

Bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas

LUCÍA ARACELI MANZANAREZ JIMÉNEZ¹, CIPRIANO GARCÍA GUTIÉRREZ², GABRIELA LIZBETH FLORES ZAMORA³

RESUMEN

Los bioinsecticidas son compuestos a base de microbios o de metabolitos secundarios de las plantas, con actividad insecticida e insectistática para el control de insectos que son plagas en cultivos agrícolas de importancia económica. En este trabajo se destaca su utilidad para el control de plagas, los métodos de aislamiento, multiplicación y formulación. Los avances en el desarrollo de los bioinsecticidas son una estrategia sostenible para el control de insectos y no son una amenaza para las plantas, la salud humana y el medio ambiente. Los estudios para su producción continúan en la búsqueda de nuevas cepas y metabolitos con potencial bioinsecticida, así como nuevas fuentes de nutrientes, mejora de las variables de crecimiento, y de tecnologías de formulación y aplicación, para reducir o eliminar el uso de plaguicidas sintéticos como método principal de control de plagas, con el objetivo de mejorar la calidad de los productos agrícolas.

Palabras clave: Control biológico, biotecnología agrícola, desarrollo sostenible.

¹Estancia Posdoctoral. Doctora en Biotecnología, Departamento de Biotecnología Agrícola, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Sinaloa, México. Imanzanarezj1800@alumno.ipn.mx
<http://orcid.org/0000-0001-7395-2836>

²Profesor Investigador Titular C. Doctorado en Bioquímica. Departamento de Biotecnología Agrícola, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Sinaloa, México. garciaciprian@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8967-3679>

Técnico Docente Titular A. Licenciada en Biología. Departamento de Biotecnología Agrícola, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Sinaloa, México. karamelo08@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-1179-7866>

Autor de Correspondencia: Lucía Araceli Manzanarez Jiménez Imanzanarezj1800@alumno.ipn.mx

Recibido: 23 / 01 / 2024

Aceptado: 17 / 02 / 2025

Publicado: 13 / 05 / 2025

Cómo citar este artículo:

Manzanarez Jiménez, L. A., García Gutiérrez, C., & Flores Zamora, G. L. (2025). Bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas. *EPISTEMUS*, 19(38), e3810356. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i38.356>.

Bioinsecticides for Agricultural Pest Control

ABSTRACT

Bioinsecticides are compounds based on microbes or secondary plant metabolites, with insecticidal and insectistatic activity for the controlling of insects that are pests in economically important agricultural crops. This work highlights their usefulness for pest control, methods of isolation, multiplication, and formulation. Advances in the development of bioinsecticides are a sustainable strategy for insect control and do not pose a threat to plant or human health. Studies for their production continue in the search for new strains and metabolites with bioinsecticide potential, as well as new sources of nutrients, improvement of growth variables, formulation, and application technologies, to reduce or eliminate the use of synthetic pesticides as the main method of pest control, with the aim of improving the quality of agricultural products.

Key words: *Biological control, agricultural biotechnology, sustainable development.*



INTRODUCCIÓN

La producción agrícola a nivel global ha registrado un aumento considerable desde comienzos del milenio. Entre el año 2000 y 2019 se registró un incremento del 53 % en los cultivos básicos, que representa 9,4 billones de toneladas de alimento por año [1]. Entre estos cultivos predominan la caña de azúcar (21 %), el maíz (12 %), el arroz (8 %) y el trigo (8 %) [1]. Se estima que anualmente a nivel mundial se emplean 190 millones de toneladas de fertilizantes inorgánicos (57 % a base de nitrógeno), 3,5 millones de toneladas de plaguicidas de síntesis [2]. Entre los países con mayor consumo de agroinsumos destacan Estados Unidos (470,780 t), Brasil (377,180 t), China (262,270 t) y Argentina (241,290 t), los cuales aplican mayormente herbicidas (1,397,470 t), fungicidas y bactericidas (605,990 t) y plaguicidas (471,240 t) [2].

El uso constante de agroinsumos de síntesis tiene impactos negativos en la salud y el medio ambiente. Se estima que el 64 % (aprox. 24,5 millones km²) del suelo agrícola mundial está en riesgo de contaminarse con las sustancias químicas que contienen estos productos [3]. En cuanto a la salud humana, cada año 385 millones de trabajadores agrícolas sufren intoxicación aguda por plaguicidas, de los cuales 11,000 mueren por este padecimiento [4]. En un informe hecho por la Sociedad Entomológica de América (*Entomological Society of America*, ESA), se estimaron costos de \$2,5 mil millones de dólares para el control de plagas y pérdidas de \$18 mil millones de dólares por año de daños económicos en cultivos agrícolas [5].

Las prácticas agrícolas sostenibles han tenido un impacto positivo en el sector primario. Entre estas prácticas los bioinsecticidas son una alternativa para el control de plagas de insectos en cultivos agrícolas. Los bioinsecticidas se formulan a base de microbios y extractos botánicos de las plantas [6]. En algunos países se conocen como biopesticidas, bioplaguicidas, insecticidas microbianos o insecticidas biológicos, y recientemente han recibido mayor atención debido a la preocupación pública por el uso de sustancias altamente tóxicas para la salud humana y el medio ambiente [7].

El objetivo de este trabajo es presentar información relevante de los bioinsecticidas microbianos y botánicos, la información se amplía a los métodos de aislamiento, multiplicación y formulación, para el control de plagas de insectos en cultivos agrícolas de importancia económica.

BIOINSECTICIDAS

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*Environment Protect Agency*, EPA), clasifica los bioinsecticidas como 1) bioquímicos: feromonas sexuales de los insectos y extractos botánicos, 2) microbianos: bacterias, hongos, virus, y nematodos entomopatógenos, e insectos benéficos, y 3) protectores incorporados a las plantas (*Plant-Incorporated Protectants*, PIPs), los cuales se producen a partir de modificaciones genéticas para producir el efecto insecticida contra la plaga que se requiere combatir [8]. En este trabajo no se presenta información sobre los PIPs, debido a que su uso es limitado en territorio mexicano (NOM-002-SAG-BIO/SEMARNAT-2017).

Modo de acción de los bioinsecticidas

Los bioinsecticidas botánicos tienen efectos repelentes, tóxicos, esterilizantes, e inhiben el crecimiento, la oviposición y la alimentación en los insectos [9]. Los bioinsecticidas microbianos parasitan y enferman a su hospedante hasta causar su muerte [10]. Los microbios y los extractos botánicos producen metabolitos secundarios con importantes aplicaciones biotecnológicas.

El hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae) libera bassianolida y beauvericina, *Metarhizium anisopliae* Metschnikoff Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) produce destruccinas y citocalasinas [11]. La bacteria *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Baciliales: Bacillaceae), produce proteínas parasporales [11]. Los nematodos *Heterorhabditis* spp. y *Steinernema*, spp. desarrollan asociación mutualista con las bacterias *Photorhabdus* spp. y *Xenorhabdus* spp., respectivamente [11]. Los baculovirus (BV), nucleopoliedrovirus (NPV) y granulovirus (GV), producen cuerpos de oclusión (Occlusion Body, OB) de diferentes tamaños que contiene los viriones de los BV [12].



Con relación a los bioinsecticidas botánicos, el aceite o extracto de las semillas y las hojas de las plantas de Neem *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) y de venadillo *Swietenia humilis* Zucc. (Meliaceae), producen terpenoides que inhiben el crecimiento de los insectos [13], [14], [15]. Las plantas silvestres de estramonio *Datura stramonium* L. (Solanaceae), higuera *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) y el tabachín *Nicotiana glauca* Graham son tóxicos para los insectos, debido a su alto contenido de alcaloides [16], [17]. En la Tabla 1 se presenta el modo de acción de los principales microbios y extractos botánicos, se menciona su género y especie. La información presentada del modo de acción de los microbios se encuentra en las referencias de este trabajo.

Tabla 1. Modo de acción de los microbios y extractos botánicos

Agente activo	Modo de acción	Género y especie
Microbios		
Bacterias	Los cristales parasporales se solubilizan en el intestino medio del insecto a través de las enzimas proteasas y endógenas (tripsinas y quimotripsinas), esto causa un desequilibrio osmótico en las células de la membrana intestinal y la muerte del insecto [19].	<i>B. thuringiensis</i> (Bt) • Bt sub. <i>aizawai</i> (Lepidópteros) • Bt sub. <i>tenebrionis</i> (Coleópteros) • Bt sub. <i>israelensis</i> y Bt sub. <i>sphaericus</i> (Dípteros) <i>Paenibacillus popilliae</i> • <i>P. lentimorbus</i> <i>Clostridium bifermentans</i> • <i>C. brevifasciens</i> • <i>C. malacosomae</i> <i>Lysinibacillus sphaericus</i>
Hongos	Los conidios o esporas se adhieren al cuerpo del insecto y a través de secreción de enzimas hidrolíticas, debilitan su cutícula, lo invaden y colonizan tejidos vitales, causando su muerte [21].	<i>B. bassiana</i> <i>B. bassiana</i> var. <i>brongniartii</i> <i>M. anisopliae</i> <i>M. anisopliae</i> var. <i>acridum</i> <i>Isaria fumosorosea</i> antes <i>Paecilomyces</i> <i>Lecanicillium lecanii</i> antes <i>Verticillium lecanii</i> <i>Nomuraea rileyi</i>
Virus	Los virus se replican en el núcleo de las células del intestino del insecto, esto causa pérdida de apetito y líquidos, una característica distintiva de la infección por virus es el movimiento del insecto hacia la parte superior de la planta, en posiciones colgantes [26].	Baculovirus Nucleopoliedrovirus (NPV) (Aislados de lepidópteros y en menor proporción de dípteros e himenópteros) • NPV simples (SNPV) • NPV múltiples (MNPV) Granulovirus (GV) (Aislados de lepidópteros)
Nematodos	Los nematodos J1 o los estadios J3 penetran el cuerpo de los	<i>Steinernema carpocapsae</i> • <i>S. feltiae</i>



	insectos. En su interior se alimentan, se desarrollan, se reproducen y liberan bacterias mutualistas en la hemolinfa que causan la muerte del insecto. Al morir, los nematodos J1 o J3 emergen al exterior del cadáver del insecto para buscar e invadir nuevos hospederos [27].	• <i>S. kraussei</i> • <i>S. glaseri</i> • <i>S. riobrave</i> • <i>S. scapterisci</i> • <i>S. kushidai</i> • <i>S. longicaudum</i> <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> • <i>H. megidis</i> • <i>H. indica</i> • <i>H. marelata</i> • <i>H. zealandica</i>
Botánicos		
Terpenoides (carvacrol, citronelal, geraniol, linalol, piperitona, mentol y timol)	Repelentes, tóxicos e inhiben el crecimiento, la alimentación, y la oviposición en los insectos [34].	Neem A. <i>indica</i> (Limonoides) Venadillo <i>S. humilis</i> (Limonoides) Orégano, <i>Origanum vulgare</i> (Carvacrol) Albahaca, <i>Ocimum basilicum</i> (Eugenol) Eucalipto, <i>Eucalipto</i> spp. (1,8-cineol) Citronela, <i>Cymbopogon</i> spp. (Citronelol) Clavo, <i>Syzygium aromaticum</i> L. (Eugenol) Romero, <i>Rosmarinus officinalis</i> L. (1,8-cineol) Canela, <i>Cinnamomum</i> spp. (Cinamaldehído) Naranja, <i>Citrus sinensis</i> L. (α -terpineol)
Alcaloides (atropina y nicotina)	Neurotóxicos [16].	Estramonio, <i>D. stramonium</i> (Atropina y escopolamina) Higuera, <i>R. communis</i> (Ricina) Tabaquillo, <i>N. glauca</i> (Nicotina)
Flavonoides (Ácidos fenólicos)	Repelen e inhiben la síntesis de la quitina [9].	Árbol de paraíso <i>Melia azedarach</i> L. (flavonoides, terpenoides, limonoides, alcaloides, saponinas y taninos) Naranja agria <i>Citrus aurantium</i> (flavanonas, flavonas y flavonoles, limonoides: limonina y nomilina, y alcaloides: p-sinefrina) Derris <i>Derris</i> sp. (Rotenona) Tomillo, <i>Thymus vulgaris</i> (Timol y carvacrol) Ajo, <i>Allium sativum</i> L. (Alicina, saponinas y flavonoides) Ruda, <i>Ruta graveolens</i> L., <i>R. montana</i> L. (Catequitáninos y esteroides)
Glucósidos cianogénicos (Ácido cianhídrico)	Tóxicos y repelentes [9].	Algodoncillo gigante, <i>Calotropis procera</i> (Uzarigenina) Árbol colorín, <i>Erythrina variegata</i> L. (Glucósidos y taninos)
Compuestos azufrados (Tiofeno, pirrol y furano)	Neurotóxicos (alta toxicidad) [9].	Cempasúchil, <i>Tegetes erecta</i> L. (Tiofeno, benzofunano, triterpenoides, esteroides, alcaloides, flavonoides)



		Cardos, <i>Echinops grijsii</i> , <i>E. bannaticus</i> , y <i>E. sphaerocephalus</i> L. (Tiofeno, terpenos y flavonoides)
Piretrinas	Neurotóxico (alta toxicidad)	Crisantemos, <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> L. (Piretro)

Las fuentes de información del compuesto bioactivo, el modo de acción y los géneros y especies de los agentes microbianos se encuentran en las referencias; y la información del ingrediente activo, modo de acción y especies botánicas fueron consultados de diferentes fuentes de información en sitios web en Internet, el 27 de julio de 2023.

BIOINSECTICIDAS MICROBIANOS

Bacillus thuringiensis

Bacillus thuringiensis (Bt) es un bioinsecticida de ingestión, es el microbio biológico más estudiado y comercializado en el mundo (52 %) [10]. En su fase de crecimiento vegetal produce proteínas Vip (*Vegetative Insecticidal Proteins*, Vip), así, las proteínas Vip1 y Vip2 son eficaces contra plagas de coleópteros y hemípteros, y Vip3A es tóxica para lepidópteros [18]. En su fase de esporulación produce las proteínas Cry (*Crystal*) y Cyt (*Cytolytic*), o cuerpos parasporales: Cry1Ac y Cry2Ab atacan a lepidópteros, y Cry1Aa ataca a coleópteros [18]. Las formulaciones de Bt son esporas-cristal de cepas que en su mayoría expresan las proteínas Cry, las cuales se producen en medios artificiales a base de harina de soya, sangre en polvo y harina de cascarilla de algodón [19].

Hongos entomopatógenos

Los hongos *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Lecanicillium* spp. (antes *Verticillium* spp.), *Nomuraea* spp., *Hirsutella* spp. e *Isaria* spp., (Ascomycota: Hypocreales) actúan por contacto en los insectos. Estos microorganismos son el segundo producto mayormente comercializado (19 %) [10]. Los hongos se propagan mediante fermentaciones líquidas, sólidas o en fermentaciones bifásicas. Este último método se compone por un cultivo líquido de esporas, conidios y micelio, y un sustrato sólido, a partir de granos de arroz, trigo, cebada, maíz, avena, almidones de soya, de trigo y papa, bagazo de caña, entre otros [20]. *Isaria fumosorosea* (Wize), *B. bassiana* y *Lecanicillium lecanii* (Zimmermann) Zare & Gams, se han formulado en agua con glicerina contra la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos de tomate jitomate y frijol [21]. *B. bassiana* y *M. anisopliae* se han mezclado en aceites vegetales y mineral



contra el gusano del fruto en tomate *Chloridea virescens* F (Lepidoptera: Noctuidae) antes *Heliothis virescens* [22], [23]. En México los hongos se aplican en programas de manejo integrado, en suspensiones en emulsión concentrada a dosis de uno a dos litros por hectárea, y polvos humectables a $2,4 \times 10^{12}$ conidios mezclados entre 100 a 250 litros de agua por hectárea, contra plagas de hortalizas [23].

Baculovirus

Los Baculovirus (BV) de mayor importancia son los nucleopoliedrovirus (NPV: *Alphabaculovirus* spp.) y los granulovirus (GV: *Betabaculovirus* spp.). Los primeros forman cuerpos de oclusión grandes y contienen viriones en forma de bastoncillos, los segundos forman cuerpos granulares con un solo virión y se aplican para el control de lepidópteros [24]. Los virus controlan plagas polífagas de *Helicoverpa* spp. y *Spodoptera* spp., entre los que destacan el gusano elotero *H. zea* (HezeSNPV), gusano del viejo mundo *H. armigera* (HearNPV), gusano cortador *S. litura* (SpltNPV), gusano soldado *S. exigua* (SeMNPV), gusano cogollero *S. frugiperda* (SpfrMNPV), gusano terciopelo *Anticarsia gemmatilis* (AngeMNPV), polilla de la manzana *Cydia pomonella* (CpGV) y polilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (PlxyGV) [10].

Los virus se replican en cultivos celulares y en insectos provenientes de insectarios de laboratorio [24]. El bioinsecticida Gypchek® a base de *Lymantria dispar dispar* (L.) (LdMNPV) se produce en larvas infectadas por el virus, después las larvas muertas por el virus se liofilizan para obtener el agente bioactivo [25].

En México, el uso de BV en campo es bajo, a nivel experimental, se han realizado aplicaciones en maíz y brócoli de NPVs de *S. frugiperda*, (3×10^{12} CO/ha), y una cepa del baculovirus PxNPV, contra *P. xylostella* [26].

Steinernema y Heterorhabditis

Los nematodos entomopatógenos *Steinernema* spp. y *Heterorhabditis* spp. tienen seis estadios; el huevo, cuatro etapas juveniles (J1-J4) y el adulto [27]. El estadio J3 conocido como Juvenil Infeccioso (JI) es el único estadio de vida libre. Los JI emergen al exterior y entran en un estado



de anhidrosis, lo que les permite sobrevivir para buscar e invadir un nuevo hospedero. El nematodo de *Steinernema* spp. invaden los insectos a través de las aberturas naturales del cuerpo (ano, espiráculos y boca), en el caso del nematodo *Heterorhabditis* spp. tiene un diente en la región cefálica que le permite perforar la cutícula de los insectos. En el interior del hospedero, el estadio J1 libera las bacterias *Xenorhabdus* spp. (*Steinernema* spp.) y *Photorhabdus* spp. (*Heterorhabditis* spp.), que a su vez liberan toxinas y enzimas que matan al insecto dentro de 24 a 48 horas [27].

Steinernema spp. y *Heterorhabditis* spp., se reproducen en larvas de la polilla de la cera *Galleria mellonella* (Linnaeus) y del gusano de la harina *Tenebrio molitor* (Linnaeus), la especie *S. riobrave* produce alrededor de 300,000 J1/larva de *G. mellonella* y *S. glaseri*, 50,000 J1/larva [28]. El método LOTEK utiliza insectos de crías axénicas, en contenedores perforados (30 x 26 x 4 cm), los cuales son sumergidos en masas de J1 para infectar a los insectos sanos, y después se cosechan mediante boquillas de nebulización a velocidad de 37 mL/min y 1,78 L de agua/charola [29], [30]. Los cultivos monoxénicos utilizan la bacteria mutualista del nematodo, la cual se inocula en huevos de hembras grávidas o hermafroditas para que ocurra la eclosión de J1. Los J1 obtenidos se pueden reproducir en fermentaciones sólidas o líquidas [11]. En el cultivo sólido, la bacteria se inocula en esponjas tratadas con vísceras de pollo para el nematodo *Steinernema* spp. y., y de grasa de res para *Heterorhabditis* spp. [11]. En cultivos líquidos se utilizan caldos de lípidos, glucosa y extracto de levadura, mezclados en biorreactores que controlan los parámetros de dióxido de carbono (CO₂), oxígeno y temperatura. Los lípidos ricos en ácidos grasos monoinsaturados y pobres en ácidos grasos saturados producen un crecimiento óptimo de nematodos, debido a que el 60 % de la energía total de los J1 es derivado del metabolismo de los lípidos [30].

En México, el uso en campo de *Steinernema* spp. y *Heterorhabditis* spp. es limitado, debido a la baja persistencia en el suelo, ya que el 50 % muere en unas horas a causa de la radiación ultravioleta, y si logran adaptarse, se pierde de 5 a 10 % de los nematodos por día, y después de una a seis semanas solo persiste 1 % del inóculo original [28]. En la Tabla 2, se presentan algunos

bioinsecticidas microbianos, el insecto hospedero, la empresa que los comercializa y el cultivo donde se presenta la plaga.

Tabla 2. Bioinsecticidas microbianos

Producto	Hospedero	Empresa	Cultivos
Hongos			
Botanigard® 22% WP* cepa GHA <i>B. bassiana</i>	Mosca blanca, pulgón y araña roja	Certis® Europa, España	Hortalizas, cítricos y plantas de ornato
Baeva® <i>B. bassiana</i> 4x10 ⁸ esporas/mL y 15 g/L de micelio	Picudo del chile, cochinilla algodonosa, y mosca blanca	Aevus® biotecnología	Hortalizas
Naturalis®-L 7,67 %. Cepa ATCC 74040B <i>B. bassiana</i>	Pulgones (<i>Aphis gossypii</i> , <i>Myzus persicae</i> , <i>Brevicoryne brassicae</i>) Chanchitos blancos (<i>Pseudococcus</i> spp.) Trips (<i>Frankiniella occidentalis</i> , <i>Thrips Tabaci</i>) Mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) Lepidóptera (<i>P. xylostella</i> , <i>S. exigua</i>) Huevos de <i>H. virescens</i> , <i>H. zea</i> , <i>P. xylostella</i>	Troy Biosciences Incorporated, Phoenix, AZ 85043 Estados Unidos	Hortalizas, frutales y cereales
BEA-SIN® WP*, SC* Cepa ABNBb 5.0 X 10 ⁹ conidio/g <i>B. bassiana</i>	Huevecillos, ninfas y adultos de mosquita blanca (<i>Bemisia</i> spp.)	Agrobiológicos del Noroeste®, Culiacán, Sinaloa, México	Chile, chile bell, jitomate, tomate de cáscara, papa y berenjena
Mycontrol® ES* cepa GHA <i>B. bassiana</i>	Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia</i> spp.), <i>P. xylostella</i> , pulgón de la col (<i>Brevicoryne brassicae</i>)	Certis® Estados Unidos, Certis Agro México SRL de CV	Calabacita, calabaza, melón, pepino, sandia, col de brúcelas, coliflor, brócoli, clavel, rosas y gerbera.
Green Guard® SC* <i>M. anisopliae</i> var. <i>acridum</i>	Ninfas de langosta de plaga australiana (<i>Chortoicetes terminifera</i>), saltamontes (<i>Phaulacridium vittatum</i>) y plagas de saltamontes	BASF® Australia	Áreas agrícolas, pastos, cultivos, cultivos forrajeros y



			áreas no cultivadas
Met52 [®] EC* cepa F52 <i>M. anisopliae</i>	Trips, ácaros, moscas blancas.	Novozymes Biologicals, Saskatoon, Saskatchewan, Canadá	Cucurbitáceas, hortalizas y frutos rojos (Berries)
META-SIN [®] WP*SC* cepa <i>M. anisopliae</i> ABNMa 201	Picudo de chile (<i>Anthonomus eugenii</i>)	Agrobiológicos del Noroeste [®] , Culiacán, Sinaloa, México Agrobionsa [®] México (Sinaloa)	Chile y chile bell
Green Muscle [®] OF* <i>M. anisopliae</i> var. <i>acridum</i>	Langosta del desierto (<i>Schistocerca gregaria</i>), langosta roja (<i>Nomadacris septemfasciata</i>), langosta parda (<i>Locustana pardalina</i>), langosta arbórea del Sahel (<i>Anacridium melanorhodon</i>), saltamontes jaspeado (<i>Zonocerus variegatus</i>), saltamontes senegalés (<i>Oedaleus senegalensis</i>), saltamontes africanos del arroz (<i>Hieroglyphus daganensis</i>)	LUBILOSA (<i>Lutte Biologique contre les LOcustes et SAuteriaux</i>), Canadá, Países Bajos, Suiza, Gran Bretaña y EE. UU.	Granos y pastos
PAE-SIN [®] WP*, SC* <i>P. fumosoroseus</i> (<i>I. fumosorosea</i>) cepa ABNPf 303	Huevecillos, ninfas y adultos de Mosquita blanca (<i>Bemisia</i> spp.)	Agrobiológicos del Noroeste [®] , Culiacán, Sinaloa, México	Chile, chile bell, jitomate, tomate de cáscara, papa, berenjena, arándano, frambuesa, fresa, grosella, kiwi, vid y zarzamora
TRI-SIN [®] WP*, EC* <i>M. anisopliae</i> , <i>B. bassiana</i> , <i>P. fumosoroseus</i> (<i>I. fumosorosea</i>)	Paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	Agrobiológicos del Noroeste [®] , Culiacán, Sinaloa, México	Chile, chile bell, jitomate, tomate de cáscara, papa y berenjena
Bacterias			
DiPel [®] DF, GR* <i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i>	Larvas de lepidópteros	Sumimoto, Chemical, Ikenogard@Kenogard. Es	Hortalizas, algodón, cítricos, manzano y peral

Lepinox® Plus WP* cepa EG 2348, <i>B. thuringiensis</i> subesp. <i>kurstaki</i>	Larvas de lepidópteros (<i>Heliothis</i> , taladro de la alcachofa <i>Gortyna</i> <i>xanthenes</i>)	Agrichem Bio®, Madrid, España	Algodón, tabaco, solanáceas y cucurbitáceas, hortícolas de hoja, judías
Xentari® GD*, <i>B.</i> <i>thuringiensis</i> subesp. <i>Aizawai</i>	Larvas de lepidópteros	Sumimoto, Chemical, Ikenogard@Kenogard. Es	Manzano, peral, melón, sandía, algodón, arroz, y hortalizas
Gnatrol® SC* Vectobac® 12 AS <i>B. thuringiensis</i> subesp. <i>Israelensis</i> , cepa AM65-52	Larvas de dípteros: específico para mosquitos, <i>Culex</i> , <i>Aedes</i> y <i>Anopheles</i> .	Sumimoto, Chemical, Ikenogard@Kenogard. Es	Ornamento
Novodor®, SC* <i>B.</i> <i>thuringiensis</i> subesp. <i>Tenebrionis</i> , cepa NB-176	Larvas de escarabajo de la patata <i>Leptinotarsa decemlineata</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)	Sumimoto, Chemical, Ikenogard@Kenogard. Es	Papa
Costar® WG*, <i>B.</i> <i>thuringiensis</i> subesp. <i>Aizawai</i>	Gusano soldado <i>S. exigua</i> , palomilla dorso de diamante, <i>P.</i> <i>xylostella</i>	Syngenta®, Certis Agro México, S. de R.L.	Jitomate, tomate de cáscara, berenjena, chile, papa, de C.V. brócoli, col, col de bruselas, coliflor, colza.
BT 32 Seipasa® WP*, <i>B. thuringiensis</i> subesp. <i>Kurstaki</i> , cepa PB-54	Larvas de lepidópteros	Seipasa®, natural Technology, l'Alcúd, Valencia (España)	Vegetales, algodón y vid
Virus			
Heligen®, ULV* <i>H.</i> <i>zea</i> HzSNPV. cepa ABA-NPV-U	Larvas de <i>Helicoverpa</i> spp. y <i>Heliothis</i> spp.	AgBiTech Global, Brasil y Australia	Algodón, tabaco, soya, tomate y maíz
Gemstar® LC*, <i>H. zea</i> HzSNPV.	Larvas de <i>H. virescens</i> = <i>C.</i> <i>virescens</i> .	Certis U.S.A., LLC (Norte y Sur de América)	Esparrago, alcachofa, arándano, algodón, soya y maíz
Spod-X® LC*, <i>S.</i> <i>exigua</i> , (VPNSe)	Larvas de <i>S. exigua</i>	Certis U.S.A., LLC (Norte y Sur de América)	Vegetales, algodón, papa, soya y plantas de ornato



Gypchek® WP* L. dispar LdMNPV	La polilla gitana, <i>L. dispar</i>	EPA Establishment No. 27586-CT-1, EUA	Forestal y localidades urbanas
Nematodos			
Carpocapsae-System®, Gel (50, 250 y 2500 millones de NEPs) S. carpocapsae	Orugas	Biobest Group NV, Bélgica	Vegetales, peral, manzano, pepino y cannabis medicinal
Nemasys® M, Pasta (PA) (150-250 millones de NEPs) S. feltiae	Larvas de la polilla de la manzana <i>C. pomonella</i> y la polilla oriental de la fruta <i>Grapholita molesta</i>	BASF, Estados Unidos	Frutales
Entonem®, 50-500-1500 millones NEPs en sobres en la caja, S. feltiae	Plagas de insectos en cultivos protegidos y espacios verdes urbanos: larvas dípteras (esciáridas) y pupas de trips	Koppert BV, España	Cultivos protegidos de hortalizas
Larvanem®, 50-500-1500 millones de <i>H. bacteriophora</i>	Plagas de coleópteros; gorgojos y otros escarabajos y lepidópteros	Koppert BV, España	Cultivos protegidos de hortalizas

WP*: Polvos mojables, **ES***: Suspensión en emulsión, **SC***: Suspensión concentrada, **EC***: Concentrado emulsionable, **GR**: Gránulos, **ULV**: Suspensión lista para usar a través de equipos volumen ultra bajo, **LC***: Concentrado líquido. Las fuentes de información de los productos, el insecto hospedero, la empresa y los cultivos, se obtuvo de consultas en sitios web de Internet el 5 de agosto de 2023.

BIOINSECTICIDAS BOTÁNICOS

Los aceites esenciales se extraen por medio de hidrodestilación [31]. Los extractos vegetales crudos se extraen en solventes orgánicos como éter, cloroformo, metanol, entre otros, y los extractos acuosos se obtienen por maceración, fermentación, decocción e infusión [31], [32]. El extracto crudo de Neem es tóxico contra larvas de mosquitos *Aedes*, *Anopheles* y *Culex*, el psílido de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), *S. frugiperda* y *H. armigera* [33], [34], [35]. Los aceites esenciales de eucalipto, clavo, citronela, tomillo y ajo son repelentes de mosquitos *Culex*, y gorgojos de la harina *T. castaneum*, *T. molitor*, y del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky [36], [37], [38]. En la Tabla 3 se presentan algunos bioinsecticidas botánicos.



Tabla 3. Bioinsecticidas botánicos

Bioactivo y aplicación	Producto comercial	Empresa
Neem	Margosom® AZA-Direct R® AzeroTM® Azamax® Molt-X® Neemix 4.5® Azatin XL® NeemAzal T/S® Fortune Aza 3%EC® Shubhdeep NeemOil®	Agri Life (India) Gowan-Company (USA) MGK (USA) UPL Ltda. (Brazil) BioWorks Inc. (USA) Certis (USA) OHP Inc. (USA) Trifolio-M (Germany) Fortune Biotech (USA) King AgroFood (India)
Ajo	AjoNey® EcoA-Z® L'EcoMix® CapsiAlil®	I.H.N. (Mexico) EcofloraAgro (Colombia) Gowan (Colombia) Gowan (Colombia)
Naranja	Demize EC® Prev-Am®	Paragon Professional Pest Control Products (USA) Oro Agri SA Ltd. (South Africa)
Tomillo	EcoVia WD®	Rockwell Labs Ltd. (USA)
Nicotina	Nico Dust® Nico Neem® 10% Nicotine AS®	Nico Orgo Manures (India) Nico neem N-Guard (Mexico) Beijing Kingbo Biotech Ltd. (China)
Rotenona	5.% Rotenone ME® Rotenone Dust®	Beijing Kingbo Biotech Ltd. (China) Bonide Products Inc. (USA)
Oregano	By-O-reg+®	By-O-reg+ (USA)

Adaptado de Campos et al. (2019) [39].

PRODUCCIÓN DE BIOINSECTICIDAS

Aislamiento de microbios y extracción de metabolitos

La bacteria *B. thuringiensis* se aísla del suelo (1g/10 ml de NaCl al 0,85 %), mediante choque térmico (70-80 °C/10 min y después se enfría a 0°C/5-10 min), seguido de la germinación selectiva de esporas en medio nutritivo (peptona al 0,5 %, extracto de carne de vacuno al 0,3 %, NaCl al 0,5 % y agar al 1,5 %, pH 7,5) [40]. Los hongos *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Isaria* spp. y *Lecanicillium* spp., se aíslan mediante la siembra directa de esporas o diluciones de esporas en medios artificiales de Papa-Dextrosa-Agar (PDA) o Caldo Sabouraud Dextrosa (SDB), también se aíslan de partes del tejido de insectos infectados con el hongo, y de muestras de suelo y de tejidos de plantas mediante la técnica del insecto trampa [21]. Los baculovirus se aíslan de muestras de



suelo con la técnica del insecto trampa, para esto, los insectos se incuban en una mezcla de suelo y dieta artificial, después de su muerte se procesan para obtener los cuerpos de oclusión mediante fuerza centrífuga [40]. Los nematodos se aíslan mediante la técnica del embudo Baermann y trampa White [41].

Los metabolitos secundarios de las plantas se extraen mediante técnicas clásicas como hidrodestilación, extracción por Soxhlet, y maceración. No obstante, presentan algunos inconvenientes, ya que requieren de mayor tiempo de extracción y son susceptibles a la descomposición térmica de sus compuestos termolábiles [16]. Las técnicas avanzadas de extracción incluyen procesos de extracción asistida por ultrasonido (*Ultrasound-Assisted Extraction*, UAE), campos eléctricos pulsados (*Pulsed-Electric Field Extraction*, PEF), hidrólisis asistida por enzimas (*Enzyme-Assisted Extraction*, EAE), extracción asistida por microondas (*Microwave Assisted Extraction*, MAE), extracción de líquidos presurizados y extracción de fluidos supercríticos (*Pressurized Liquid Extraction* PLE y *Supercritical Fluid Extraction*, SFE) [13].

Multiplicación de ingredientes activos

Los procesos para la multiplicación de microbios o metabolitos secundarios se diseñan en función de la cinética de crecimiento del microorganismo o incremento y extracción del metabolito. Estos se realizan en procesos de cultivo cerrado o continuo. En el sistema cerrado el material coadyuvante y el ingrediente activo, se alimentan en la cantidad necesaria para producir un volumen determinado del producto. En sistemas de producción continua, los materiales se programan en cantidades específicas para obtener diferentes volúmenes del producto [42]. El uso de biorreactores y fermentadores industriales de 150 a 6000 litros, incrementan de manera considerable el rendimiento y la calidad de la producción de los bioinsecticidas microbianos [43].

Formulación de bioinsecticidas

La formulación de los bioinsecticida requiere de acarreadores y coadyuvantes, para mejorar su persistencia y su efectividad en el campo. En el ámbito comercial, se venden en formulaciones líquidas y en polvos humectables (Tabla 1 y 2) [44]. El uso de biopolímeros y materiales

inorgánicos son considerados buenos acarreadores de los bioinsecticidas. Los polisacáridos a base de gomas, almidones, extractos de algas y plantas, alginatos, gelatina, caseína de origen proteico, así como polímeros sintéticos, a base de polivinil, polivinilpirrolidona, poliacrilatos que actúan como agentes de soporte o de recubrimiento, son ampliamente utilizados para mejorar su efecto bioinsecticida [22], [23].

Los avances en nanotecnología están promoviendo el uso eficaz y sostenible de nuevas formulaciones en nanoemulsiones (tamaño de gota de 1-100 nm), nanoencapsulaciones (tamaño de nanocapsulas de 10-100 nm) e hidrogeles [45]. Las formulaciones con nanopartículas tienen potencial para superar las limitaciones de las formulaciones tradicionales, con el objetivo de mejorar su persistencia en campo, la cual es limitada debido a temperaturas extremas y baja humedad relativa [45]. Se ha evaluado la colonización y supervivencia de *Bacillus subtilis* Vru1 nanoencapsulado con alginato de sodio, almidón y bentonita para controlar el hongo *Rhizoctonia solani*, en frijol *Phaseolus vulgaris* L. [46]. También se ha probado la efectividad insecticida y repelencia de aceite de naranja *C. sinensis* contra los gorgojos de granos almacenados *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) y *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Cucujidae) [47]. Así mismo, se ha evaluado la vida de anaquel de conidios de *B. bassiana* formuladas en un hidrogel a base de celulosa (2-hidroxietileno) [48].

CONCLUSIONES

Los bioinsecticidas con efecto insecticida e insectistático, no presentan amenazas para las plantas, la salud humana y el medio ambiente. Los estudios para su producción y comercialización continúan su desarrollo mediante nuevos aislados de cepas y metabolitos con potencial para el control biológico de insectos, así como nuevas fuentes de nutrientes y mejora de las variables de crecimiento para su multiplicación a escala industrial. Los nuevos materiales para su formulación buscan facilitar su aplicación e incrementar su persistencia en campo, con el objetivo de mejorar la calidad de los productos agrícolas y reducir el uso de plaguicidas sintéticos. Se recomienda mejorar el desarrollo de los bioinsecticidas, mediante la investigación de nuevas cepas de microbios y extractos botánicos con potencial insecticida e insectistático para el control de plagas





en cultivos de importancia económica con el objetivo de promover prácticas agrícolas sostenibles en el campo mexicano.

RECONOCIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca otorgada para estudio de Estancias posdoctorales por México 2022 (3) en la modalidad Académica a la Doctora Lucía Araceli Manzanarez Jiménez, con el proyecto “Desarrollo de nuevos bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos para el control de plagas en tomate y chile en Sinaloa”. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional.

Referencias

- [1] FAO. *World Food and Agriculture Statistical Yearbook 2021*, 1 ed., vol. 1, Food and Agriculture Organization, Rome, 2021, p. 368. DOI: [10.4060/cb4477](https://doi.org/10.4060/cb4477)
- [2] FAO, “FAOSTAT Database Collection of the Food and Agriculture Organization of the United Nations,” Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>
- [3] F. Tang, M. Lenzen, A. McBratney y F. Maggi, “Risk of pesticide pollution at the global scale,” *Nature geoscience*, vol. 14, pp. 206-210, 2021. DOI: [10.1038/s41561-021-00712-5](https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5)
- [4] W. Boedeker, M. Watts, P. Clausing y E. Marquez, “The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review,” *BMC Public Health*, vol. 20, nº 1875, pp. 1-19, 2020. DOI: [10.1186/s12889-020-09939-0](https://doi.org/10.1186/s12889-020-09939-0)
- [5] Entomological Society of America. “The not-so-hidden dangers of invasive species, ESA position statement on invasive species,”. *Ann Entomol Soc Am* 2018, vol. 111, pp. 79–80. 2018. DOI: [10.1093/aesa/sax069](https://doi.org/10.1093/aesa/sax069)
- [6] P. G. Marrone, “Pesticidal natural products – status and future potential,” *Pest management science*, vol. 75, nº 9, p. 2325–2340, 2019. DOI: [10.1002/ps.5433](https://doi.org/10.1002/ps.5433)
- [7] F. Simmonds, J. Franz y R. Sailer, “History of biological control,” de *Theory and practice of biological control*, Academic Press, N.Y., 1976, p. 788. DOI: [10.1016/B978-0-12-360350-0.X5001-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-360350-0.X5001-6)
- [8] M. Butu, S. Rodino y A. Butu, “Biopesticide formulations - current challenges and future perspectives,” de *Biopesticide-Advances in Bio-inoculant Science*, vol. 2, A. Rakshit, V. Meena, P. Abhilash, B. Sarma, H. Singh, L. Fraceto, M. Parihar y A. AnanSingh, Edits., Woodhead Publishing, 2022, pp. 19-29. DOI: [10.1016/B978-0-12-823355-9.00010-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00010-9)



- [9] P. Ngegba, G. Cui, M. Khalid y G. Zhong, "Use of botanical pesticides in agriculture as an Aalternative to synthetic pesticides," *Agriculture*, vol. 12, nº 5, pp. 1-24, 2022. DOI: [10.3390/agriculture12050600](https://doi.org/10.3390/agriculture12050600)
- [10] L. G. D. Lacey, D. Shapiro-Ilan, R. Frutos, M. Brownbridge y M. Goettel, "Insect pathogens as biological control agents: back to the future," *Journal of Invertebrate Pathology*, vol. 132, pp. 1-41, 2015. DOI: [10.1016/j.jip.2015.07.009](https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009)
- [11] D. Shapiro-Ilan, R. Han y X. Qiu, "Production of entomopathogenic nematodes," de *Mass production of beneficial organisms: Invertebrates and entomopathogens*. Second edition, J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas y D. Shapiro-Ilan, Edits., San Diego, California, Academic Press, 2023, pp. 321-355. DOI: [10.1016/B978-0-12-822106-8.00005-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00005-1)
- [12] R. Harrinson y K. Hoover, "Baculoviruses and other occluded insect viruses," de *Insect pathology*. 2da edición., F. Vega y H. Kaya, Edits., London, Academic Press, 2012, pp. 73-131. DOI: [10.1016/B978-0-12-384984-7.00004-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384984-7.00004-X)
- [13] P. Gupta, S. Gupta y V. Pruthi, "Techniques for detection and extraction of metabolites," de *Engineering of microbial biosynthetic phathways*, 1ra edición., V. Singh, A. Singh, P. Bhargava, M. Joshi y C. Joshi, Edits., Singapure, Springer Nature Singapor, 2020, pp. 33-53. DOI: [10.1007/978-981-15-2604-6_3](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2604-6_3)
- [14] A. Jiménez, C. Villarreal, R. Toscano, M. Cook, J. Arnason, R. Bye y R. Mata, "Limonoids from *Swietenia humilis* and *Guarea grandifora* (Meliaceae) taken in part from the PhD and MS theses C. Villarreal and M. A. Jiménez, respectively," *Phytochemistry*, vol. 49, nº 7, pp. 1981-1988, 1988. DOI: [10.1016/S0031-9422\(98\)00364-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00364-1)
- [15] R. Fowles, B. Mootoo, R. Ramsewak, A. Khan, A. Ramsubhag, W. Reynolds y M. Nair, "Identification of new limonoids from *Swietenia* and their biological activity against insects," *Pest management science*, vol. 66, nº 12, p. 1298–1303, 2010. DOI: [10.1002/ps.2013](https://doi.org/10.1002/ps.2013)
- [16] L. Olofintoye, I. A. Simon-Oke y O. Omoregie, "Larvicidal properties of *Datura Stramonium* (Jimson Weed) and *Nicotiana tabaccum* (Tobacco) extracts against the larvae of (*Anopheles* and *Culex*) mosquitoes," *An International Multi-Disciplinary Journal, Ethiopia*, vol. 5, nº 2, pp. 337-344, 2011. DOI: [10.4314/afrev.v5i2.67331](https://doi.org/10.4314/afrev.v5i2.67331)
- [17] N. Sogan, N. Kapoor, H. Singh, S. Kala, A. Nayak y B. N. Nagpal, "Larvicidal activity of *Ricinus communis* extract against mosquitoes," *Journal of vector borne diseases*, vol. 55, nº 4, pp. 282-290, 2018. DOI: [10.4103/0972-9062.256563](https://doi.org/10.4103/0972-9062.256563)
- [18] R. Sabbahi, V. Hock, K. Azzaoui, S. Saoiabi y B. Hammouti, "A global perspective of entomopathogens as microbial biocontrol agents of insect pests," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 10, pp. 1-15, 2022. DOI: [10.1016/j.jafr.2022.100376](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100376)
- [19] J. Ibarra y Y. Reinoso-Pozo, "Biología y uso de *Bacillus thuringiensis* como agente de control biológico de plagas," de *Fundamento y práctica del Control Biológico de plagas y enfermedades*, 1ra edición., J. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía y L. Rodríguez-del Bosque, Edits., Montecillo, Texcoco, Estado de México, Editorial del Colegio de Postgraduados, 2020, pp. 311-330.
- [20] L.A. Manzanarez-Jiménez y C. García-Gutiérrez, "Producción de esporas de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* por cultivo bifásico y su patogenicidad contra *Heliothis virescens* F," de Libro



- de Memorias *4to Congreso nacional de investigación interdisciplinaria*, 1ra ed., vol. 1, UPIICSA, Ed., Ciudad de México, Ecoe Ediciones México, 2020, pp. 123-126.
- [21] R. Alatorre y M. Tamayo, "Protozoarios-microsporidia y hongos entomopatógenos," de *Fundamento y práctica del Control Biológico de plagas y enfermedades*, 1ra edición., J. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía y L. Rodríguez-del Bosque, Edits., Montecillo, Texcoco, Estado de México, Editorial del Colegio de Postgraduados, 2020, pp. 187-238.
- [22] L.A. Manzanarez-Jiménez, N. Rosas-García, A. Luna-González, C. Escobedo-Bonilla y C. García-Gutiérrez, "Evaluación de formulaciones en aceites de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* contra *Chloridea virescens* F," *Southwestern Entomologist*, vol. 46, nº 2, pp. 503-510, 2021. DOI: [10.3958/059.046.0219](https://doi.org/10.3958/059.046.0219)
- [23] L.A. Manzanarez-Jiménez, C. García-Gutiérrez, N. Rosas-García, A. Luna-González y M. Ortega-Avilés, "Formulaciones microencapsuladas de *Metarhizium anisopliae* contra el gusano tabacalero," *Southwestern Entomologist*, vol. 47, nº 4, pp. 895-902, 2022. DOI: [10.3958/059.047.0413](https://doi.org/10.3958/059.047.0413)
- [24] F. Moscardi, M. de Souza, M. de Castro, M. Lara Moscardi y B. Szewczyk, "Baculovirus pesticides: Present state and future perspectives," de *Microbes and Microbial Technology*, Springer, New York, NY, 2011, pp. 415-445. DOI: 10.1007/978-1-4419-7931-5_16
- [25] R. Reardon, J. Podgwaite y R. Zerillo, *Gypcheck: Bioinsecticide for Gypsy moth control in forested ecosystems and urban communities*, 2nd ed., R. Reardon, J. Podgwaite y R. Zerillo, Edits., Morgantown, WV: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, 2012, p. 59.
- [26] C. Del Rincón, N. Rangel y S. Zanella, "Virus entomopatógenos," de *Fundamento y práctica del Control Biológico de plagas y enfermedades*, 1ra edición., J. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía y L. Rodríguez-del Bosque, Edits., Montecillo, Texcoco, Estado de México, Editorial del Colegio de Postgraduados, 2020, pp. 251-270.
- [27] D. Shapiro-Ilan y R. Gaugler, "Production technology for entomopathogenic nematodes and their bacterial symbionts," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, nº 3, pp. 137-146, 2002. DOI: [10.1038/sj.jim.7000230](https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000230)
- [28] R. Alatorre-Rosas, "Nematodos entomopatógenos," de *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades*, 1ra edición., H. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía y L. Rodríguez-del Bosque, Edits., Montecillo, Texcoco, Estado de México, Editorial del Colegio de Postgraduados, 2020, pp. 271-310.
- [29] I. Brown, R. Gaugler y D. Shapiro-Ilan, "LOTEK- An improved method for in vivo production of entomopathogenic nematodes," *International Journal of Nematology*, vol. 14, nº 1, pp. 9-12, 2004.
- [30] R. U. Ehlers y D. I. Shapiro-Ilan, "Mass production," de *Nematodes as biocontrol agents*, P. Grewal, R. Ehlers y D. Shapiro-Ilan, Edits., Ohio, United States, CABI Digital library, 2005, pp. 48-65. DOI: [10.1079/9780851990170.0065](https://doi.org/10.1079/9780851990170.0065)
- [31] W. Hikal, R. Baeshen, A.H y S. Ahl, "Botanical insecticides as simple extractives for pest control," *Cogent Biology*, vol. 3, nº 1, pp. 1-16, 2017. DOI: [10.1080/23312025.2017.1404274](https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274)



- [32] C. Regnault-Roger, C. Vincent y J. T. Arnason, "Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world," *Annual review of entomology*, vol. 57, pp. 405-425, 2012. DOI: [10.1146/annurev-ento-120710-100554](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554)
- [33] V. K. Dua, A. Pandey, K. Raghavendra, A. Gupta, T. Sharma y A. P. Dash, "Larvicidal activity of neem oil (*Azadirachta indica*) formulation against mosquitoes," *Malaria Journal*, vol. 124, nº 8, pp. 1-6, 2009. DOI: [10.1186/1475-2875-8-124](https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-124)
- [34] S. Santos, Z. Zanardi, S. Pauli, R. Forim, T. P. Yamamoto y D. Vendramim, "Toxicity of an azadirachtin-based biopesticide on *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) and its ectoparasitoid *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae)," *Crop protection*, vol. 74, pp. 116-123, 2015. DOI: [10.1016/j.cropro.2015.04.015](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.04.015)
- [35] S. Bhushan, R. Singh y R. Shanker, "Bioefficacy of neem and Bt against pod borer, *Helicoverpa armigera* in chickpea," *Journal of Biopesticides*, vol. 4, nº 1, pp. 87-89, 2011. DOI: [10.57182/jbiopestic.4.1.87-89](https://doi.org/10.57182/jbiopestic.4.1.87-89)
- [36] G. M. Prowse, T. S. Galloway y A. Foggo, "Insecticidal activity of garlic juice in two dipteran pests," *Agricultural and Forest Entomology*, vol. 8, nº 1, pp. 1-6, 2006. DOI: [10.1111/j.1461-9555.2006.00273.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2006.00273.x)
- [37] S. Mahanta, B. Khanikor y R. Sarma, "*Allium sativum* (Liliales: Asparagales) essential oil - based combinations – a potential larvicide for *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae)," *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 40, pp. 837-844, 2020. DOI: [10.1007/s42690-020-00139-2](https://doi.org/10.1007/s42690-020-00139-2)
- [38] M. Munyore y N. B. Rioba, "Evaluation of garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) extracts for the management of Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on baby corn (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions," *Science Heritage Journal*, vol. 4, nº 2, pp. 64-69, 2020. DOI: [10.26480/gws.02.2020.64.69](https://doi.org/10.26480/gws.02.2020.64.69)
- [39] E. Campos, P. Proença, J. Oliveira, M. Bakshi, P. Abhilash y L. Fraceto, "Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives," *Ecological Indicators*, vol. 105, pp. 483-495, 2019. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.04.038](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038)
- [40] M. Santana, C. Moccia-V y A. Gillis, "*Bacillus thuringiensis* improved isolation methodology from soil samples," *Journal of Microbiological Methods*, vol. 75, nº 2, p. 357–358, 2008. DOI: [10.1016/j.mimet.2008.06.008](https://doi.org/10.1016/j.mimet.2008.06.008)
- [41] G. White, "A method for obtaining infective nematode larvae from cultures," *Science*, vol. 30, nº 66 (1709), pp. 302-303, 1927. DOI: [10.1126/science.66.1709.302.b](https://doi.org/10.1126/science.66.1709.302.b)
- [42] 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, 2019. <https://www.remai.ipn.mx/index.php/REMAI/article/view/56>
- [43] W. Ravensberg, "Mass production and product development of a microbial pest control agent," de *A roadmap to the successful development and commercialization of microbial pest control products for control of arthropods*, W. Ravensberg, Ed., Springer, Dordrecht, pp 59–127, 2011. DOI:10.1007/978-94-007-0437-4_3



- [44] K. Jones y H. Burges, "Technology of formulation and application," de *Formulation of microbial pesticides*, 1 ed., Springer Dordrecht, 2012, pp. 7-30. DOI: 10.1007/978-94-011-4926-6_2
- [45] N. Vassilev, M. Vassileva, V. Martos, L. Garcia Del Moral, J. Kowalska, B. Tylkowski y E. Malusá, "Formulation of microbial inoculants by encapsulation in natural polysaccharides: focus on beneficial properties of carrier additives and derivatives," *Frontiers in plant science*, vol. 11, nº 270, pp. 1-9, 2020. DOI: [https:// 10.3389/fpls.2020.00270](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00270)
- [46] R. Saberi-Rise y M. Moradi-Pour, "The effect of *Bacillus subtilis* Vru1 encapsulated in alginate-bentonite coating enriched with titanium nanoparticles against *Rhizoctonia solani* on bean," *International journal of biological macromolecules*, vol. 152, p. 1089–1097, 2020. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2019.10.197](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.197)
- [47] G. Giunti, D. Palermo, F. Laudani, G. C. O. Giuseppe M. Algeri y V. Palmeri, "Repellence and acute toxicity of a nano-emulsion of sweet orange essential oil toward two major stored grain insect pests," *Industrial Crops and Products*, vol. 142, pp. 1-8, 2019. DOI: [10.1016/j.indcrop.2019.111869](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111869)
- [48] M. Friuli, P. Nitti, C. Aneke, C. Demitri, C. Cafarchia y D. Otranto, "Freeze-drying of *Beauveria bassiana* suspended in Hydroxyethyl cellulose based hydrogel as possible method for storage: Evaluation of survival, growth and stability of conidial," *Results in Engineering*, vol. 12, pp. 1-3, 2021. DOI: [10.1016/j.rineng.2021.100283](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100283)

Cómo citar este artículo:

Manzanarez Jiménez, L. A., García Gutiérrez, C., & Flores Zamora, G. L. (2025). Bioinsecticidas para el control de plagas agrícolas. *EPISTEMUS*, 19(38), e3810356. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i38.356>.