

Modelo Tecnológico Industrial para la producción de Bioinsecticidas

Technological Model for the Industrial Production of Bioinsecticides

Lucía Araceli Manzanarez Jiménez,
Estudiante de segundo semestre del Doctorado en Ciencias en Biotecnología.
Laboratorio de Bioinsecticidas. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Unidad Sinaloa
[*ingenieria_kaizen@hotmail.com*](mailto:ingenieria_kaizen@hotmail.com)

*Cipriano García Gutiérrez**
Doctor en Ingeniería Bioquímica. Profesor-Investigador titular C. Dpto. de Biotecnología Agrícola. Laboratorio de
Bioinsecticidas. Instituto Politécnico Nacional. COFAA-CIIDIR Unidad Sinaloa
[*garciaciprian@hotmail.com*](mailto:garciaciprian@hotmail.com)

Recibido 05, septiembre, 2018

Aceptado 31, enero, 2019

Resumen

En este trabajo se analizaron los aspectos biotecnológicos, económicos, sociales y ambientales que se deben considerar en la producción y comercialización de bioinsecticidas para el control biológico de plagas agrícolas, para esto se describió la forma de acción de hongos, bacterias, virus y nematodos entomopatógenos empleados como agentes de control biológico y también se analizó el estatus del mercado de estos productos en diferentes regiones del mundo. Con base en esta información, se hizo una propuesta del diseño de un modelo tecnológico industrial para la producción de bioinsecticidas, este modelo puede ser adoptado por pequeñas y medianas empresas, con la finalidad de aumentar estos insumos agrícolas en el mercado nacional e impactando positivamente en la agricultura regional, disminuyendo así problemas de contaminación ambiental causados por el uso excesivo de plaguicidas químicos.

Palabras clave: Modelo tecnológico, bioinsecticidas, control biológico.

Mathematics Subject Classification (2010): 92F99

Abstract

In this work, we analyzed the biotechnological, economic, social and environmental aspects that should be considered in the production and commercialization of bioinsecticides for the biological pests control in the agricultural. This model describes the form of action of fungi, bacteria, viruses and entomopathogenic nematodes, used as biological pest control agents; also was analyzed the market status of these products in different regions of the world. Based on this information proposal was made for the desing a technological model for industrial production of bioinsecticides, which can be adopted by small and medium enterprises, in order to increase their supplies production in the national market, impacting positive in regional agriculture, and with this reduce the problems of environmental pollution caused by the use of chemical pesticides.

Keywords: Technological model, bioinsecticides, biological control.

1. INTRODUCCIÓN

En México la producción y uso de plaguicidas asciende a 98,814 t. (FAOSTAT, 2014). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2014 la aplicación de plaguicidas químicos originó 1,069 casos por intoxicación aguda en los estados de Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Chiapas y Guerrero. Lo anterior indica que el uso de plaguicidas químicos como método de control principal de problemas agrícolas sigue siendo un riesgo asociado a la actividad agrícola en México (SSA, 2016). Sin embargo, actualmente la agricultura moderna depende de estos insumos (Alfaú, 2012; Gill y Garg, 2014). El problema ambiental consiste en que solo el 1% del compuesto químico alcanza al insecto blanco, el resto del compuesto es retenido en el follaje o se dispersa en el ambiente por diferentes mecanismos, ingresando a la atmósfera o al agua, o queda retenido en el suelo (Usta, 2013), por lo que son considerados entre los principales agentes contaminantes en el medio ambiente (Fenner y Cols., 2013).

Por el uso excesivo de plaguicidas sintéticos se han desarrollado estrategias sustentables en el manejo y gestión de plagas agrícolas (Ranga Rao y Cols., 2007; Dayan y Cols., 2009; Stevens y Cols., 2012) y dentro de estas estrategias se encuentra el uso de bioinsecticidas, no obstante se tienen algunos problemas para su uso intensivo por parte de los productores, debido a la falta de gestión adecuada para su introducción a la industria agrícola. Su producción es a base de microorganismos o productos naturales de bajo impacto en el ambiente y a la salud humana (Koul, 2011; Bailey y Cols., 2012) debido a esto están siendo utilizados con mayor frecuencia a nivel global (Stevens y Cols., 2012). La principal ventaja competitiva de estos productos a diferencia de los plaguicidas sintéticos es el modo de acción, la mayoría de los plaguicidas son neurotóxicos para los insectos objetivo y no objetivo, mientras que el efecto patogénico de los bioinsecticidas es selectivo, afectan sólo insectos blanco (A Dar y Cols., 2017).

Los bioinsecticidas se producen a base de microorganismos entomopatógenos mediante sistemas de producción masiva, siendo el ingrediente activo las propiedades biológicas del propágulo infectivo y su capacidad para el control de insectos plaga. En microorganismos entomopatógenos destacan cuatro grupos de patógenos microbianos: bacterias, hongos, virus y nematodos (García y Cols., 2006) debido a su capacidad para causar infección y muerte en insectos plaga pertenecientes al orden Isóptera, Lepidoptera, Hemiptera y Diptera (A Dar y Cols. 2017).

En la producción de bacterias se emplea un proceso de fermentación líquida para obtener un producto que puede almacenarse en estado de dormancia o activo metabólicamente (Galán y Cols., 2006). Los hongos se reproducen en un sistema bifásico; primero se obtiene la espora en medio líquido, y después pueden ser transferidos a un medio inerte para la producción de conidios aéreos (García y Cols., 2006). Los virus se pueden replicar *in vivo* a pequeña escala con cría axénica de insectos o *in vitro* en cultivo de células en tanques de fermentación que facilita el escalamiento del producto para la producción comercial (Tamez y Behle., 2006) mientras que los nematodos siguen esquemas de producción masiva *in vivo* por medio del método insecto trampa como *Galleria Mellonella* e *in vitro* en medios sólidos tridimensionales o procesos de fermentación líquida (Lezama-Gutiérrez y Cols., 2009) con costos de producción masiva más bajos, por lo que es el proceso adecuado para producciones a nivel industrial.

Este trabajo tiene por objetivo: Analizar aspectos biotecnológicos, económicos, sociales y ambientales para generar con base en esta información una propuesta de modelo tecnológico industrial para la producción de bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas en México.

Desarrollo

Análisis biotecnológico en la producción industrial de bioinsecticidas. Las bacterias empleadas comúnmente en el manejo de plagas son *B. thuringiensis* y *B. sphaericus* (Tanada y Kaya, 2012). De las cien subespecies de *B. thuringiensis*, tres son las más utilizadas en formulaciones comerciales; *Bt* subesp. *Kurstaki* (Btk), eficaz en el control de palomillas, *Bt* subesp. *Israelensis* (Bti), recomendada para

el control de larvas de mosquito y mosca negra y *Bt* subesp. *Tenebrionis*, eficaz contra escarabajos (Roh y Cols., 2007). La esporulación de la bacteria permite las inclusiones intracelulares cristalinas que están formadas por una o más proteínas llamadas “Proteínas Insecticidas del Cristal (PIC)”, codificadas por los genes *cry* (cristal) y *cyt* (citolíticos), causantes de la muerte en los insectos blanco (Tanada y Kaya., 2012).

Los bioinsecticidas formulados a base de virus son ampliamente utilizados para el control de plagas a nivel mundial en cultivos de hortalizas, y son eficaces contra los insectos masticadores. Los virus más utilizados como bioinsecticidas, son los *Baculovirus* (BVs), clasificados como virus de la *polydrosis nuclear* (NPVs) y *Granulovirus* (GVs) (Tamez y Behle., 2006). El mecanismo de patogénesis viral es a través de la replicación del virus en los núcleos o en el citoplasma de las células (Rohrmann, 2013).

Los nematodos de uso común en el control de plagas pertenecen a los géneros *Steinernematidae* y *Heterorhabditis*, parásitos obligados de insectos (Poinar, 1979; Poinar, 1990; Smart y Nguyen, 1994). Los estadios juveniles parasitan a sus hospedantes, penetrando directamente la cutícula o a través de las aberturas naturales, espiráculos o partes suaves del integumento; se multiplican rápidamente y matan al hospedante, permitiendo a los nematodos desarrollarse sobre el tejido en descomposición, convirtiéndose en adultos (Boemare, 2002).

Los microorganismos fúngicos comercialmente empleados en el control de plagas pertenecen a las especies *Metarhizum*, *Beauveria*, *Nomurea rileyi*, *Verticillum lecanii* y *Hirsutella* (Fuxa y Tanada, 1987; García y Cols., 2006; Tanada y Kaya, 2012). Éstos se utilizan con frecuencia en viveros, cultivo de hortalizas e industrias forestales para controlar una variedad de plagas (Chandler, 2017).

Los bioprocesos son la forma de reproducción de los microorganismos, para su replicación emplean sustratos que son transformados biológicamente en biomasa, metabolitos y diversos productos en biorreactores. Para su producción se toman en cuenta aspectos biotecnológicos, normativos, de bioseguridad y de calidad (Ravensberg, 2011). El proceso de producción se ajusta dentro de sistemas de producción abierto o cerrado. En el sistema cerrado la producción es intermitente y en el sistema abierto es continuo (Chopra y Meindl., 2013). En ambos sistemas el cultivo de biomasa se planea de acuerdo con las fases del ciclo de crecimiento celular; exponencial, estacionario y declinación. También se toma en cuenta la sensibilidad del material biológico al medio ambiente, la temperatura, el pH, los nutrientes, la humedad y el oxígeno (Ravensberg, 2011). La elección del proceso de producción de microorganismos se planea de acuerdo con el material biológico que se quiere reproducir en 1) proceso de pre-tratamiento (multiplicación), que incluye los requerimientos fisiológicos del microorganismo y el diseño del medio de propagación y 2) proceso de post-tratamiento (transformación) que inicia una vez que se obtiene el ingrediente activo y está formado por técnicas de recuperación, formulación y vida de anaquel (Chang, 2008). El uso de biorreactores es un factor que puede incrementar de manera considerable el rendimiento y la calidad en el crecimiento microbiano mediante sistemas de oxigenación adecuados al pH y temperatura del microorganismo. En la planeación del sistema de producción y las instalaciones se debe analizar el costo de los insumos biológicos, tecnológicos y humanos, así como la distribución de planta para diagramar el flujo de procesos y operaciones, la cuales inician con la entrada del material, procesamiento, almacenamiento y finalmente la entrega al cliente (Jenkins y Goettel., 1997). La economía de los procesos biotecnológicos depende en gran medida de la de formulación (Leahy y Cols., 2014), de tal manera que la correcta selección del material adyuvante tiene impacto en la comercialización del producto (Jaronski y Jackson, 2012) de esta forma la formulación del ingrediente activo incide sobre la calidad del producto y el costo total de producción (Ummidi y Vladamani, 2014).

Análisis económico del mercado de bioinsecticidas. La producción y comercialización de microorganismos entomopatógenos como agentes de control biológico de plagas en cultivos agrícolas muestra un incremento de 5% por año de acuerdo a empresas de mercadeo en EUA (Olson, 2015). Debido a que varios insecticidas microbianos son específicos para plagas, el mercado potencial aún es

limitado en el país y varias regiones del mundo (González y Cols., 2016). Existe una diferencia significativa en los costos de manejo de plagas con bioinsecticidas y plaguicidas sintéticos. Cuando se emplean productos bioinsecticidas se puede obtener una disminución de 25 a 40% en el control plagas agrícolas (FAOSTAT, 2014), además disminuye la contaminación en el medio ambiente, se reduce el impacto en los agrosistemas y se obtienen productos de mejor calidad, libres de residuos químicos para el consumidor. En México existen empresas de producción y comercialización de bioinsecticidas en los estados de Sinaloa (Agrobionsa, Biosol), Jalisco (Agrochen), Michoacán (Microvida) y Estado de México (Koppert, Crerob), entre otras.

En los mercados internacionales, los bioinsecticidas representan el 5% (\$3 billones de dólares) del mercado total de protección a cultivos agrícolas a nivel global, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 8,64% y se espera continúe la misma tendencia hasta 2023, momento en el que el mercado de los bioinsecticidas alcance el 7% (\$4.5 billones de dólares) del total de protección a cultivos (Olson, 2015). Se estima que el uso de bioinsecticidas aumenta 10% por año a nivel mundial (Kumar y Singh., 2015), debido a políticas económicas, sociales y ambientales derivadas de bloques económicos como la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y el NAFTA (Tratado de Libre Comercio de América del Norte) (Bailey y Cols. 2010). En términos de tamaño de mercado se espera que los bioinsecticidas homologuen sus ventas con los plaguicidas sintéticos para la década de 2040 y principios de 2050 (Damalas y Koutroubas., 2018)

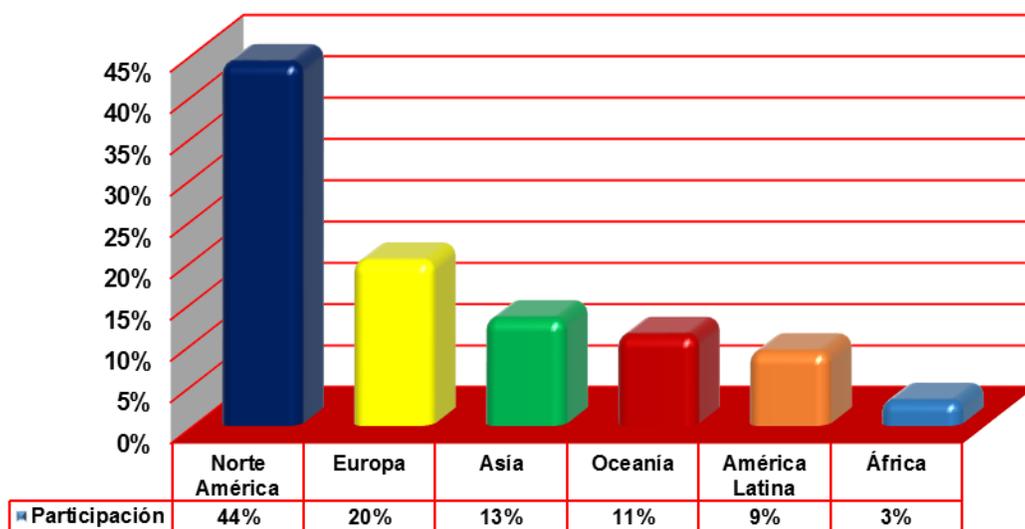


Figura 1. Regiones líderes en el mercado de bioinsecticidas a nivel mundial.

Fuente: Modificado de Roettger and Reinhold (2003) en: Mishra y Cols., (2015)

La Figura 1 muestra a las principales regiones líderes en el mercado de bioinsecticidas. La demanda de bioinsecticidas muestra un consumo mayor en los países de América del Norte con 44%. Europa presenta un consumo de 20%. Asia consume 13% y Oceanía 11%. En América Latina el consumo es de 9% y África 3%. (Mishra y Cols., 2015). En el gráfico de barras de la Figura 1 se puede observar que América del Norte es líder mundial con más de 220 productos bioinsecticidas en el mercado seguido por Europa con 60. América Latina ocupa el penúltimo lugar en esta clasificación.

En relación con el tipo de agentes de control biológico utilizados en cultivos agrícolas la Figura 2, muestra la tendencia de comercialización a nivel global. Los bioinsecticidas bacterianos demandan alrededor del 60%, debido a la efectividad y bajo costo de *Bacillus thuringiensis* en especies de polillas y mariposas, así como en escarabajos, moscas y mosquitos. Los hongos 27%, destacando los productos a base de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin y *Beauveria bassiana* (Bálsamo) en el control de larvas de lepidópteros. Los bioinsecticidas virales 10% debido en parte a sus altos costos

de replicación y finalmente otros bioinsecticidas con 3% (Kabaluk y Cols. 2010) al presentar los datos en el gráfico de barras de la Figura 2 se puede observar que los productos a base de bacterias ocupan el primer lugar a nivel global, esto debido a su alto volumen de fabricación, por sus costos de producción es rentable y el producto es eficaz, estos comparados con los bioinsecticidas fúngicos y virales, presentan mayor resistencia a los procesos industriales (Usta, 2013).

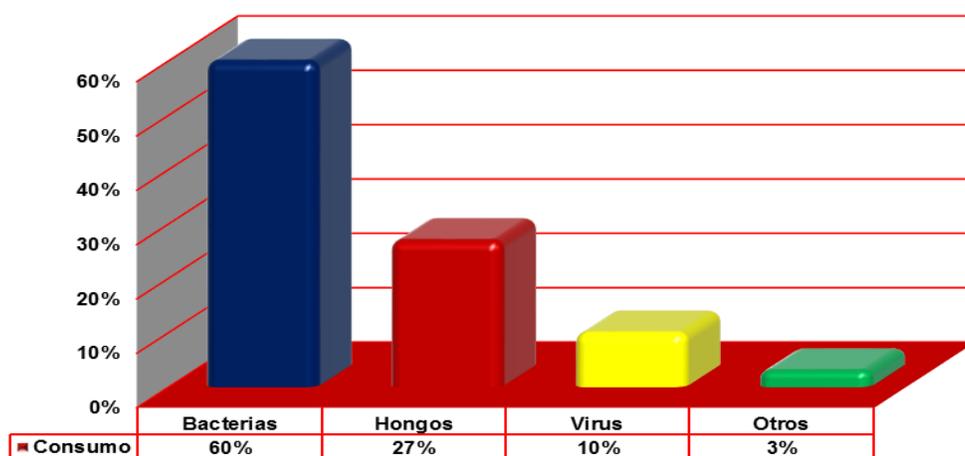


Figura 2. Tipos de bioinsecticidas usados en el mundo.

Fuente: Modificado de (Kabaluk y Cols., 2010) en: Mishra et.al (2015).

En la Tabla 1 se muestra una relación de productos comerciales a base de insecticidas microbianos, se presenta al agente patógeno, el nombre del producto en el mercado, el insecto hospedero y el modo acción que tienen en el insecto blanco.

Tabla 1. Insecticidas microbianos: un resumen de productos y sus usos.

Patógeno	Producto	Hospedero	Acción
		Bacterias	
<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Var. kurstaki</i> (Bt)	Bactur®, Bactospeine®, Bioworm®, Caterpillar Killer®, Dipel®, Futura®, Javelin®, SOKBt®, Thuricide®, Topsiside®, Tribactur®, Worthy Attack®	Orugas (larvas de polillas y mariposas)	Eficaz contra las orugas que se alimentan del follaje (y la polilla de los alimentos en India del grano almacenado). Se desactiva rápidamente a la luz del sol; aplíquelo por la noche o en días nublados y dirija un poco de rocío a las superficies u hojas más bajas. No causa ciclo extensivo en el medio ambiente.
<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Var. israelensis</i> (Bt)	Aquabee®, Bactimos®, Gnatrol®, LarvX®, Mosquito Attack®, Skeetal®, Teknar®, Vectobac®	Larvas de mosquitos <i>Aedes</i> y <i>Psorophora</i> , moscas negras y mosquitos de hongos	Eficaz contra larvas solamente. Activo sólo si se ingiere. Los mosquitos <i>Culex</i> y <i>Anopheles</i> no están controlados a tasas de aplicación normales. No causa ciclo extensivo en el medio ambiente.
<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Var. tenebrionis</i>	Foil® M-One® M-Track®, Novardo® Trident®	Larvas del escarabajo de la patata y escarabajo de la hoja del olmo	Eficaz contra larvas del escarabajo de la patata de Colorado y el escarabajo de la hoja del olmo. Al igual que otros Bts, debe ser ingerido. Está sujeto a descomposición en luz ultravioleta y no circula extensamente en el medio ambiente.
<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Var. aizawai</i>	Certan®	Oruga de la polilla de cera.	Se utiliza sólo para el control de infestaciones de polilla de cera en colmenas de abejas.
<i>Bacillus popilliae</i> and <i>Bacillus lentimorbus</i>	Doom™, Japidemic™,® Milky Spore Disease, Grub Attack®	Larvas del escarabajo japonés	La larva principal del césped de Illinois (la larva blanca anual, <i>Cyclocephala</i> sp.) No es susceptible a la enfermedad de la espora lechosa.
<i>Bacillus sphaericus</i>	Vectolex CG®, Vectolex WDG®	Larvas de mosquitos <i>Culex</i> , <i>Psorophora</i> , y <i>Culiseta</i> , larvas de algunos <i>Aedes</i> spp.	Activo sólo si es ingerido, para uso contra especies de <i>Culex</i> , <i>Psorophora</i> y <i>Culiseta</i> ; También eficaz contra <i>Aedes vexans</i> . Permanencia eficaz en agua estancada o turbia

Hongos			
<i>Beauveria bassiana</i>	Botanigard®, Mycotrol®, Naturalis®	Pulgones, hongos, chinches, ácaros, trips, moscas blancas y ordenes de lepidópteros	Eficaces contra varias plagas. Los altos requerimientos de humedad, la falta de longevidad de almacenamiento y la competencia con otros microorganismos del suelo son problemas que aún no se han resuelto
<i>Lagenidium giganteum</i>	Laginex®	Larvas de la mayoría de las especies de mosquitos plaga	Eficaz contra las larvas de la mayoría de las especies de mosquitos plaga; permanece infeccioso en el medio ambiente durante períodos secos. Un inconveniente principal es su incapacidad para sobrevivir temperaturas altas de verano
Protozoarios			
<i>Nosema locustae</i>	NOLO Bait®, Grasshopper Attack®	Barrenador europeo del maíz orugas saltamontes y grillos mormones	Útil para el control de saltamontes de pastizales. Activo solo si se ingiere. No se recomienda su uso a pequeña escala, como los jardines de patio, ya que la enfermedad es de acción lenta y los saltamontes son muy móviles. También es eficaz contra las orugas.
Virus			
Gypsy moth nuclear polyhedrosis (NPV)	Gypchek® virus	Orugas de la polilla gitana	Todos los insecticidas virales utilizados para el control de plagas forestales son producidos y utilizados exclusivamente por el Servicio Forestal de los Estados Unidos
Tussock moth NPV	TM Biocontrol-1®	Orugas de la polilla de mechón	
Pine sawfly NPV	Neochek-S®	Larvas de mosca de sierra del pino	
Virus de la granulosis de la polilla de la manzana (GV)		Orugas de la polilla de la manzana	Comercialmente producido, pero ya no está registrado o disponible. La futura reinscripción es posible. Sujeto a descomposición rápida en luz ultravioleta.
Nematodos Entomopatógenos			
<i>Steinernema feltiae</i> (= <i>Neoalectana carpocapsae</i>) S. <i>riobravus</i> , S. <i>carpocapsae</i> y otras especies de <i>Steinernema</i>	Biosafe®, Ecomask®, Scanmask®, Vector®	Larvas de una amplia variedad de insectos que habitan en el suelo.	<i>Steinernema riobravus</i> es la especie principal de nematodos comercializada en los Estados Unidos. Debido a los requerimientos de humedad, es eficaz principalmente contra insectos en suelos húmedos o dentro de tejidos vegetales. El almacenamiento prolongado o temperaturas extremas antes del uso pueden matar o debilitar los nematodos.
<i>Heterorhabditis heliothidis</i>	Actualmente disponible en una base de venta entera para operación a gran escala	Larvas de una amplia variedad de insectos que habitan en el suelo	No es comúnmente disponible por los minoristas en los Estados Unidos; Esta especie se utiliza más extensamente en Europa. Disponible por encargo al por mayor o especial para la investigación o usos comerciales a gran escala.
<i>Steinernema scapterisci</i>	Nematac®S	Ninfa tardía y etapas adultas de grillos de topo	S. <i>scapterisci</i> es la principal especie de nematodos comercializada contra el grillo de color moteado. La aplicación es mejor donde el riego está disponible. Irrigar después de la aplicación.

(Agricultural Entomology, University of Illinois at Urbana-Champaign. ENY-275 IN081)

Tomado de: Canan Usta (April 24th 2013). Microorganisms in Biological Pest Control — A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors), Current Progress in Biological Research, Marina Silva-Opps, IntechOpen, DOI: 10.5772/55786. Available from: <https://www.intechopen.com/books/current-progress-in-biological-research/microorganisms-in-biological-pest-control-a-review-bacterial-toxin-application-and-effect-of-environ>.

Análisis del impacto socio-ambiental de bioinsecticidas

La producción y comercialización de bioinsecticidas es una estrategia que se deberá seguir para asegurar la producción agrícola a futuro (Giddens, 2013) así, las investigaciones de microorganismos entomopatógenos como agentes biológicos de control de plagas en los cultivos agrícolas, deben ser transferidos a un sistema de manejo adecuado en producción y comercialización en las regiones agrícolas como respuesta a i) la baja producción de cultivos afectados por las plagas, ii) el uso indiscriminado de agentes de control químico, que causan severos daños en el ambiente y la salud

humana y iii) la pérdida económica que trae consigo la falta de estrategias viables al campo agrícola (Tilman y Cols., 2002; Wolf y Cols., 2009).

El desarrollo de agentes de control biológico de alta efectividad, la producción masiva a escala industrial y la capacidad de mantenerse estables en almacén son algunos de los objetivos principales en la implementación de nuevos sistemas de protección a cultivos (Gupta y Dikshit. 2010). Con el Objetivo de diseñar sistemas de producción a escala industrial los aislados deben ser sometidos a estudios de ecología, fisiología y mecanismos de aniquilación (Tanada y Kaya, 2012) esto sobre las plagas de los cultivos de importancia económica.

Resultados y Discusión

El estatus actual de los bioinsecticidas y el escenario futuro de mercado permite que el diseño del presente modelo tecnológico pueda ser una alternativa en el desarrollo industrial de los bioinsecticidas en México. En la Figura 3, se presenta la secuencia metodológica y los factores de análisis y evaluación, recomendados para su implementación en la pequeña y mediana empresa. La propuesta para la planeación del modelo está organizada por etapas:

En la etapa 1 se propone la selección del agente de control biológico y el análisis para la replicación y formulación.

En la etapa 2 se refiere al estudio de mercado enfocado en el análisis de los consumidores potenciales de productos biológicos, la segmentación puede definirse en términos de valor económico en torno al mercado meta, buscando establecer el consumo de este tipo de bioinsecticidas en razón de su potencial para sustituir los plaguicidas sintéticos.

La etapa 3 integra el análisis técnico de las operaciones de producción en función del tipo de microorganismo a reproducir.

La etapa 4 es el análisis del estudio y evaluación económica, donde se establece las utilidades en razón de los costos de producción (administración, ventas y financieros) y el mercado agrícola actual y potencial.

La etapa 5 se refiere al análisis del impacto social y ambiental, determinada por la diferenciación de los productos biológicos en relación con los productos plaguicidas actuales.

El modelo generado define la ruta a seguir en un contexto de sustentabilidad para la producción industrial de bioinsecticidas para uso agrícola para la pequeña y mediana empresa. Contiene los aspectos que definen la estrategia, planeación y operación de un sistema de producción de bioinsecticidas. El análisis biotecnológico determina las condiciones técnicas para el desarrollo de una planta de producción donde se desarrollen los procesos de escalamiento industrial, basados en el conocimiento y desarrollo de las investigaciones hechas en laboratorio y campo para la producción masiva de agentes de control biológico, mientras que en el análisis económico muestra el estado actual de la producción, venta y consumo de bioinsecticidas respecto a su uso y comercialización nacional e internacional. De esta manera se puede obtener la relación costo-beneficio en referencia a su productividad y rentabilidad. Por otro lado, en el análisis socio-ambiental se evalúa el beneficio de los bioinsecticidas en el ambiente y la salud humana, respecto a su uso y su dispersión en suelos, atmósfera y mantos acuíferos. La planeación y realización de los factores anteriores se traduce en un modelo de transferencia de tecnología, como medio de control de plagas en cultivos agrícolas. El modelo propuesto incluye un estudio ambiental en referencia a los problemas de contaminación que genera el uso de productos agroindustriales en el ambiente, estableciendo una diferencia entre las actuales industrias de bioinsecticidas, las cuales generalmente no evalúan el impacto de estos productos en los ecosistemas. Además, la ruta presentada en el modelo es una opción para las pequeñas empresas que inician en el mercado de agentes microbiológicos

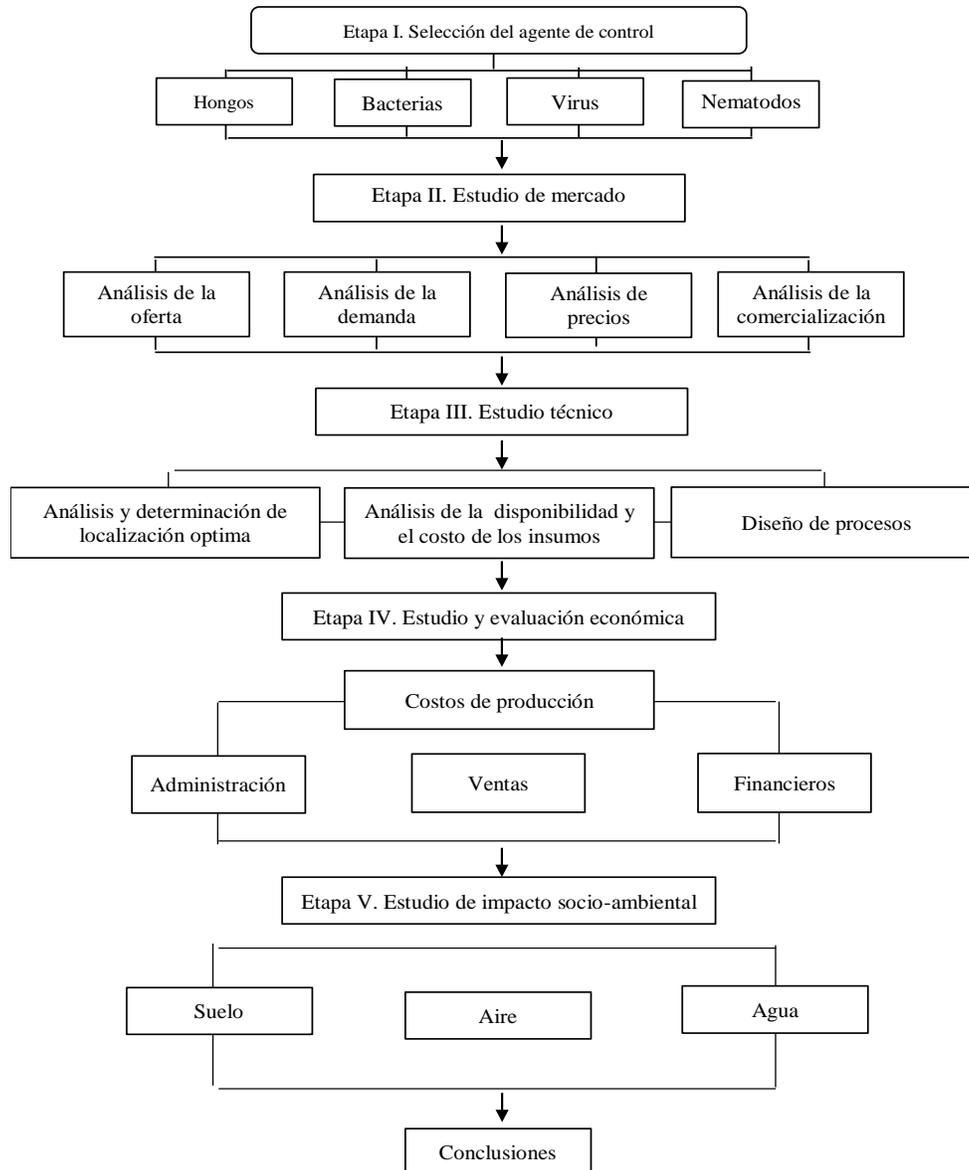


Figura 3. Modelo para la producción industrial de bioinsecticidas.

Diseño con base en: Manual de proyectos de desarrollo económico (ONU, 1958). Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo (Niebel, 2007).

Conclusiones

En este trabajo se analizaron los aspectos biotecnológicos, económicos, sociales y ambientales de la producción y comercialización de bioinsecticidas como una alternativa para el control de plagas agrícolas. Se describieron los principales microorganismos (hongos, bacterias, virus y nematodos entomopatógenos) empleados como agentes de control de plagas, mismos que se pueden emplear para su reproducción y formulación a nivel industrial, destacando la producción de bioinsecticidas bacterianos que contienen como ingrediente activo a *Bacillus thuringiensis* en su formulación.

Se analizó también la situación actual de la producción, comercialización y uso de los bioinsecticidas en diferentes regiones del mundo encontrando una alta producción y comercialización en EUA, lo que se considera seguirá en aumento a diferencia de la UE y otras regiones. Así mismo, se presentaron algunos

bioinsecticidas comerciales y productos que se utilizan para el control de diversas plagas agrícolas y otros insectos.

Con esta información básica se está en condiciones de hacer la planeación del diseño de una planta de producción de bioinsecticidas en función del volumen de producción requerido. El modelo tecnológico propuesto puede ser adoptado por pequeñas y medianas empresas en diferentes regiones agrícolas del país, con lo que al usar estos insumos se espera contribuir a la conservación del medio ambiente.

Referencias

- A Dar, S., A Rather, B. & A Kandoo, A., (2017). Insect pest management by entomopathogenic fungi. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), pp.1185–1190.
- Alfaú, A.A., (2012). Los plaguicidas. In L. Acosta, ed. *Plagas Domesticas*. España: Publicaciones Agrícolas de Oasis Colonial, pp. 43–82.
- Bailey, A. y Cols., (2012). Pest Management with Biopesticides. In *PEST MANAGEMENT WITH BIOPESTICIDES AND REGULATIONS*. UK: CAB International 2010., pp. 71–130.
- Bailey, A. y Cols., (2010). The economics of making the switch in technologies. In T. Head, ed. *Biopesticides: Pest Management and Regulation*. UK: CAB International 2010., pp. 71–131.
- Boemare, N., (2002). Biology, taxonomy and systematics of *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. In R. Gaugler, ed. *Entomopathogenic nematology*. Wallingford Oxfordshire, UK: CABI Publishing, p. 35.
- Chandler, D., (2017). Basic and Applied Research on Entomopathogenic Fungi. In L. A. Lacey, ed. *Microbial Control of Insect and Mite Pests From Theory to Practice*. New York: Academic Press is an imprint of Elsevier, p. 70–.
- Chang, Y.S., (2008). Recent developments in microbial biotransformation and biodegradation of dioxins. *Journal Microbiology and Biotechnology*, 15(2), pp.152–171.
- Chopra, S. y Meindl, P., (2013). Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, planeación y operación. Quinta Edi. R. Navarro Salas y J. E. Murrieta Murríte, eds., México, D.F.: Pearson
- Damalas, C.A. & Koutroubas, S.D., (2018). Current Status and Recent Developments in Biopesticide Use. *Agriculture*, 8(13), pp.1–6.
- Dayan, F.E., Cantrell, Charles, L. y Duke, Stephen, O., (2009). Natural products in crop protection. *Bioorganic y Medicinal Chemistry*, 17(12), pp.4022–4034.
- FAOSTAT, (2014). Pesticides Use. Pesticides Use. Statistics and Data., p.1. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP> [Accessed March 14, 2017].
- Fenner, K. y Cols., (2013). Evaluating Pesticide Degradation in the Environment: Blind Spots and Emerging Opportunities. *Science*, 341, pp.752–758.
- Fuxa, J.R. y Tanada, Y., (1987). *Epizootiology of Insect Diseases* J. R. Fuxa y Y. Tanada, eds., Wiley, J. Ltd-Sons.
- Galan, W.L., Alférez, P.B. y Luna, O.H., (2006). Bacterias Entomopatógenas. In *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. México: IPN-CIDIIR-CONACYT, pp. 43–63.
- García, G.C., Hernandez, V.M. y González, M.B., (2006). Hongos Entomopátogenos. In *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. México, D.F.: Consejo de Ciencia y Tecnología, Durango., pp. 91–118.
- Giddens, A., (2013). The greens and after. In *The politics of climate change*. United States of America: John Wiley and Sons Ltd, pp. 94–112.
- Gill, H.K. y Garg, H., (2014). Pesticides: Environmental Impacts and Management Strategies. In M. L. Larramendy & S. Solonesk, eds. *Pesticides Toxic Aspects*. InTech, Chapters published, pp. 199–230.
- Gonzalez, F. y Cols., (2016). New opportunities for the integration of microorganisms into biological pest control systems in greenhouse crops. *J Pest Sci*, 89, pp.295–311.

- Gupta, S. y Dikshit, A.K., (2010). Biopesticides: An ecofriendly approach for pest control. *Journal of Biopesticides*, 31(1), pp.186–188.
- Hodson, N., Nahmias, T. y Stewart, G., (2013). *Biopesticides Market to Boost at 9.9% from 2015 to 2023, global Agriculture Industry driving the market growth: Transparency Market Research*, New York.
- Jaronski, S.T. y Jackson, M.A., (2012). Mass production of entomopathogenic Hypocreales. In L. a. Lacey, ed. *Manual of techniques in invertebrate pathology*. Washington D.C.: Academic Press, pp. 255–284.
- Jenkins, N.E. y Goettel, M.S., (1997). Methods for mass-production of microbial control agents of grasshoppers and locusts. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 129(171), pp.37–48.
- Kabaluk, J. Todd, Antonet M. Svircev, Mark. S. Goettel, and Stephanie G. Woo (ed.). 2010. *The Use and Regulation of Microbial Pesticides in Representative Jurisdictions Worldwide*. IOBC Global. 99 pp. Available online through www.IOBC-Global.org
- Kumar S, Singh A (2015) Biopesticides: Present Status and the Future Prospects. *J Fertil Pestic* 6: e129. doi:10.4172/2471-2728.1000e129
- Koul, O., (2011). Microbial biopesticides: opportunities and challenges. *CAB International*, 6(56), pp.1–26.
- Leahy, J. y Cols., (2014). *Biopesticide Oversight and Registration at the U.S. Environmental Protection Agency.*, Washington D.C.
- Lezama-Gutiérrez, R., Hueso-Guerrero, E.J. y Morán-Rodríguez, C., (2009). Nematodos entomopatogénos. In *Manual de técnicas para el aislamiento, identificación y caracterización de hongos y nematodos entomopatogénos*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional, pp. 90–91.
- Mishra J., Tewari S., Singh S., Arora N.K. (2015) Biopesticides: Where We Stand?. In: Arora N. (eds) *Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*. Springer, New Delhi
- Nahmias, S., (2014). *ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y LAS OPERACIONES Sexta Edic.*, México, D.F.: McGraw-Hill.
- Niebel, F., (2007). *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. 11th ed., México, D.F.: Alfaomega.
- Olson, S. (2015) An analysis of the biopesticide market now and where is going. *Outlooks Pest Manag.*, 26, 203–206.
- OMS, (2015). Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Estadísticas y datos de los plaguicidas. Caso México., pp.1–7.
- ONU, (1958). *Manual de proyectos de desarrollo económico*, México, D.F.: Organización de las Naciones Unidas. Available at: <http://archivo.cepal.org/pdfs/1958/S5828031.pdf>.
- Poinar, G.O., (1979). *Nematodes for biological control insects*, Boca Raton, Florida USA: CRC Press.
- Poinar, J.G.O., (1990). Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In R. Gaugler y H. K. Kaya, eds. *Entomopathogenic nematodes in biological control*. Boca Raton, Florida USA: CRC Press, pp. 23–61.
- Ranga Rao, G. y Cols., (2007). Role of Biopesticides in Crops: Present Status and Future Prospects. *Indian Journal of Plant Protection*, 35(1), pp.1–9.
- Ravensberg, W.J., (2011). Mass Production and Product Development of a Microbial Pest Control Agent. In W. J. Ravensberg, ed. *A Roadmap to the Successful Development and Commercialization of Microbial Pest Control Products for Control of Arthropods*. *Progress in Biological Control* 10, pp. 59–117.
- Roettger U, Reinhold M (eds) (2003) *International symposium on biopesticides for developing countries*, CATIE, Turrialba, Costa Rica
- Roh, J.Y. y cols., (2007). *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *Journal Microbiology and Biotechnology*, 17(4), pp.547–549.
- Rohrmann, G.F., (2013). The baculovirus replication cycle: Effects on cells and insects. In *Molecular Biology [Internet]*. 3rd edition. pp. 25–69.

- Smart, G.C.J. y Nguyen, K.B., (1994) Role of entomopathogenic nematodes in biological control. In D. Rosen, F. D. Bennett, & J. L. Capinera, eds. *Pest Management in the Subtropics: Biological Control-A Floride Perspective*. UK: Andover Intercept, pp. 231–52.
- SSA, (2016). Morbilidad y mortalidad por Intoxicación por plaguicidas en México 1995-2012. *Boletín Epidemiológico*, pp.1–28. Available at: <http://www.gob.mx/salud> [Accessed March 14, 2017].
- Stevens, J. y Cols., (2012). *Biotechnological Approaches for the Control of Insect Pests in Crop Plants*. In J. P. Soundararajan, ed. "Pesticides - Advances in Chemical and Botanical Pesticides. CC BY 3.0 license, pp. 269–308.
- Tamez-Guerra, P. y Behle, R.W., (2006). Virus Entomopatógenos. In *Biología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. México, D.F.: IPN-CIDIIR-CONACYT, pp. 64–90.
- Tanada, Y. y Kaya, H., (2012). *Insect Pathology 2nd ed.* H. Kaya & F. H. Vega, eds., Academic Press.
- Tilman, D. y Cols., (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418.
- Ummidi, S.R. y Vladamani, P., (2014). Preparation and use of oil formulations of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against *Spodoptera litura* larvae. *African Journal of Microbiology Research*, 8(15), pp.1638–1644.
- Usta, C., (2013). Microorganisms in Biological Pest Control — A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors). In *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology* » "Current Progress in Biological Research." InTech, Chapters published., pp. 287–317.
- Wolf, T.M. y Cols., (2009). Predicting Air-Borne Droplet Drift from Agricultural Areas. In *Agriculture and Agri-Food Canada, Research Centre, Saskatoon, SK; University of Manitoba, Winnipeg, MB; Agriculture and Agri-Food Canada, Research Centre, Lethbridge, AB. Canada: Government of Canada*, pp. 1–5.

Este artículo puede citarse de la siguiente forma:

Citación estilo APA sexta edición

Manzanarez Jiménez, L. A. & García Gutiérrez C. (mayo-agosto de 2019). Modelo Tecnológico Industrial para la Producción de Bioinsecticidas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5(2), 1-11.

Citación estilo Chicago decimoquinta edición

Manzanarez-Jiménez, Lucía Araceli & García-Gutiérrez, Cipriano. Modelo Tecnológico Industrial para la Producción de Bioinsecticidas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5 No. 2 (mayo-agosto de 2019): 1-11.

Citación estilo Harvard Anglia

Manzanarez Jiménez, L. A. & García Gutiérrez, C., 2019. Modelo Tecnológico Industrial para la Producción de Bioinsecticidas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, mayo-agosto, 5(2), pp. 1-11.

Citación estilo IEEE

[1] L.A. Manzanarez-Jiménez y C. García-Gutiérrez. Modelo Tecnológico Industrial para la Producción de Bioinsecticidas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, vol. 5 No. 2, pp. 1-11, mayo-agosto de 2019.