo. La agricultura convencional depende de los plaguicidas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas. Una alternativa que contribuye a reducir la incidencia de fitófagos o fitopatógenos son los bioplaguicidas formulados a través de la reproducción de microorganismos benéficos o la producción de metabolitos con actividades insecticidas, fungicidas o bactericida (Tabla 6). Las ventajas que poseen estos formulados es que se degradan de forma natural en el ambiente, no almacenan residuos en los tejidos vegetales, no crean resistencias hacia los activos que

producen, y disminuyen la presencia de enemigos naturales en los cultivos (Thakur y col., 2020).

La creciente aceptación de los productos biológicos ha permitido desarrollar formulaciones a partir de hongos entomopatógenos, por fermentaciones sólidas, líquidas, bifásicas y metabolitos secundarios. En la actualidad, se utilizan con frecuencia en los programas fitosanitarios de los cultivos agrícolas para controlar poblaciones de insectos fitófagos (Luo y col., 2014). La actividad insecticida de *B. bassiana* es más rápida en relación con otros microorganismos entomopatógenos, y los conidios pueden persistir por más tiempo en el ambiente. Además, Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008) afirma que las posibilidades de adquirir resistencia por parte de los insectos hacia *B. bassiana* es nula, debido a los diferentes modos de acción que el hongo utiliza para invadir el cuerpo de los huéspedes, y al ser un organismo vivo puede adaptarse a los cambios del hospedador.

Tabla 4. Metabolitos secretados por *Beauveria bassiana* para el control de artrópodos.

Metabolitos	Modo de acción	Dosis	Objetivo	% de Mortalidad	Referencia
Bassiacridin	Insecticida	2,8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	<i>Locusta migratoria</i>	50 %	(Quesada-Moraga y Vey, 2004)
Oosporein	Antibacterial	100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	<i>Enterococcus faecalis</i>	81 %	(Fan y col., 2017)
Oosporein	Antibacterial	10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	34 %	(Fan y col., 2017)
Beauvericina	Insecticida	100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	<i>Tetranychus urticae</i>	100 %	(Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019)

Tabla 5. Medios de cultivos formulados para la producción de metabolitos secundarios de *Beauveria bassiana*.

Fermentación	Metabolitos	Medio de cultivo	Dosis	Referencia
Sumergida	Tenellin/ Bassianin	Glucosa (20 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), Tartrato de amonio (4,6 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), KH_2PO_4 (1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), NaCl (0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), CaCl_2 (0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (3,93 $\times 10^4$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), H_3BO_3 (5,7 $\times 10^{-5}$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (3,68 $\times 10^{-5}$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ (6,1 $\times 10^{-5}$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (8,79 $\times 10^{-3}$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (9,96 $\times 10^{-4}$ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).	60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	(Basyouni, Brewer y Vining, 1968)
Sumergida	Oosporein	Glucosa (20 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), Difco neopeptona (20 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), Glicina (5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), KH_2PO_4 (2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).	100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	(Basyouni, Brewer y Vining, 1968)
Sumergida	Bassiacridin	40 g Glucosa $\cdot\text{L}^{-1}$, 40 g Extracto de levadura $\cdot\text{L}^{-1}$, 30 g Maíz macerado licor $\cdot\text{L}^{-1}$	2,8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	(Quesada-Moraga y Vey, 2004)
Sumergida	Tenellin	Manitol (50 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), KNO_3 (5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), KH_2PO_4 (1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), NaCl (0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), CaCl_2 (0,2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), Solución de iones minerales-2 (10 mL),	Sin información	(Eley y col., 2007)

Tabla 5 – Continuación de la tabla

		ZnSO ₄ ·7H ₂ O (880 mg·L ⁻¹), CuSO ₄ ·5H ₂ O (40 mg·L ⁻¹), MnSO ₄ ·4H ₂ O (7,5 mg·L ⁻¹), Ácido bórico (6 mg·L ⁻¹), (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O (4 mg·L ⁻¹).		
Sumergida	Pigmento rojo	Glucosa (40 g·L ⁻¹) Extracto de levadura (5,0 g·L ⁻¹), NaNO ₃ (1,0 g·L ⁻¹), KH ₂ PO ₄ (2,0 g·L ⁻¹), KCl (0,5 g·L ⁻¹), MgSO ₄ ·7H ₂ O (0,5 g·L ⁻¹), FeSO ₄ ·7H ₂ O (0,02 g·L ⁻¹).	480 mg·L ⁻¹	(Amin y col., 2010)

Fuente: Ávila-Hernández y col. (2020).

La eficacia del bioplaguicida *Beauveria bassiana* depende de la integración en los programas de manejo integrado de plagas para potenciar la eficacia en el control de insectos (Mascarin y Jaronski, 2016). Si bien *B. bassiana* es un microorganismo eficaz para el control biológico de insectos, las condiciones ambientales juegan un papel importante en el mecanismo de acción del entomopatógeno, por ello resulta indispensable desarrollar nuevas tecnologías para la producción de los compuestos activos, que potencien las formulaciones de biopesticidas.

10 Conclusiones

La elaboración de biopesticidas a base de *Beauveria bassiana* se puede realizar a través de fermentaciones sólidas y líquidas. El primer protocolo ha sido ampliamente utilizado debido que requiere una baja inversión en equipamientos y no se emplean protocolos complejos en la producción y formulación. Sin embargo, es necesario emplear un sustrato de bajo costo y controlar exhaustivamente las fases de cada proceso para evitar eventos de contaminación. Por otro lado, la fermentación líquida

permite ejercer un mayor control de las variables ambientales, reduce los tiempos de producción, pero la implementación a escala comercial requiere de una considerable inversión en equipamiento para la producción masiva de micoinsecticidas.

Para los procesos de fermentación es necesario controlar las variables ambientales, ya que estos factores influyen en la producción de esporas y blastosporas. Las condiciones óptimas consisten en mantener una temperatura de 25 °C, humedad relativa de 65 a 70 %, pH de 5.4, tiempo de propagación entre 4 a 8 días, y solo para el proceso de fermentación líquida el inóculo requiere de agitación constante entre 200 a 400 rpm.

Contribución de los autores

JRLM; Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Escritura del borrador original, revisión y edición. JWMT; Adquisición de financiación y supervisión. ICLM; Validación y administración del proyecto. YAOG; Recursos y visualización.

Tabla 6. Formulados comerciales de *Beauveria bassiana*.

NOMBRES COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	CULTIVOS	PLAGA	DOSIS	SITIO DE APLICACIÓN	REFERENCIA
EFICAX	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^9 conidios·mL ⁻¹	Cacao Banano Maíz	Grillos Chinches Saltones de la hoja	5cc/L	Follaje Suelo	(Agroinsumos del Sur, 2021)
Bovetrópico WP	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^9 esporas viables·g ⁻¹	Algodón Naranja Café Aguacate Rosa	Mosca blanca Broca del café Pasador del fruto Araña roja	500 g/ha	Follaje	(Invesa, 2021)
BOTANIGARD CS	<i>Beauveria bassiana</i> cepa GHA	$2,11 \times 10^{10}$ conidios·mL ⁻¹	Algodón Hortícolas	Mosca blanca	1-1.50 L/ha	Follaje	(Certiseurope, 2021)
Biotech BMI	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^6 esporas·mL ⁻¹	Solanáceas	Mosquita blanca Gusano del fruto	1-2 L/ha	Follaje	(FAGRO, 2022)
			Maíz Sorgo	Gusano cogollero Gusano del fruto	1-3 L/ha	Follaje Suelo	
			Brócoli Col Coliflor Col de Bruselas	Gallina ciega Gusano del fruto Gusano Soldado	1-4 L/ha	Follaje	
			Aguacatero	Barrenador de ramas	1-4 L/ha	Follaje	

NOMBRES COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	CULTIVOS	PLAGA	DOSIS	SITIO DE APLICACIÓN	REFERENCIA
Biotech BMI	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^6 esporas·mL ⁻¹	Pepino Sandía, Melón, Calabaza	Mosquita blanca	1-2 L/ha	Follaje	(FAGRO, 2022)
MICOSIS	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^{10} esporas·g ⁻¹	Café	Broca del café	1 a 1,5 kg/ha	Foliar	(Agroactivo, 2020)
			Cítricos	Picudo de cítricos Ácaros	1 kg/ha	Foliar	
			Aguacate	Mosca blanca Ácaros y trips	1 kg/ha	Foliar	
			Plátano Banano	Picudo rayado Picudo negro	20 g a 1 kg/ha	Trampas suelo	
			Guanábana	Chinche de encaje Escamas	1 a 1.5 kg/ha	Foliar	
			Flores Follajes	Trips Mosca blanca	1.5 kg/camas	Foliar	
			Papa	Trozadores Gusano blanco Pulgilla	1 a 1,5 kg/ha	Follaje Suelo	
			Arroz	Defoliadores Ácaros	1 kg/ha	Foliar	
			Palma De Aceite	Raspador del fruto Picudo	1 kg/ha	Foliar	
			Forestales	Defoliadores	1 kg/ha	Foliar	
			Pasifloras	Trips Mosca blanca Escamas	1 kg/ha	Foliar	

Referencias

- Agroactivo (2020). *Micosis (Beauveria bassiana)*. Online: <https://bit.ly/4cSV7T0>.
- Agroinsumos del Sur (2021). *Eficax, insecticida biológico de tipo microbia*. Online: <https://bit.ly/3TZEBYV>.
- Al Khoury, C., J. Guillot y N. Nemer (2019). «Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch». En: *Journal of Applied Entomology* 143.9, 974-983. Online: <https://bit.ly/3w12xD1>.
- Alayo, E. y J. Krugg (2014). «Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre el ácaro *Panonychus citri* en condiciones de laboratorio». En: *REBIOL* 34.1, 42-50. Online: <https://bit.ly/43WnN9P>.
- Amin, A. y col. (2010). «Assessment of insecticidal activity of red pigment produced by the fungus *Beauveria bassiana*». En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 26.12, 2263-2268. Online: <https://bit.ly/4cZi8Uh>.
- Amobonye, A. y col. (2020). «Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites». En: *Critical Reviews in Biotechnology* 40.7, 1019-1034. Online: <https://bit.ly/3U4poFI>.
- Atef, M. y R. Behle (2017). «Evaluating a dual microbial agent biopesticide with *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and *Beauveria bassiana* blastospores». En: *Biocontrol Science and Technology* 27.4, 461-474. Online: <https://bit.ly/49HvvWt>.
- Ávila-Hernández, J. y col. (2020). «*Beauveria bassiana* secondary metabolites: A review inside their production systems, biosynthesis, and bioactivities». En: *Mexican Journal of Biotechnology* 5.4, 1-33. Online: <https://bit.ly/4aUiREA>.
- Barcenilla, M. (2021). «Estudio del efecto de *Beauveria bassiana* sobre el complejo de orugas defoliadoras en soja». Universidad Nacional de Córdoba. Online: <https://bit.ly/49LFFPo>.
- Bassi, A. (1835). *Del Mal del Segno, Calcinaccio o Moscardino*. Vol. 1-2. Online: <https://bit.ly/3JnxbR8>.
- Basyouni, S., D. Brewer y L. Vining (1968). «Pigments of the genus *Beauveria*». En: *Canadian Journal of Botany* 46.4, 441-448. Online: <https://bit.ly/4aONfjS>.
- Borges, D. y col. (2010). «Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos». En: *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar* 44.3, 49-55. Online: <https://bit.ly/4aOPmnO>.
- Bugti, G. A. y col. (2018). «Pathogenicity of *Beauveria bassiana* strain 202 against sap-sucking insect pests». En: *Plant Protection Science* 54.2, 111-117. Online: <https://bit.ly/49AvVhf>.
- Certiseurope (2021). *BOTANIGARD 22 WP: Bioinsecticida para el control de mosca blanca en los cultivos de pimiento, tomate, cucurbitáceas y algodón*. Online: <https://bit.ly/3Q5domr>.
- Chong-Rodríguez, M. y col. (2011). «Study of *Beauveria bassiana* growth, blastospore yield, desiccation-tolerance, viability and toxic activity using different liquid media». En: *African Journal of Biotechnology* 10.30, 5736-5742. Online: <https://bit.ly/3UIXOVO>.
- Cortés, A. y T. Mosqueda (2013). «Una mirada a los organismos fúngicos: Fábricas versátiles de diversos metabolitos secundarios de interés biotecnológico». En: *Revista Química Viva* 12.2, 64-90. Online: <https://bit.ly/49z7JvK>.
- Dannon, H., A. Dannon y O. Douro (2020). «Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management». En: *Journal of Cotton Research* 3.24, 2-21. Online: <https://bit.ly/49HTS6e>.
- Deepak, G. y col. (2019). «Production and shelf life evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* in terms of multimetal removal». En: *Biotechnology Research and Innovation* 3.2, 242-251. Online: <https://bit.ly/3TVwbSe>.
- Eley, K. L. y col. (2007). «Biosynthesis of the 2-pyridone tenellin in the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*». En: *ChemBioChem* 8.3, 289-297. Online: <https://bit.ly/4aBXgB8>.
- Elías-Santos, M. y col. (2021). «Design and evaluation of liquid media for the production of blastospores of *Beauveria bassiana*». En: *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24.2, 1-10. Online: <https://bit.ly/3JmZqsk>.
- Everton, V. y col. (2016). «Patogenicidade de *Beauveria bassiana* no controle *in vitro* da lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*)». En: *Revista de Ciências Agrárias* 39.1, 89-94. Online: <https://bit.ly/4aC09lh>.
- FAGRO (2022). *Biotech BMI: Control de plagas y enfermedades*. Farmacia Agroquímica de México. Online: <https://bit.ly/4aXzP4U>.
- Fan, Y. y col. (2017). «Regulatory cascade and biological activity of *Beauveria bassiana* oosporein that limits bacterial growth after host death». En:

- National Academy of Sciences 114.9, E1578-E1586. Online: <https://bit.ly/3Jr9QXG>.
- Feng, M., T. Poprawski y G. Khachatourians (2008). «Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status». En: *Biocontrol Science and Technology* 4.1, 3-34. Online: <https://bit.ly/444RDJm>.
- García, C. y col. (2013). «Estudio de las condiciones de mezclado en fermentador para la producción de blastosporas de *Beauveria bassiana*». En: *Revista Colombiana de Biotecnología* 15.2, 47-54. Online: <https://bit.ly/3TVGp54>.
- Gerónimo, J. y col. (2016). «Caracterización de aislamientos nativos de *Beauveria bassiana* y su patogenicidad hacia *Hypothenemus hampei*, en Tabasco, México». En: *Revista Colombiana de Entomología* 42.1, 28-35. Online: <https://bit.ly/3U4QkFB>.
- Gómez, H. y col. (2014). *Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). Online: <https://bit.ly/49IfmA9>.
- Góngora, C. y col. (2020). «Evaluación de *Beauveria bassiana* para el control de *Monalonion velezelegli* (Hemiptera: Miridae) en el cultivo del café». En: *Revista Colombiana de Entomología* 46.1, e7685. Online: <https://bit.ly/4aTRMBp>.
- Greenfield, M. y col. (2016). «*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation». En: *Biological Control* 95, 40-48. Online: <https://bit.ly/3Q6uMXI>.
- Harith-Fadzilah, N., I. Abd Ghani y M. Hassan (2021). «Omics-based approach in characterising mechanisms of entomopathogenic fungi pathogenicity: A case example of *Beauveria bassiana*». En: *Journal of King Saud University - Science* 33.2. Online: <https://bit.ly/3Q5e8bk>.
- Inglis, G., M. Goettel y D. Johnson (1993). «Persistence of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on phylloplanes of crested wheatgrass and alfalfa». En: *Biological Control* 3.4, 258-270. Online: <https://bit.ly/3U3TYiQ>.
- Invesa (2021). BOVETROPICO WP: *Ficha técnica*. Online: <https://bit.ly/4d4Tfa0>.
- Jaronski, S. (2014). «Chapter 11 - Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art». En: *Mass Production of Beneficial Organisms*. Academic Press, 357-413. Online: <https://bit.ly/3W0HDhY>.
- Jeffs, L. y G. Khachatourians (1997). «Toxic properties of *Beauveria* pigments on erythrocyte membranes». En: *Toxicon* 35.8, 1351-1356. Online: <https://bit.ly/4aXPXU1>.
- Kumar, S. (2012). «Biopesticides: A need for food and environmental safety». En: *Journal of Biofertilizers and Biopesticides* 3.4, 1-3. Online: <https://bit.ly/3JrbloM>.
- Kumar, S. y A. Singh (2015). «Biopesticides: Present status and the future prospects». En: *Journal of Fertilizers and Pesticides* 6.2. Online: <https://bit.ly/3Q8dZDY>.
- Lara-Juache, H. y col. (2021). «Characterization of a biofilm bioreactor designed for the single-step production of aerial conidia and oosporein by *Beauveria bassiana* PQ2». En: *Journal of Fungi* 7.8, 582. Online: <https://bit.ly/4b1tYf7>.
- Latifian, M. y col. (2013). «Mass production of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) by using agricultural products based on liquid-solid diphasic method for date palm pest control». En: *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5.19, 2337-2341. Online: <https://bit.ly/3JmZ98H>.
- Lee, S. y col. (2016). «Screen bag formulation of *Beauveria* and *Metarhizium* granules to manage *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae)». En: *Journal of Asia-Pacific Entomology* 19.3, 887-892. Online: <https://bit.ly/3Q6w7xI>.
- Lengai, G. y J. Muthomi (2018). «Biopesticides and their role in sustainable agricultural production». En: *Journal of Biosciences and Medicines* 6.6, 7-41. Online: <https://bit.ly/4aUwWlq>.
- León, G., J. Campos y J. Arguelles (2019). «Patogenicidad y autodiseminación de cepas promisorias de hongos entomopatógenos sobre *Rhynchophorus palmarum* L. Coleoptera: Dryophthoridae». En: *Agronomía Mesoamericana* 30.3, 631-646. Online: <https://bit.ly/4d14WOP>.
- Lohse, R., D. Jakobs-Schönwandt y A. Patel (2014). «Detección de medios líquidos y fermentación de una cepa endofítica de *Beauveria bassiana* en un biorreactor». En: *AMB Express* 4.47, 2-11. Online: <https://bit.ly/4cXCnSq>.
- López-Sosa, D., M. García-Gómez y O. Núñez Gao (2018). «Análisis cualitativo de la producción de enzimas de *Beauveria bassiana* en fermentación sólida utilizando un inductor». En: *Mexican Journal of Biotechnology* 3.3, 26-35. Online: <https://bit.ly/4aAYjKx>.

- Luo, Z. y col. (2014). «Ablation of the creA regulator results in amino acid toxicity, temperature sensitivity, pleiotropic effects on cellular development and loss of virulence in the filamentous fungus *Beauveria bassiana*». En: *Environmental Microbiology* 16.4, 1122-1136. Online: <https://bit.ly/3Jl0Y64>.
- Luo, Z. y col. (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*». En: *Environmental Microbiology* 19.2, 788-802. Online: <https://bit.ly/3UlpM47>.
- Mancillas-Paredes, J. y col. (2019). «Proteases and chitinases induced in *Beauveria bassiana* during infection by *Zabrotes subfasciatus*». En: *Southwestern Entomologist* 44.1, 125-137. Online: <https://bit.ly/3W9cwAO>.
- Marín, V. y col. (2018). «Metabolitos y conidios de *Beauveria bassiana* como control de mosquito negro fungoso, bajo condiciones de invernadero». En: *Southwestern Entomologist* 43.3, 691-703. Online: <https://bit.ly/3W300Dg>.
- Mascarin, G. M. y col. (2015). «Liquid culture fermentation for rapid production of desiccation tolerant blastospores of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* strains». En: *Journal of Invertebrate Pathology* 127, 11-20. Online: <https://bit.ly/4aVw2oP>.
- Mascarin, G. y S. Jaronski (2016). «The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide». En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 32.11. Online: <https://bit.ly/4cU4AcV>.
- Meyling, N. V. y J. Eilenberg (2007). «Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control». En: *Biological Control* 43.2, 145-155. Online: <https://bit.ly/4aJvhzC>.
- Mishra, S., P. Kumar y A. Malik (2016). «Suitability of agricultural by-products as production medium for spore production by *Beauveria bassiana* HQ917687». En: *Int J Recycl Org Waste Agricult* 5, 179-184. Online: <https://bit.ly/44jeXTP>.
- Monzón, A. (2001). «Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua». En: *Manejo Integrado de Plagas* 63, 95-103. Online: <https://bit.ly/4aCEaL8>.
- Muñoz, J., W. De la Rosa y J. Toledo (2009). «Mortalidad de *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) por diversas cepas de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin, en condiciones de laboratorio». En: *Acta Zoológica Mexicana* 25.3, 609-624. Online: <https://bit.ly/3vZcm4z>.
- Patočka, J. (2016). «Bioactive metabolites of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*». En: *Military Medical Science Letters* 85.2, 80-88. Online: <https://bit.ly/4cXVZWx>.
- Pham, T. A. y col. (2009). «Production of blastospore of entomopathogenic *Beauveria bassiana* in a submerged batch culture». En: *Mycobiology* 37.3, 218-224. Online: <https://bit.ly/3JoqQy8>.
- Quesada-Moraga, E. y A. Vey (2004). «Bassiacridin, a protein toxic for locusts secreted by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*». En: *Mycological Research* 108.4, 441-452. Online: <https://bit.ly/4d0MCVV>.
- Rodríguez-Gámez, L. y col. (2017). «Evaluación de sustratos naturales para la producción de conidios de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypocreales: Cordicipitaceae) en cultivo bifásico». En: *Interciencia* 42.11, 739-743. Online: <https://bit.ly/49GGuPO>.
- Ruiz, E. y col. (2009). «Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.)». En: *Fitosanidad* 13.2, 89-94. Online: <https://bit.ly/4bgxHFN>.
- Sabbahi, R., A. Merzouki y C. Guertin (2008). «Efficacy of *Beauveria bassiana* against the strawberry pests, *Lygus lineolaris*, *Anthonomus signatus* and *Otiorrhynchus ovatus*». En: *Journal of Applied Entomology* 132.2, 151-160. Online: <https://bit.ly/3xPIAj2>.
- Sala, A. y col. (2021). *Producción de biopesticidas fúngicos: una alternativa para la valorización de residuos agroindustriales*. IndustriAmbiente. Online: <https://bit.ly/3xQEyab>.
- Salazar, L. y col. (2020). «Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial». En: *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* 39.4, e620. Online: <https://bit.ly/3vVDukV>.
- Thakur, N. y col. (2020). «Chapter 15 - Microbial biopesticides: Current status and advancement for sustainable agriculture and environment». En: *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 243-282. Online: <https://bit.ly/4aXqXfz>.

- Vela, P. y col. (2019). «Producción de *Beauveria* spp. con fines agrícolas». En: *Revista Biorrefinería* 2.2, 16-25. Online: <https://bit.ly/3Q7X5Fg>.
- Vidal, S. y L. Jaber (2015). «Entomopathogenic fungi as endophytes: plant–endophyte–herbivore interactions and prospects for use in biological control». En: *Current Science* 109.1, 46-54. Online: <https://bit.ly/4aZ4dMo>.
- Xiao, G. y col. (2012). «Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*». En: *Scientific Reports* 2, 483. Online: <https://bit.ly/3W2yR37>.