

Capítulo 16

Comercialización de
agentes de control biológico

Chapter 16

Commercialization of
biological control agents

Martha Isabel Gómez,¹ Andrea Alarcón,¹ Marcela León,¹
Cam Oehlschlager,² Leonardo Solórzano¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

² ChemTica Internacional

Contenido

Introducción766

Mercado de bioplaguicidas766

 Segmentación del mercado por categoría767

 Segmentación del mercado por tipo de agente de control biológico768

 Segmentación por tipo de aplicación, formulación y cultivo769

 Segmentación por región770

 Empresas líderes en el mercado de bioplaguicidas773

Dinámica del mercado de agentes de biocontrol777

 Factores críticos que se deberían tener en cuenta para
 generar un nuevo producto de biocontrol para el mercado777

 Fortalezas y debilidades de los productos de biocontrol778

 Tendencias en el mercado de alimentos que favorecen
 el uso y venta de los agentes de control biológico779

 Jalonadores del mercado780

 Barreras del mercado781

 Factores críticos en el proceso de comercialización
 de agentes de control biológico783

 Modelos de negocios en la industria del biocontrol784

Ejemplos de experiencias en el mercado del biocontrol784

 Brasil: Laboratorio Farroupilha Lallemand784

 Costa Rica: Uso de trampas de feromonas
 para el control de gorgojos de la palma785

 Colombia: AGROSAVIA786

Perspectivas de la industria del biocontrol786

Conclusiones790

Referencias791

Resumen

En general, los bioplaguicidas solo representan un 5 % del mercado mundial de los productos fitosanitarios. Sin embargo, la industria del biocontrol está creciendo entre un 8 % y un 12 % anual, y se espera que el crecimiento para el 2020 sea entre el 15 % y el 20 %, es decir, una de las mayores perspectivas de crecimiento entre todos los subsectores de los agronegocios. Este panorama ha hecho que en los últimos cinco años haya crecido ampliamente el modelo de las grandes multinacionales que proyectan el tema de los bioplaguicidas como una nueva oportunidad para obtener beneficios, estableciendo nuevas unidades de negocio, ya sea realizando acuerdos comerciales o comprando medianas o grandes empresas con éxito en el biocontrol.

El crecimiento del mercado de los bioplaguicidas será impulsado por el uso de agentes de biocontrol en programas de manejo integrado de plagas (MIP) en combinación con productos químicos, por su uso en cultivos de gran extensión y alto valor económico, por el desarrollo de productos innovadores (nuevas formulaciones más estables y con varios usos, uso de herramientas moleculares, nuevos principios activos, etc.) y por presiones regulatorias y cambios en las políticas que piensan en la seguridad del medio ambiente. Lamentablemente, las propiedades favorables de los productos de control biológico, como la seguridad para el ser humano, la carencia de residualidad, la seguridad con el medio ambiente, etc., son difíciles de explotar en un precio de venta. La competencia se basa principalmente en factores tradicionales como la eficacia y costos.

Palabras clave

Biocontrol, bioplaguicidas, mercado, segmentos

Abstract

In general, biopesticides represents only 5 % of the world market for plant protection products. However, the biocontrol industry is growing by between 8 % and 12 % per year and its growth is expected to be between 15 % and 20 % by 2020, one of the largest growth prospects among all the sub-sectors of agribusiness. This scenario has made that large multinational companies projected the topic of biopesticides a new opportunity to obtain profits by establish in a new business unit, either by making commercial agreements or by buying successful biocontrol companies.

The growth of the biopesticides market will be driven by the use of biocontrol agents in Integrated Pest Management Programs (IPM) in combination with chemicals for their use in great extension crops with high economic value, by the development of new innovative products (more stable and multi-use formulations, new active principles, etc.) and by changes in the regulatory and policies that focus on environmental safety. Unfortunately, the favorable properties of biological control products such as safety for humans, lack of residuality, safety with the environment, etc., are difficult to exploit in a sale price. Competition is based primarily on traditional factors such as efficacy and costs.

Keywords

Biocontrol, biopesticides, market, segments

Introducción

Para la protección de diferentes cultivos, los bioplaguicidas se han venido desarrollando y usando durante más de cien años; sin embargo, muchos de estos productos biológicos no han tenido éxito en el mercado. El desarrollo de la industria de los bioplaguicidas tiene que ser tratado como una tarea estratégica, global y orientada hacia el futuro. Los bioplaguicidas no pueden reemplazar por completo los insecticidas químicos, pero en una producción agrícola sí pueden coexistir. Por lo tanto, debemos acelerar la aplicación de los resultados de la investigación y promover su desarrollo en el ámbito industrial, teniendo en cuenta que la comercialización es el paso final y más difícil en el desarrollo y en la introducción al mercado del biocontrol (Leng, Zhang, Pan, & Zhao, 2011).

El desarrollo y comercialización de bioplaguicidas ha atraído a muchas empresas durante los últimos 20 años. Muchos productos han llegado al mercado, pero la mayoría de ellos no han sido realmente exitosos. Muchas empresas han fracasado y han dejado este negocio. En general, el segmento del biocontrol a nivel mundial está asociado con aproximadamente 50 empresas que controlan el 60 % del mercado (Olson, 2015). Se puede considerar que una empresa tiene éxito cuando la producción y la venta de un bioplaguicida proporcionan un negocio sostenible, creciente y rentable que es capaz de desarrollar nuevos mercados y nuevos productos.

La demanda por agentes de biocontrol será impulsada por su uso en programas de manejo integrado de plagas (MIP) en combinación con productos químicos, en cultivos de gran extensión y alto valor económico, y por las mejoras tecnológicas constantes y nuevos avances que se den para estos productos. Por otra parte, las tendencias medioambientales apoyan la teoría de que la demanda de nuevos productos para la protección de cultivos crecerá rápidamente para reemplazar algunos agroquímicos convencionales y, por lo tanto, los agentes de biocontrol ofrecen una variedad de oportunidades para el desarrollo de estos nuevos mercados (Van Lenteren, Bolckmans, Köhl, Ravensberg, & Urbaneja, 2017). Por tal razón, en los últimos años muchos

grupos de investigación de la academia y de la industria han enfocado sus esfuerzos en la mejora de todo tipo de características biológicas y técnicas de los agentes de biocontrol, para el desarrollo de mejores productos. No obstante, hay muchos factores que influyen en la adopción final de los bioplaguicidas en el mercado y su éxito se basa en su eficacia, estabilidad, facilidad de uso, demostración de la rentabilidad sobre la inversión para los usuarios finales y costos de producción (Ravensberg, 2011).

Mercado de bioplaguicidas

Los bioplaguicidas actualmente son utilizados en más de 30 millones de hectáreas en el mundo. En general, se utilizan aproximadamente 350 especies de agentes de control biológico, representadas en más de 500 productos comerciales a nivel global. Europa controla el mercado de insectos benéficos y EE. UU., el de productos microbianos. Sin embargo, aunque los bioplaguicidas solo representan un 5 % del mercado mundial de los productos fitosanitarios (Olson, 2015), la industria del biocontrol está creciendo entre un 8 y un 12 % anual, y se espera que el crecimiento para el 2020 sea entre el 15 % y el 20 %, lo que representará un mercado de US\$6,6 billones, y para el 2025 de US\$7 billones (Dunham y Dunham, 2015; Olson, 2015; Ravensberg, 2015).

Se espera que para el 2018 se presente un alto crecimiento del mercado de bioplaguicidas en Europa, llegando a sobrepasar el mercado de Norteamérica, región que actualmente consume cerca del 40 % de la producción mundial de bioplaguicidas, con un mercado de alrededor de US\$205 millones, y se espera que aumente aproximadamente a US\$300 millones a finales de la década. En América Latina, el mercado de bioplaguicidas representa un 17 % del mercado mundial y el aumento de las ventas está asociada al creciente aumento del biocontrol en Brasil. Por otra parte, se espera que el mercado asiático presente un gran

crecimiento, por las megaeconomías de China e India (Leng et al., 2011). Se espera que la demanda mundial de bioplaguicidas microbianos crezca a una tasa anual compuesta de 20,2 % para el 2020. Entre las décadas de 2040 y 2050, según algunas proyecciones teóricas, los bioplaguicidas podrían igualar a los productos de síntesis química en términos de tamaño de mercado, debido principalmente al crecimiento de este en África y Asia (Olson, 2015).

Segmentación del mercado por categoría

El mercado de bioplaguicidas se puede segmentar, dependiendo del uso del agente de biocontrol utilizado, en bioinsecticidas, biofungicidas, bionematicidas y bioherbicidas. El mercado mundial de bioplaguicidas se estimó entre US\$1.700 millones y US\$3.000 millones para el 2015, principalmente por el uso de insectos benéficos y productos microbianos (Van Lenteren et al., 2017).

Los bioinsecticidas incluyen bacterias, virus y hongos para el control de insectos, y dominan el mercado con una participación aproximada del 50 % (Dunham & Dunham, 2015). *Bacillus thuringiensis* (Bt) es el bioinsecticida más ampliamente usado a nivel mundial. En Estados Unidos se encuentran varios productos registrados a base de este microorganismo como Florbac, BMP, Gnatrol, Aquabac, M-Trak, Agree wg, Thuricide, Forestry, Wilbur-Ellis BT 320, Dust, Dipel, Deliver, Biobit HP, Foray, Javelin wg, Green Light, Hi-Yield Worm Spray, Ferti-Lome, Bonide, Britz BT, Worm Whipper, Security Dipel Dust, BMP 123, Condor, Novodor, Lepinox wdg, entre otros (Mishra, Tewari, Singh, & Kumar, 2015). En Colombia, se encuentran registrados 20 bioplaguicidas, entre los que se encuentran Dipel wg, Turilav, Ecotech Bio wp, Ecotech Pro, Turivec, Bassar wp, Bak-Tur wp, BT-Nova wp, Safer Mix wp y BT-Biox (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017b).

Los biofungicidas son formulaciones de organismos vivos que se utilizan para controlar la actividad de los hongos patógenos de las plantas y tienen una participación en el mercado de bioplaguicidas del 40 % aproximadamente (Dunham & Dunham, 2015).

Los microorganismos biocontroladores son hongos o bacterias de vida libre, activos en raíces, suelos y ambientes foliares. Estos microorganismos producen una amplia gama de sustancias antibióticas, además de que parasitan o compiten con otros hongos (Dicklow, 2017). Por lo general, se supone que los biofungicidas son más preventivos que curativos, por lo que se aplican a los cultivos antes del ataque de los patógenos. *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp. son los biofungicidas más empleados a nivel mundial (Mishra et al., 2015).

Trichoderma spp. se comercializa a nivel mundial con productos como Tenet, Bioten, Remedier, Binab, RootShield, T-22 Planter box, Trichodex y Binab T. Para el caso de *Bacillus* spp., los productos más conocidos en el mercado de Estados Unidos son EcoGuard, BacJ, GB34, Sonata, Ballad Plus, Companion, Kodiak, Histick N/T Pro-Mix y Taegro, mientras que para la bacteria *Pseudomonas* spp. se comercializan Spot-Less, At-Eze, Bio-Save 10LP y Bio-Save 11LP (Mishra et al., 2015). En Colombia, se encuentran registrados, a junio de 2017, 33 productos a base del hongo *Trichoderma* spp., 28 productos a base de la bacteria *Bacillus* spp. y no hay productos registrados a base del género *Pseudomonas* spp. (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017b).

Los herbicidas biológicos actúan para el control de las malezas y, según Dunham y Dunham (2015), corresponden al 1 % del mercado global. Actualmente, hay muy pocos productos comerciales disponibles en el mercado; sin embargo, los herbicidas a base de *Alternaria* spp. son los más empleados a nivel mundial (Mishra et al., 2015).

En el mercado de bioherbicidas en Estados Unidos, se encuentran productos a base de *Bacillus cereus* (MepPlus), *Alternaria destruens* (Smolder), *Chondrostereum purpureum* (Chontrol Paste), *Colletotrichum gloeosporioides* (LockDown) y *Puccinia thlaspeos* (Woad Warrior) (Mishra et al., 2015). En Colombia, no existe ningún producto registrado como bioherbicida hasta el momento.

Por otra parte, los bionematicidas son productos biológicos utilizados para controlar nematodos parásitos de las plantas. En ellos se incluyen hongos y bacterias con la capacidad de parasitar o matar a los nematodos (Instituto para la Innovación Tecnológica en

Agricultura [Intagri], 2017) y tienen una participación en el mercado del 4 % (Dunham & Dunham, 2015). Dentro de los microorganismos con mayor potencial de control sobre nematodos se destacan las bacterias *Tsukamurella paurometabola* y *Pasteuria penetrans*, y los hongos *Paecilomyces lilacinus*, *Pochonia chlamydosporia* y *Arthrobotrys irregularis*, siendo los hongos los más promisorios en el control de nematodos (Novasys Pharma, 2017). Este grupo diverso de hongos se caracteriza por colonizar y parasitar a nemátodos; algunos de ellos son parásitos obligados, pero la mayoría son saprófitos facultativos, es decir, cuando no hay nematodos pueden alimentarse de materia orgánica en descomposición (Intagri, 2017). El potencial de *Pasteuria penetrans* se debe principalmente a que su multiplicación se produce dentro del pseudoceloma de los nematodos infectados, ocasionando pérdida de la fecundidad. Cuando el nematodo se descompone, las esporas de la bacteria son liberadas y permanecen en el suelo, quedando disponibles para infestar un nuevo nematodo. El género *Bacillus* también tiene propiedades nematicidas, ya que sus toxinas afectan la morfología de los huevos; los nematodos juveniles, como el *Bacillus firmus*, tienen la capacidad de colonizar *Meloidogyne* spp. y destruir sus huevos (Novasys Pharma, 2017).

En el mercado de bionematicidas en Estados Unidos, se encuentran productos como BioNem, a base de *Bacillus firmus*; Econem, a base de *Pasteuria usage*; DiTera, a base de *Myrothecium verrucaria*, y MeloCon wg, a base de *Paecilomyces lilacinus*. Por otra parte, en el mercado europeo se encuentran productos como BioAct wg, a base de *P. lilacinus* (Mishra et al., 2015), mientras que en el mercado colombiano se encuentran nueve bionematicidas registrados (Micosplag Wp, Biostat Wp, Nemocrop Wp, Safelomyce S Wp, Nemata Sc, Nemaroot, Huesped Sc Mycros, Safersoil Wp y Nemagrip Wp) (ICA, 2017b).

Segmentación del mercado por tipo de agente de control biológico

En varios estudios de mercado de bioplaguicidas, estos se suelen segmentar por su origen en tres categorías: los bioplaguicidas microbianos, los bioplaguicidas bio-

químicos y los insectos benéficos. Los productos microbianos son fabricados a base de virus, bacterias u hongos vivos o muertos, o la combinación de estos con sus metabolitos. Los productos bioquímicos usan sustancias no tóxicas como feromonas y extractos de plantas. Por otra parte, los insectos benéficos corresponden a parasitoides, depredadores o parásitos (Mishra et al., 2015). La categoría de microbianos dominó el mercado en el 2015, con una participación de US\$1,3 billones (Dunham & Dunham, 2015); en segundo lugar, se encuentran los productos bioquímicos con US\$930,5 millones; en tercer lugar, están los insectos benéficos con un mercado de US\$382,1 millones (Markets and Markets, 2017).

Bioplaguicidas microbianos

Los productos microbianos normalmente son divididos en cinco subcategorías:

- **Bacterias.** Son los microbianos más utilizados y dominan cerca del 74 % del mercado de bioplaguicidas (Mishra et al., 2015). La bacteria más comúnmente usada para el desarrollo de productos es *Bacillus thuringiensis*, aunque existe otra bacteria con capacidad insecticida utilizada: *Bacillus sphaericus*. Para el tratamiento de enfermedades fúngicas, se han utilizado ampliamente bacterias como *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas* spp. y *Streptomyces* spp. (Sundari, Singh, & Yadava, 2016).
- **Hongos.** Son utilizados tanto para el control de insectos plagas y de enfermedades y representan aproximadamente el 10 % del mercado de bioplaguicidas (Mishra et al., 2015). El hongo más usado a nivel comercial es *Trichoderma* spp., que ha demostrado la capacidad de colonizar fácilmente las raíces de las plantas sin afectarlas, lo que lo hace un excelente agente de biocontrol. Por otro lado, *Beauveria bassiana* también se utiliza ampliamente como controlador de muchas especies de insectos plagas tales como áfidos, trips y moscas blancas, entre otros (Sundari et al., 2016).
- **Virus.** Los bioplaguicidas microbianos conocidos como baculovirus son una familia de virus específicos de insectos y tienen una participación del 5 % del mercado de bioplaguicidas (Mishra et al., 2015).

El granulovirus de la polilla de la manzana *Cydia pomonella* o CpGV es un buen ejemplo de un insecticida viral comercialmente exitoso (Sundari et al., 2016).

- **Protozoos.** Los protozoos son organismos eucariotas unicelulares que existen tanto en el agua como en el suelo, y varias especies son parásitos de insectos. Por ejemplo, el protozoo *Nosema locustae* es conocido por ser un agente de biocontrol natural de muchas especies de saltamontes, que causan grandes daños en forrajes (Biopesticide Industry Alliance [BPIA], 2014).
- **Levaduras.** Estos hongos unicelulares se usan especialmente para el control de patógenos en poscosecha. Por ejemplo, *Candida oleophila*, aislada por primera vez de las manzanas doradas, se ha convertido en un bioplaguicida eficaz para el control de las pudriciones frutales en poscosecha (Biopesticide Industry Alliance [BPIA], 2017). En Estados Unidos, se encuentra registrado el producto Nexy a base de este microorganismo (Mishra et al., 2015).

Bioplaguicidas bioquímicos

Dentro de los productos bioquímicos están las feromonas sexuales de insectos, que interfieren con el apareamiento, así como los extractos de plantas que atraen insectos (Plant Health Care [PHC], 2017; Sundari et al., 2016). Su mercado corresponde aproximadamente al 3 % del mercado global de bioplaguicidas (Mishra et al., 2015) y se espera que el mercado mundial de feromonas llegue a US\$2.450 millones para el 2020 (Grand View Research, 2017).

Norteamérica dominó el mercado mundial de feromonas en el 2013, con más del 50 % de participación, y se espera que continúe dominando a causa del desarrollo tecnológico y del aumento de los rendimientos agrícolas en Estados Unidos, Canadá y México. Por su parte, Europa representó más del 20 % del mercado total de feromonas en el 2013 (Grand View Research, 2017).

Las feromonas sexuales se usan ampliamente para la interrupción del apareamiento, reduciendo el número de larvas en las plantas y protegiendo los cultivos. Se

espera que las feromonas sexuales experimenten un crecimiento más rápido con una tasa de crecimiento anual compuesta del 5 % entre el 2014 y el 2020. Este crecimiento estará dado especialmente por la adopción extensiva de programas de MIP por parte de los agricultores, junto con las iniciativas gubernamentales (Grand View Research, 2017).

Las empresas clave participantes del mercado en producción de feromonas son Shin-Etsu Chemicals, Suterra LLC, Syngenta Bioline, Russell IPM, Sumi Agro France y Hercon Environmental, AgBiTech, Agrichembio, Agrochem, ATGC Biotech, Atlas Agro, SemiosBIO y Trécé Inc (Grand View Research, 2017).

Insectos benéficos

Dentro de los insectos benéficos se encuentran los parasitoides y los depredadores, cuyo alimento esencial son los insectos fitófagos. Los parasitoides se alimentan y desarrollan en el interior o exterior de un insecto durante todo su ciclo de vida; en cambio, los depredadores completan su ciclo de vida a partir de varios insectos (Rubio & Fereres, 2002).

Los insectos benéficos representan el 8 % del mercado de los agentes de control biológico (Mishra et al., 2015). En 2016, en términos de volumen, Norteamérica representó la mayor cuota de mercado de insectos benéficos, seguido por Europa y Asia-Pacífico. Los principales actores identificados en el mercado global de estos son Dudutech Ltd. (Kenia), Koppert BV (Holanda), BioBest NV (EE. UU.), Applied Bio-Nomics Ltd. (Canadá) y Bioline AgroSciences Ltd. (Reino Unido) (AgroNews, 2017).

Segmentación por tipo de aplicación, formulación y cultivo

El mercado de agentes de biocontrol se puede segmentar por el tipo de aplicación, teniendo en cuenta los productos de aplicación foliar, los productos de aplicación al suelo, los productos usados para poscosecha y los productos usados para el tratamiento de semillas. Las aplicaciones más comunes son las foliares y al

suelo: las primeras son muy usadas en control de insectos plaga y de enfermedades; las segundas, como una práctica común realizada antes de la siembra que favorece la germinación de la semilla, el uso eficiente de nutrientes, el mejor desarrollo de la planta, y el control preventivo de insectos plaga, enfermedades y malezas.

Por otra parte, los productos para peletizar semillas han tenido un alto desarrollo debido a su uso combinado con productos químicos, obteniendo sinergias muy importantes para el manejo de diversos problemas fitosanitarios, además de permitir un mejor resultado en las etapas de emergencia de semillas y desarrollo de plántulas (Himmel, 2013). La aplicación de bioplaguicidas en poscosecha es el mercado menos desarrollado e, inicialmente, está dirigido a la producción orgánica de frutas y hortalizas en la que se utilizan principalmente levaduras (Mishra et al., 2015). Para el 2013, su mercado se estimó en un valor de US\$35,9 millones, teniendo Europa una participación del 45 % (MicroMarket Monitor, 2015). Sin embargo, debido a las altas pérdidas en poscosecha, tanto en países desarrollados (5 % a 20%) como en países en vía de desarrollo (25 a 50%), se espera que este mercado aumente considerablemente en los próximos años (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

Por otra parte, teniendo en cuenta el tipo de formulación que se utiliza para estabilizar los agentes de biocontrol durante su distribución y almacenamiento, podemos dividir las formulaciones en sólidas y líquidas. Dentro de las formulaciones sólidas se encuentran los productos diseñados como polvo mojable, polvo para espolvoreo y de aplicación directa, y los granulados, representando aproximadamente el 40 % del mercado total de bioplaguicidas. Los usos de formulaciones líquidas representan el 60 % del mercado, y pueden ser acuosas u oleosas, e incluyen las suspensiones concentradas, las dispersiones oleosas, las emulsiones y las suspoemulsiones (Sundari et al., 2016).

Respecto a la segmentación de los bioplaguicidas por tipo de cultivos, se estima que el 55 % de las ventas actuales son para uso en cultivos hortícolas. No obstante, estas tecnologías se están utilizando cada vez más en cultivos de grandes extensiones como el maíz, la soya y los cultivos forrajeros (BPIA, 2014), que son de gran importancia en el consumo humano y en la producción pecuaria (Alexandratos

& Bruinsma, 2012). Por ejemplo, de acuerdo con el *Directory of Biopesticides for Agricultural Crops in OECD Countries*, en el 2013 para el cultivo de maíz se tenían 119 registros de productos biológicos, para el cultivo de algodón 69 y para soya 96, tres grandes cultivos representativos por su área a nivel mundial (Agriculture and Agri-Food Canada, 2013).

Segmentación por región

El mercado global de bioplaguicidas al 2015 fue liderado por Norteamérica con una participación del 38 %, seguido por Europa con una participación del 25 % y por Asia-Pacífico con el 20 %. Latinoamérica participó con un 17 %, y el 4 % restante del mercado estuvo distribuido en el resto del mundo (Dunham & Dunham, 2015; Leng et al., 2011; Olson, 2015).

Norteamérica

El mercado de bioplaguicidas en Norteamérica es liderado principalmente por tres países: Estados Unidos, Canadá y México (Mishra et al., 2015), y se estima un mercado de US\$1.658,1 millones para el 2019, con una tasa de crecimiento del mercado del 15 % (MicroMarket Monitor, 2017c).

Europa

El mercado de bioplaguicidas en Europa es liderado principalmente por cinco países: España, Italia, Francia, Alemania y Reino Unido (Mishra et al., 2015), y se estima un mercado de US\$2.117 millones para el 2020, con una tasa de crecimiento del mercado del 20,5 % (MicroMarket Monitor, 2017a).

Asia-Pacífico

El mercado de bioplaguicidas en la zona Asia-Pacífico es liderado principalmente por cuatro países: China, Japón, India y Australia (Mishra et al., 2015), y se estima un mercado de US\$827,3 millones para el

2019, con una tasa de crecimiento del 15 % de 2014 a 2019 (MicroMarket Monitor, 2017b).

Centroamérica y Suramérica

El mercado de bioplaguicidas en América Latina es liderado principalmente por dos países: Brasil y Argentina (Mishra et al., 2015), y se estima un mercado de US\$144,71 millones para el 2019 (Mordor Intelligence, 2017).

Brasil

Brasil es el mayor exportador mundial de productos a base de soya, productos forestales, carne, azúcar, café, naranja, tabaco y etanol. La agricultura brasileña genera un 28 % de su producto interno bruto (PIB) y es el quinto país agrícola mundial. Para el 2015, el mercado de agroquímicos cayó en un 21 %, debido a un mercado global estancado, moneda local debilitada y una crisis política y financiera a nivel local. No obstante, el mercado del biocontrol ha seguido creciendo a tasas superiores al 15 % anual. El mercado brasileño de biocontrol está conformado por 59 empresas que cuentan con 132 productos registrados, 91

bioproductos a base de bacterias, hongos y virus, y otros 41 a base de depredadores y parasitoides. Durante los últimos años, las tendencias globales de consolidación en el mercado de biocontrol con grandes empresas también llegaron a Brasil; en la tabla 16.1 se listan cronológicamente las empresas que realizaron adquisiciones, alianzas o fusiones con empresas brasileiras de control biológico (Trebilcock, 2016a).

Dentro de los principales agentes de control biológico registrados en Brasil se encuentran los parasitoides como *Cotesia* sp. y *Trichogramma* sp. para el control de *Diatraea saccharalis*; el hongo *Metarhizium anisopliae* se usa para el control del insecto *Mahanarva* sp. en caña de azúcar, y el hongo *Trichoderma* sp., para el control de *Sclerotinia* en Soya (Trebilcock, 2016a). Un dato importante, que fomentó el mercado del control biológico en Brasil, fue la invasión de *Helicoverpa armigera* en el 2012, que causó daños en los cultivos de maíz, algodón y soya. Como los insecticidas no fueron eficientes debido a la resistencia o porque simplemente no estaban disponibles, la emergencia hizo que se aprobara como único método de control el uso de productos a base de la bacteria *Bacillus thuringiensis* y de baculovirus (Pratissoli, Lima, Pirovani, & Lima, 2015).

Tabla 16.1. Adquisiciones, alianzas y fusiones de empresas externas en Brasil

Año	Adquisición
2010	Novozymes adquirió a Turfal
2012	Koppert Biological Systems adquirió a Itaforte Bioproductos Limitada
2013	Novozymes alianza global con Monsanto
2013	Bug Agentes Biológicos se fusionó con ProMip
2013	SGS adquirió a Gravena
2015	ProMip adquirió a Insecta Agentes Biológicos
2015	Uniao química adquirió a Bthek
2016	Lallemand adquirió a laboratorio Farroupilha
2016	Stoller adquirió a Rizoflora Biotechnology

Fuente: Adaptada de Trebilcock (2016a)

Cuba

Los bioproductos en Cuba surgieron para sustituir importaciones de insumos agrícolas, con el fin de suplir necesidades de nitrógeno y fósforo en el campo de los fertilizantes y el control de plagas y enfermedades a nivel fitosanitario.

Con la introducción masiva de los productos biológicos, se ha logrado reducir entre un 60 y 70 % el empleo de plaguicidas de síntesis. Los ingredientes activos de los bioplaguicidas desarrollados en Cuba son principalmente *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium*, *Lecanicillium*, *Trichoderma* y *Nomuraea*, entre otros (Trebilcock, 2016a).

Argentina

Argentina es el tercer mayor productor de soya del mundo. El cultivo de soya es un gran consumidor de nitrógeno, pues necesita cuatro veces más que los cereales, razón por la cual el uso de inoculantes es más importante que el uso de agentes de biocontrol. Hoy hay 108 empresas registradas en el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa), que ofrece un total de 640 productos inoculantes. El mercado es muy dinámico y ha habido fusiones y adquisiciones. La más reciente compra de una empresa, equivalente a un 60 % de Rizobacter, se hizo por parte de Bioceres en 2015. Rizobacter también tiene un *joint venture* con la empresa francesa DeSangosse para la producción de fertilizantes. En el 2014, Bayer Crop Science adquirió a Biogran (la tercera empresa más grande en Argentina). Además, BASF adquirió a Becker Underwood y abrió su planta de producción en Rosario. La Bio Ag Alliance (acuerdo entre Monsanto y Novozymes) también participa en el mercado a través de Nitragin, la mayor empresa de inoculantes de Argentina que es controlada por Novozymes (Trebilcock, 2016a).

México

El mercado mexicano de biocontrol se estima entre US\$120 y 150 millones, y su tasa de crecimiento anual se estima en al menos un 17 % anual. Los expertos indican que los biológicos representan entre un 10 y un 15 % del mercado nacional de productos fitosanitarios. El biocontrol se utiliza ampliamente

en invernadero, cultivos orgánicos y exportadores de hortalizas. Los dos microorganismos más ampliamente estudiados y comercializados son *Trichoderma* y *Bacillus*. Adicionalmente, entre 1890 y 1970, México aportó al mundo una serie de biocontroladores (23 parasitoides, 13 depredadores y 10 especies de insectos) que fueron exportados para controlar plagas en al menos 15 países. Las empresas Biobest y Koppert establecieron sus plantas de producción en México para producción de biocontroladores y polinizadores para cultivos de invernadero y al aire libre. Además, México es el tercer mayor productor de *Trichogramma* spp. en el mundo después de China y Rusia (Trebilcock, 2016a).

Chile

Chile es uno de los mayores exportadores de alimentos del hemisferio sur. En el 2015, las exportaciones de frutas, hortalizas frescas y procesadas, vino, salmón, carnes y otros productos agrícolas totalizaron US\$18.000 millones. En Chile existen 70 empresas que fabrican o comercializan productos biológicos, y que cuentan con 389 productos de los que 210 son importados. Un 50 % de las empresas son importadoras, 34 % son fabricantes y 16 % realizan ambas actividades. Los bioplaguicidas más importantes incluyen los extractos de cítricos, seguida de extractos de neem, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Beauveria bassiana* y *Metarhizium* spp., con un mercado estimado en cerca de US\$7,5 millones. La empresa BASF estableció una planta en Chile para la producción de extractos botánicos a partir del árbol del quillay, y está exportando nematicidas, adyuvantes y bioestimulantes (Trebilcock, 2016a).

Colombia

En Colombia hay una larga tradición respecto al uso de productos comerciales de biocontrol desde la década de los años setenta, con el uso de baculovirus importado desde EE. UU. para controlar *Trichoplusia ni* y *Heliothis* spp. en el cultivo de algodón, y más adelante, en la década de los años noventa, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) promovió la producción de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*), lo que estimuló el desarrollo del control

microbiano tanto por productores como por centros de investigación (Cotes, 2014). Sobre el valor del mercado actual de bioplaguicidas no se tiene información específica; sin embargo, se encuentra que para el 2012 se vendieron aproximadamente 590 toneladas de productos (entre sólidos y líquidos) (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012). Tomando estos datos, junto con los ingresos anuales de algunas compañías y de acuerdo con entrevistas hechas a diferentes empresas del sector, se estima que el mercado podría tener un valor aproximado de 2 a 5 millones de dólares por año.

Para conocer la evolución del sector de los bioplaguicidas, se plantea el análisis desde la perspectiva del número de registros de empresas de bioinsumos y el número de registros de venta de productos ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Es así como para el 2007 se tenían 42 empresas registradas y, en 10 años, esta cantidad se cuadruplicó; actualmente, para el 2017, se cuenta con 167 empresas (ICA, 2017a). A nivel de registros de venta de productos, se puede ver una evolución importante, pasando de ocho registros en la categoría de bioplaguicidas para el 2007 a 133 registros en esta misma categoría para el 2017, de los cuales el 68 % corresponde a productos microbianos, 19 % a extractos vegetales, 9 % a productos bioquímicos y 4 % a parasitoides y depredadores. Relacionando las empresas con los registros de venta de productos, se evidencia que 17 compañías cuentan con el 57 % de los registros de productos ante el ICA (ICA, 2017b).

El modelo usado normalmente por las empresas para la venta de sus productos es el uso de distribuidores nacionales o internacionales para las empresas interesadas en mercados del exterior. Revisando de manera específica los registros de venta de productos ante el ICA y relacionándolos con las principales empresas se obtiene la siguiente información:

- En la categoría de agentes microbianos, 90 productos cuentan con resolución vigente y se destacan las empresas como Bio-Crop, Orius Biotecnología, Soluciones Microbianas del Trópico, Mycos, Biocultivos, Natural Control, Sanitex, Bayer SA, Laverlam (LAM), Core Biotechnology, Live Systems Technology y AGROSAVIA, las cuales cuentan con el 60 % de los registros mencionados. Los microorganismos más importantes usados como ingredientes

activos en esta categoría son *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp. y *Paecilomyces* spp.

- Para el caso de los extractos vegetales, existen 25 productos registrados, y se destacan las empresas Ecoflora Agro, ADN adelante, Alteo, Safer Agrobiológicos, Agrobiológicos del ajo y BAM con el 64 % de registros de productos dentro de esta clase. Dentro de los principales ingredientes activos están el extracto de ajo, ají y sophora.
- En la categoría de productos bioquímicos, existen 12 productos con registro vigente, y sobresale la empresa Safer Agrobiológicos con el 58 % de estos. Los principales ingredientes activos usados son el 4-allyl-1,2-dimethoxybenzene y el acetato de E-3 dodecenilo.
- Finalmente, en la categoría de parasitoides y depredadores, hay seis productos y sobresalen las empresas Koppert, Bichopolis y Perkins, que poseen el 66 % de los registros dentro de esta clasificación, con productos como *Phytoseiulus persimilis* y *Trichogramma exiguum* (ICA, 2017b).

Empresas líderes en el mercado de bioplaguicidas

Dentro de las industrias que lideran el mercado de bioplaguicidas a nivel mundial, se encuentran 12 empresas que se listan en la tabla 16.2. Estas empresas se encuentran ubicadas principalmente en Norteamérica y Europa. Se aprecian dos categorías dentro de las principales empresas líderes del mercado: en la primera están las empresas reconocidas en el mercado de agroquímicos (Bayer BASF, Dow y Monsanto), que han incluido dentro de sus portafolios los bioinsumos a través de movimientos en el mercado como adquisiciones, inversiones, fusiones u otro tipo de acuerdos con actores del biocontrol; en la segunda hay empresas dedicadas a los productos biológicos (Isagro, Camson, Marrone, Bioworks, Koppert, Neudorf, Valent, Certis) con alcance global a través de su marca propia o a través de acuerdos de licenciamiento con empresas locales.

Tabla 16.2. Empresas líderes en el mercado de bioplaguicidas y sus ofertas

Compañía	Productos	Agentes activos	Actividad biológica
Bayer Crop-Science Ag. Alemania	Serenade	<i>Bacillus subtilis</i>	Control de patógenos fúngicos y bacterianos y mejora el crecimiento de los cultivos
	Sonata	<i>Bacillus pumilus</i>	Control de mildew
	Requiem	Extracto de <i>Chenopodium ambrosioides</i>	Control de mosca blanca, áfidos, ácaros y trips.
	BioAct	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Control de nemátodos en frutas y vegetales
BASF SE. Alemania	Millenium Biocontrol	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Control de insectos en frutas, nueces y cultivos ornamentales
	Nemasys Biocontrol	<i>Steinernema feltiae</i>	Control de mosquitos y trips en flores
	Nemasys G Biocontrol	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Control de larva blanca y escarabajos
	Nemasys L Biocontrol	<i>Steinernema kraussei</i>	Control del gorgojo de la vid negra
	Integral Clarity Subtiles	<i>Bacillus subtilis</i>	Control de <i>Rhizoctonia</i> y <i>Fusarium</i>
	Beta-pro	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control del gusano de la cápsula africana y polilla de espalda de diamante
	Nogall	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Protege los cultivos contra diversas plagas bacterianas
	Conserve	Spinosad	Control de insectos (gusanos y hormigas)
Dow Chemical Company. Estados Unidos	Static Spinosad ME	Spinosad	Control de moscas de la fruta
	Tracer	Spinosad	Control de orugas y trips
	Entrust SC Naturalyte	Spinosad	Control de insectos, ácaros y nematodos en frutas, verduras y cereales
	Success Neo	Spinetoram	Control de ácaros, trips, orugas y depredadores en vegetales, frutas y forrajes
	Delegate 250 WG	Spinetoram	Control de orugas, moscas y trips en pera y cerezas
	Radiant SC	Spinetoram	Control de insectos en frutas y verduras
Monsanto Company. Estados Unidos	Actinovate AG	<i>Streptomyces lydicus</i>	Control de enfermedades foliares y del suelo en cultivos al aire libre
	Met52 EC	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Control de insectos en vegetales, frutas y ornamentales
	Met52 G	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Control del gorgojo negro de la Vid y larvas y pupas de trips en ornamentales y flores

(Continúa)

(Continuación tabla 16.2)

Compañía	Productos	Agentes activos	Actividad biológica
Isagro SPA. Italia	Bio Tam	<i>Trichoderma gamsii</i> + <i>T. asperellum</i>	Control de hongos, bacterias y nematodos en el suelo en hortalizas, ornamentales y prados
	Bioten	<i>Trichoderma gamsii</i> + <i>T. asperellum</i>	Control de hongos, bacterias y nematodos en el suelo en hortalizas, ornamentales y prados
	Radix	<i>Trichoderma gamsii</i> + <i>T. asperellum</i>	Control de hongos, bacterias y nematodos en el suelo en hortalizas, ornamentales y prados
	Remedier	<i>Trichoderma gamsii</i> + <i>T. asperellum</i>	Control de hongos, bacterias y nematodos en el suelo en hortalizas, ornamentales y prados
	Tenet	<i>Trichoderma gamsii</i> + <i>T. asperellum</i>	Control de hongos, bacterias y nematodos en el suelo en hortalizas, ornamentales y prados
Camson Bio Technologies Limited. India	Calphomil	Información no disponible	Control de <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> y mildew veloso
	Calbase	Información no disponible	Control de <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> y <i>Rhizoctonia</i>
	Calderma	<i>Trichoderma viride</i> + <i>T. harzianum</i>	Controla <i>Fusarium</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> y <i>Sclerotium</i>
	Caltop	Mezcla de enzimas	Control de Mildew polvosos y <i>Cercospora</i>
Marrone Bio Innovations Inc. Estados Unidos	Regalia	<i>Reynoutria</i> spp.	Control de enfermedades en varios cultivos
	Grandevo	<i>Chromobacterium subtsugae</i>	Control de enfermedades en cítricos, verduras y frutos
	Remedier	<i>Trichoderma asperellum</i> + <i>T. gamsii</i>	Control de enfermedades fúngicas y bacterianas en diferentes cultivos
	Zequanox	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Control de enfermedades en diferentes cultivos
Bioworks, Inc. Estados Unidos	RootShield Plus + WG	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma virens</i>	Control de <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Thielaviopsis</i> y <i>Cylindrocladium</i>
	RootShield Plus + WP	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma virens</i>	Control de <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Thielaviopsis</i> y <i>Cylindrocladium</i>
	RootShield WG	<i>Trichoderma harzianum</i>	Control de <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Thielaviopsis</i> y <i>Cylindrocladium</i>
	RootShield WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	Control de <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Thielaviopsis</i> y <i>Cylindrocladium</i>
	T-22 HC	<i>Trichoderma harzianum</i>	Tratamiento de semillas y control de enfermedades en la raíz
	PlantShield HC	<i>Trichoderma harzianum</i>	Control de enfermedades radiculares y foliares
	Cease	<i>Bacillus subtilis</i>	Control de enfermedades foliares
	Mycotrol O	<i>Beauveria bassiana</i>	Control de etapas larvarias de mosca blanca, trips, áfidos, escarabajos, insectos y gorgojos
	Molt-X	Azaridactina	Protege el follaje y el suelo de diversas plagas
	NemaShield Beneficial	<i>Steinernema feltiae</i>	Control de hongos, mosquitos y trips en flores

(Continúa)

(Continuación tabla 16.2)

Compañía	Productos	Agentes activos	Actividad biológica
Koppert B. V. Holanda	Mycotal	<i>Lecanicillium muscarium</i>	Control de mosca blanca
	Aphidalia	<i>Adalia bipunctata</i>	Control de pulgones en todos los estadios
	Capsanen	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Control de larvas de las familias de Noctuidae, Pyralidae y Tipulidae
	Delphibug	<i>Delphastus catalinae</i>	Control de mosca blanca en invernadero
	Enermix	<i>Encarsia formosa</i> + <i>Eretmocerus eremicus</i>	Control de mosca blanca en invernadero
	Larvanem	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Control de larvas de distintas especies de escarabajo como el gorgojo de la vid
	Minusa	<i>Dacnusa sibirica</i>	Control de Minadores en todos los estadios larvarios
	Spical	<i>Neoseiulus californicus</i>	Control de arañas rojas
W. Neudorff GmbH KG. Alemania	Pyrol	Piretrinas de Pyrol y aceite de canola	Control de insectos en jardines, invernaderos, plantas ornamentales al aire libre, huertos, frutas, bayas, y plantas de cítricos
	Vegol Canola Oil	Aceite de canola	Control de insectos y ácaros en frutas, flores y vegetales
	Neudosan	Sales de potasio de ácidos grasos	Control de insectos en vegetales, frutas y nueces, cítricos, bayas, ornamentales, arbustos, flores y árboles en hogares, jardines e invernaderos
	Neudorff Bug Bait	Spinosad	Control de insectos
	SPy Sulfuro y piretrinas	Azufre y piretrinas	Control de insectos, enfermedades y ácaros en flores, plantas de interior, árboles y arbustos ornamentales, frutas, nueces y vegetales.
Valent Biosciences Corporation. Estados Unidos	DiPel	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de lepidópteros en vegetales, frutas, nueces, vides y otros cultivos
	XenTari B	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de <i>Spodoptera</i> spp. y <i>Plutella xylostella</i> en verduras, frutas, nueces, y césped
	Biobit	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de gusanos en verduras
	Novodor	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de coleópteros
	VectoBac	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de larvas de mosquitos y mosca negra
	VectoLex	<i>Bacillus sphaericus</i>	Control de mosquitos
	Teknar	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de larvas de mosquitos y mosca negra
	Gnatrol	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de larvas de mosquitos
	Gnatrol DG	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de larvas de mosquitos y mosca negra
	Foray	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de lepidópteros
	Thuricide	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Control de larvas de polillas y gusanos que comen hojas
	DiTera	<i>Myrothecium verrucaria</i>	Control de nematodos en uvas, piñas, nueces, frutas, cítricos y vegetales

(Continúa)

(Continuación tabla 16.2)

Compañía	Productos	Agentes activos	Actividad biológica
Certis USA L.L.C. Estados Unidos	Agree WG	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>aizawai</i>	Control de lepidópteros
	CoStar	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i>	Control de larvas
	Crymax WDG	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i>	Control de larvas
	Deliver	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i>	Control de lepidópteros
	Javelin WG	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i>	Control de lombrices
	Lepinox WDG	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i>	Control del gusano cogollero
	PFR-97	<i>Isaria fumosorosea</i>	Control de mosca blanca, áfidos, trips y araña roja
	DES-X	Ácidos grasos	Control de áfidos, chinches, arañas rojas y psílicos
	Double Nickel 55	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Control de enfermedades fúngicas y bacterianas de las plantas

Fuente: Elaboración propia con base en Markets and Markets (2017)

Dinámica del mercado de agentes de biocontrol

El mercado de agentes de control biológico ha tenido una dinámica especial en los últimos años. Sin embargo, aún persisten varios factores que se deben considerar para la implementación de los productos que se desarrollen. A continuación, se describen los mencionados por Ravensberg (2011) y otros que recogen la experiencia y visión de los autores.

Factores críticos que se deberían tener en cuenta para generar un nuevo producto de biocontrol para el mercado

En la mayoría de los casos, la decisión para desarrollar un nuevo producto debe basarse en el mercado. Hay un problema de plagas que pide una solución, pero es necesario analizar qué tan grande es ese mercado

y cuánto está dispuesto el productor a gastar para resolver el problema de la plaga. La decisión del nuevo desarrollo también podría depender de cuán novedosa es la idea de investigación que puede llegar a transformarse en un producto valioso con una buena oportunidad de penetrar en un mercado existente debido a su carácter innovador. Dentro de los factores clave que determinan cuándo el negocio del biocontrol puede ser rentable está la necesidad del mercado y su tamaño, así como la competitividad, el costo, el precio y el tiempo requerido para llegar a tener una disponibilidad de volumen comercial.

Demanda del mercado

El desarrollo de un bioproducto se debería generar a partir de una demanda para solucionar una cierta plaga o enfermedad. Una confirmación del mercado por

parte de la demanda sería la situación ideal, pero esto raramente sucede. Cuando la necesidad del bioplaguicida se proyecta para el futuro, la decisión será incierta. Por otro lado, cuando se necesita una solución específica, la situación puede haber cambiado una vez el producto previsto esté listo para ser lanzado, lo que lleva muchos años y, mientras tanto, otras soluciones pueden llegar al mercado. La demanda del mercado puede ser generada por varios factores: la aparición de una nueva plaga, la falta de plaguicidas para su control, la resistencia a los plaguicidas disponibles en el mercado y la retirada de los plaguicidas existentes. Estos factores están directamente relacionados con la plaga, aunque existen otros factores sociales indirectos que también pueden generar una demanda del mercado, como las preocupaciones por el medio ambiente y por la salud humana.

Tamaño de mercado

Los bioplaguicidas siguen siendo productos de nicho. El tamaño del mercado se determina por la importancia de la plaga, el número de cultivos en los que la plaga es un problema serio y la extensión de dichos cultivos. Para lograr una estimación acertada sobre el tamaño de mercado objetivo se debe estudiar este en términos de hectáreas, número de temporadas para cultivar, competencia y costos de aplicación.

Costo del agente de biocontrol y precio de venta

Tanto el costo como el precio de venta del agente de biocontrol determinan si el producto puede ser vendido de una manera rentable. El precio de venta depende de la demanda del producto en el mercado y del precio de otras medidas de control de la competencia. El precio del producto es a menudo alto en los primeros años después de su lanzamiento, con el fin de obtener el retorno de la inversión en un corto período. Posteriormente, el precio puede ser menor, debido a la competencia y con el fin de ampliar el área de uso. Muchos de los bioplaguicidas que están en el mercado se utilizan en cultivos de alto valor con superficies limitadas. Estos cultivos permiten a los

productores gastar más dinero por unidad de área y, por lo tanto, ofrecen un nicho de mercado interesante para los bioplaguicidas.

Lamentablemente, las otras propiedades favorables de los productos de control biológico, tales como seguridad para el ser humano, carencia de residualidad, seguridad con el medio ambiente, etc., son difíciles de explotar en un precio de venta. La competencia se basa principalmente en factores tradicionales como la eficacia y los costos.

Tiempo que comprende el desarrollo y la llegada al mercado

Tanto el tiempo del desarrollo de un producto como el tiempo de registro deben ser estimados con la mayor exactitud posible. La primera variable está en manos del grupo de investigación o el fabricante, y se puede hacer una estimación (4-6 años), mientras que la segunda depende de las autoridades reguladoras, pero las predicciones han resultado muy difíciles de hacer. En general, el registro del ingrediente activo toma más de cinco años en Europa y muchos años más para obtener autorizaciones nacionales que abran el mercado, mientras que en EE. UU. toma dos años aproximadamente, y en Colombia tarda de uno a dos años.

Fortalezas y debilidades de los productos de biocontrol

Existe una lista de factores que determinan el éxito o fracaso de un producto de biocontrol. La lista de debilidades de los biocontroladores no puede ser ignorada y, principalmente por esta razón, su uso está restringido en la actualidad a nichos de mercado específicos. Sin embargo, algunas debilidades pueden convertirse en fortalezas; por ejemplo, un producto con un espectro de acción pequeño hace que sea seguro frente a los enemigos naturales que se encuentren en el cultivo (Chandler et al., 2011; Glare & Moran-Diez, 2016; Malik, 2015; Van Lenteren et al., 2017). A continuación, se exponen las principales fortalezas y debilidades de los productos de biocontrol:

Fortalezas:

- Productos con un mecanismo de acción sobre un grupo específico de huéspedes.
- Excelente herramienta para incorporarse en un MIP.
- Compatible con otros agentes de biocontrol, enemigos naturales y polinizadores.
- Herramienta aprobada en producción orgánica.
- Herramienta que no genera resistencia.
- Productos que no representan un peligro para el hombre y el medio ambiente.
- Productos que no generan residuos de agroquímicos de acuerdo con los “límites máximos de residuos” aceptados en los cultivos.
- Período de carencia más corto antes de la cosecha.

Debilidades:

- Eficacia moderada y variable dependiendo del medio ambiente.
- Espectro objetivo estrecho.
- Velocidad de acción lenta.
- Productos sensibles a factores abióticos e incompatibles con algunos agroquímicos.
- Estabilidad de almacenamiento limitada. En la mayoría de los casos se requiere refrigeración.
- Tecnología de aplicación más complicada en algunos casos.
- Productos intensivos en conocimiento que demandan transferencia de *know-how*.

Tendencias en el mercado de alimentos que favorecen el uso y venta de los agentes de control biológico

Según datos de la FAO publicados en el 2012, para el 2050 la producción mundial de alimentos deberá aumentarse en un 60 % para satisfacer la demanda

(Alexandratos & Bruinsma, 2012). A sabiendas de que la mayoría de tierras cultivables ya están siendo explotadas, este incremento tendrá que venir con un aumento en la productividad (The Economist, 2016). Este aumento masivo en la producción de alimentos y el cambio climático pueden exacerbar el daño en los cultivos por causa de plagas y enfermedades, siendo cada vez más necesario el uso de agroquímicos para su control. No obstante, en la actualidad se ven cambios en las regulaciones y en las percepciones políticas, culturales y sociales que crean una demanda creciente de nuevas herramientas como el uso de agentes de control biológico (Dunham & Dunham, 2015).

Uno de los resultados de una regulación más estricta en la Unión Europea es que el número de plaguicidas cuyo uso está permitido ha pasado de 1.000, a comienzos de la década de los noventas, a 400 en la actualidad (The Economist, 2017). Las tendencias en el mercado de alimentos limpios han aumentado la demanda en el uso de estas nuevas tecnologías, principalmente por los siguientes factores:

- Demanda de fuentes de producción alimenticia segura y sostenible.
- Fuerte enfoque en la calidad de los alimentos y salud nutricional, incluyendo la creciente demanda de productos alimenticios con un mínimo de residuos de químicos.
- Incremento de la demanda global de mercados por producción fresca.
- Incremento de regulaciones y requisitos de registro para productos fitosanitarios, que conllevan al retiro de ciertas moléculas químicas del mercado.
- Pequeños agricultores esperan una producción agrícola sostenible.
- Importante crecimiento en el número de asociaciones a lo largo de la cadena de valor de los alimentos.
- Crecimiento de agricultura sostenible y de los programas de MIP.
- Aumento de mercados en los que el uso de productos químicos está prohibido o restringido (silvicultura, hogar, jardines, parques naturales, etc.) (Malik, 2015; Ravensberg, 2015).

Jalonadores del mercado

El desarrollo del mercado de los bioplaguicidas se ve influenciado por muchos factores, pero hay algunos que favorecen en mayor proporción el aumento de las ventas. A continuación, se exponen algunos de los jalonadores considerados por diferentes autores o expuestos en diferentes reuniones o seminarios en donde se analiza las perspectivas de crecimiento de este nuevo mercado (Dunham & Dunham, 2015; Malik, 2015; Olson, 2015; Van Lenteren et al., 2017).

Mejoras en la producción

En la mayoría de las evaluaciones de campo realizadas durante el desarrollo de un bioproducto, se determinan parámetros de incidencia, severidad, mortalidad, eficacia, etc.; sin embargo, el productor espera ver estos resultados asociados a su producción y a la calidad de su cosecha. Es necesario incorporar en las evaluaciones de campo estos elementos de valor que le permitan ver fácilmente al cliente si el producto de biocontrol le garantiza mínimo la misma productividad que mantenía con las otras estrategias de control.

Relación costo-efectividad

El productor espera un buen resultado en términos de eficacia, teniendo en cuenta el precio que pagó por el bioinsumo. La comprensión de las limitaciones financieras del cliente también es importante. Algunas formulaciones que están disponibles no pueden comercializarse debido a sus altos costos. Los agricultores con un cultivo de alto valor pueden optar por formulaciones más caras que los que tienen grandes áreas cultivadas con un cultivo de bajo valor económico.

Control duradero

En algunos bioproductos se debe asegurar que el mecanismo de acción del biocontrolador no tarde tantos días en desarrollarse y, además, que sea sostenido en el tiempo.

Seguridad del medio ambiente

Algunas razones por las que los agentes de biocontrol, después de muchos años de investigación, no se convierten en productos es porque en algunas ocasiones los grupos de investigación sobreestiman el poder de las preocupaciones medioambientales como motores económicos. Es necesario tener conocimientos suficientes sobre las necesidades reales de los productores, la fuerza competitiva de otras estrategias de control, la estrategia de registro, el posible posicionamiento y la estrategia de mercado del futuro desarrollo.

Costos asociados al desarrollo de una molécula sintética vs. bioplaguicidas

Los costos asociados al desarrollo de un producto de síntesis química en el 2010 fueron reportados en US\$256 millones (Glare et al., 2012), pero para el 2017 se estiman en US\$500 millones, requiriendo alrededor de 10 años de investigación. El número de compuestos potenciales a probar para cada nueva sustancia se ha elevado de 50.000 a 140.000 (The Economist, 2017). Para el caso de los productos biológicos, se pueden requerir US\$10 millones y su desarrollo puede realizarse entre 4 y 6 años (Olson, 2015). Teniendo en cuenta la amplia experiencia de más de 20 años en desarrollo de bioplaguicidas que tiene la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), se puede concluir que, en el caso de realizar la investigación continuada en el tiempo, un desarrollo puede tardar entre cuatro a cinco años y costar de US\$1 millón a US\$3 millones.

Presión regulatoria y cambios en las políticas

El cambio en las políticas y reglamentaciones favorece el uso de agentes de control biológico. Por ejemplo, la Unión Europea fomentó el uso de agentes de control biológico desde el 2009 (Parlamento de la Unión Europea, 2009), y más recientemente el presidente de China lanzó un programa nacional de investigación para la reducción de insecticidas químicos y fertilizantes con un presupuesto de US\$340 millones (Van Lenteren et al., 2017).

Barreras del mercado

El control biológico es considerado uno de los componentes fundamentales del manejo integrado de plagas; sin embargo, aún persisten diferentes factores que han dificultado su posicionamiento en el mercado, los cuales se describen a continuación.

Carencia de información y promoción

Aunque el número de agentes de biocontrol registrados ha aumentado en los últimos años, solo una pequeña proporción de los aislamientos que se evalúan tienen éxito en campo, debido a aspectos técnicos como la falta de conocimiento del sistema de control biológico y a la dificultad en la obtención de una formulación exitosa (Emmert y Handelsman, 1999). Sin embargo, el escaso éxito también se debe al poco conocimiento de estos bioproductos a nivel comercial. Es necesario realizar una campaña eficiente de promoción que incluya el conocimiento de la investigación que respalda el desarrollo y garantice su credibilidad (Malik, 2015).

Baja eficacia

La honestidad al promover las ventajas y eficacia esperada del producto es muy importante; prometer acciones que no se presentarán en un futuro es contraproducente para garantizar una venta constante de este. Los usuarios pueden decidir usar un bioplaguicida por un número de razones; sin embargo, los costos y la eficacia siguen siendo las características más importantes para la decisión de un productor. Es necesario evaluar el agente de control biológico en grandes extensiones y en varias cosechas para garantizar el efecto real del producto (Malik, 2015).

Costo de aplicación del biocontrolador

La comprensión de las necesidades del cliente también es un factor clave para que el bioplaguicida desarrollado tenga éxito comercial. La aplicación debe encajar dentro del manejo convencional de los agricultores y debe ser

compatible con la maquinaria comúnmente utilizada. La aceptación del mercado será lenta si se requiere equipo especializado y costoso (Bailey, Boyetchko, & Längle, 2010).

Carencia de pruebas de eficacia en grandes áreas

Durante el desarrollo del bioproducto se suelen realizar muchas evaluaciones *in vitro* o en condiciones controladas de invernadero, y algunas bajo condiciones de campo. Es necesario incorporar al final del desarrollo una validación en parcelas semi o comerciales en varios años consecutivos y en zonas agroecológicas diferentes, que le brinden confianza al cliente sobre la nueva alternativa de control que le están ofreciendo (Malik, 2015).

Acción lenta

Entender cómo funciona el agente de biocontrol puede facilitar la optimización del control y ayudar a la detección de cepas más eficientes. Los mecanismos de acción de algunos agentes de biocontrol se deben conocer en detalle; además, una comprensión más profunda de la ecología puede ayudar a definir los problemas que se podrían presentar, cómo abordarlos, cuándo y dónde aplicar el agente de control biológico y, así, predecir situaciones en las que no se espera que el control funcione.

Falta de disponibilidad del producto

Una vez que el bioproducto ha sido registrado, las ventas pueden comenzar, para lo cual es necesario que el sistema de manufactura del agente de biocontrol ya se encuentre en una fase de industrialización para suplir la demanda (Malik, 2015).

Falta de conocimiento por parte de los agricultores

La adopción de los bioplaguicidas en el mercado es un proceso lento. Su utilización se recibe con cierto

escepticismo y tiende a incorporarse en el manejo de los cultivos poco a poco, por lo que el aumento de las ventas no viene de la noche a la mañana y requiere de tiempo y esfuerzo considerables. Los bioplaguicidas tienen que conquistar su posición en el mercado y justificar su lugar. Se debe considerar que los plaguicidas químicos siguen siendo la principal competencia debido al precio, facilidad de uso y eficacia, así como también debido a la rutina del productor. Los usuarios deben estar convencidos de que un nuevo producto logra resultados similares en sus prácticas habituales. Es esencial entender la competencia y desarrollar formas de posicionamiento del biocontrolador como un sustituto o como un producto alternativo, para lo cual se requiere demostraciones en campo, mayor educación y más ensayos comparativos con otras alternativas de control.

Inestabilidad de los principios activos en condiciones ambientales

Una crítica frecuente del control biológico es que el grado de control puede diferir dependiendo del medio ambiente. A menos que se esté desarrollando el control para un sistema con un entorno relativamente constante, es importante determinar hasta qué punto la temperatura, la luz solar, la humedad, el tipo de suelo, el cultivo y otros factores afectan el desempeño del agente de biocontrol. Por otra parte, el sistema de envasado puede ayudar a mejorar la viabilidad mediante la limitación de la exposición de la formulación a las fluctuaciones de humedad y oxígeno; sin embargo, el mayor reto está en el diseño de la formulación (Schisler, Slininger, Behle, & Jackson, 2004). Además, la gran variedad de condiciones de almacenamiento para la distribución, incluyendo los canales seleccionados, puede también limitar la penetración en el mercado del bioplaguicida.

Incompatibilidad en tanques de mezcla

La mayoría de agentes de control biológico microbianos (hongos y bacterias) son incompatibles con fungicidas e insecticidas, mientras que los virus y extractos botánicos en general pueden ser mezclados con algunos agroquímicos que comúnmente se usan.

Procesos de registro con enfoque de agroquímicos

En algunas ocasiones se subestiman los tiempos y costos de registro, así como las dificultades de estos procesos en término de requisitos de toxicología y ecotoxicología que se exigen en algunos países, cuya reglamentación para el registro de agentes de biocontrol se mantiene unida a la de agroquímicos (Chandler et al., 2011). Este tema se amplía en el capítulo 15 de este libro, bajo el título de “Marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas”.

Nuevos plaguicidas químicos más seguros

En los últimos años, la investigación sobre las aplicaciones de la nanotecnología se ha vuelto cada vez más popular, especialmente en el desarrollo de nuevas nanoformulaciones de agroquímicos. Estos nuevos desarrollos se enfocan principalmente en hacer que los ingredientes activos (IA) con limitada solubilidad en agua se dispersen más fácilmente en el momento de la aplicación en el campo, así como en aumentar la posibilidad de utilizar insecticidas con IA menos tóxicos para los organismos no objetivo, en reducir el desarrollo de resistencia y en garantizar la estabilidad del IA, que son comúnmente inestables en el medio ambiente (Kah y Hofmann, 2014; Seiber, Coats, Duke, & Gross, 2014).

Escepticismo de los productores, basado en la expectativa del nivel de productos químicos

La posibilidad de producir una cosecha no comercializable lleva a los agricultores a evitar el riesgo con respecto a nuevas tecnologías de protección. Los plaguicidas convencionales han sido el pilar de la protección de cultivos durante más de 50 años, una riqueza de experiencia que da a los agricultores confianza en su eficacia. En comparación, el uso de estas nuevas tecnologías de control biológico no cuenta en algunos casos con experiencia en pruebas en grandes áreas y la experiencia práctica en tecnologías de MIP crea cierta

incertidumbre para los agricultores. Las preferencias y su aversión al riesgo pueden resultar en patrones negativos para la adopción de nuevas tecnologías. Por otra parte, debido a que los insecticidas y fungicidas químicos convencionales se utilizan tan ampliamente, los costos fijos asociados a ellos se distribuyen entre muchos usuarios y, por lo tanto, su uso representa una pequeña parte del costo total de control de plagas. Los bioplaguicidas se enfrentan a grandes costos fijos de adopción que solo disminuirá una vez que la tecnología se utilice más ampliamente (Chandler et al., 2011).

Mercado de nicho

Muchos bioplaguicidas tienen altos niveles de selectividad. Por ejemplo, los bioinsecticidas basados en baculovirus, tales como el granulovirus de *Cydia pomonella* (CpGV), son selectivos para un insecto y para pocas especies relacionadas. Esto es de gran beneficio en términos de no afectar a otros enemigos naturales y a la vida silvestre, pero también significa que los bioplaguicidas son productos de limitado nicho de mercado con bajo potencial de ganancia en algunos casos (Chandler et al., 2011).

Factores críticos en el proceso de comercialización de agentes de control biológico

El éxito comercial de un bioplaguicida depende de muchos factores relacionados con la naturaleza de la tecnología y con el mercado objetivo (Ravensberg, 2011).

Necesidad de un fuerte compromiso de la gerencia del proyecto

El desarrollo de un nuevo bioplaguicida es un desafío largo y costoso. Un proyecto total puede costar varios millones de dólares, y tomar en promedio de cinco a ocho años para llegar a un punto de equilibrio, e incluso más años para alcanzar un volumen de ventas que proporcione el beneficio deseado. La gerencia debe ser consciente de esto desde el principio. Hacer ganancias

rápidas no es una característica estándar en este tipo de negocio, lo que ha llevado a muchos inversionistas a experimentar esta situación y a retirarse de este negocio.

Plan de negocios definido

Un requisito previo para la elaboración del proyecto de desarrollo de un nuevo bioplaguicida es un plan de negocios exacto con proyecciones de beneficios realistas. El cálculo de los ingresos potenciales de seis a diez años en el futuro es una tarea difícil y debe hacerse de manera conservadora. Los planes de negocio deben prever un bajo porcentaje de penetración del mercado, particularmente en los primeros años (1-5 %). El desarrollo de productos de biocontrol y los costos de registro conllevan altos costos y muchas empresas no se dan cuenta de esto. Los requerimientos y costos involucrados para la adopción del mercado y alcanzar el volumen de ventas son a menudo subestimados o incluso descuidados y muchas compañías han fracasado en esta fase. El tiempo y el dinero para el estudio del correcto posicionamiento del producto y la educación de los usuarios es a menudo un punto descuidado en los planes de negocio.

Un buen científico no es necesariamente un buen empresario

En los nuevos negocios, a menudo se cita la mala gestión como la principal razón del fracaso. En el caso de empresas tipo *spin-off* que se generan a partir de una organización de investigación, estas cuentan con todo el *know how* sobre el conocimiento técnico del bioproducto, pero es necesario también dar un gran énfasis e importancia a las habilidades de gestión y gerencia. Los propietarios de pequeñas empresas a menudo carecen de experiencia relevante en negocios y administración en áreas como finanzas, compras, ventas y producción. Todos estos aspectos son cruciales para la supervivencia y el éxito del negocio.

En el caso que sea una gran empresa la que entra en el campo de los bioplaguicidas, la gerencia no siempre entiende este tipo de negocio; por lo tanto, debe invertir tiempo suficiente para entender el campo del biocontrol. En general, el desarrollo de un

bioplaguicida requiere de un equipo multidisciplinario con suficiente conocimiento y experiencia en las áreas de investigación, producción, registro y comercialización.

Conocimiento profundo del mercado objetivo

El conocimiento profundo de la plaga objeto de control y del mercado potencial es elemental y parece obvio, pero muchas compañías han sobrestimado la potencial participación en este mercado y, como consecuencia, se han encontrado con un fracaso en las ventas. Las cifras sobre el daño causado por las plagas no se pueden transferir directamente al posible potencial de mercado. El poco conocimiento sobre las plagas, los clientes, los cultivos, las prácticas de control, los precios, la competencia y los requisitos para promover un nuevo producto pueden conducir a errores y, seguramente, a una lenta penetración en el mercado.

Modelos de negocios en la industria del biocontrol

Hasta hace algunos años, varios autores habían descrito tres modelos en el negocio del biocontrol. El primero es el modelo de propiedad de capital en el que el propietario invierte a un nivel limitado y el desarrollo es gradual (empresas pequeñas de biocontrol que se encargan del desarrollo y comercialización). El segundo tipo es el modelo de inversión social, en el que se realizan grandes inversiones antes de que se produzcan las ventas y el desarrollo puede ser rápido; por ejemplo, la inversión puede ser por organizaciones gubernamentales. El tercer modelo es el de inversión de capital de riesgo con niveles de inversión que superan en gran medida las ventas y los desarrollos son grandes y rápidos; en este modelo, la tecnología patentada es un requisito previo para proteger la inversión de la competencia (Friedman, 1990).

Hay un cuarto modelo que ha crecido ampliamente en los últimos años y es patrocinado por las multinacionales, que proyectaron los bioplaguicidas como una nueva oportunidad atractiva para obtener beneficios y decidieron establecer una unidad de negocio para desarrollar este potencial. Este modelo se puede separar en dos categorías: 1) las grandes empresas de

agroquímicos que contemplan nuevos productos junto a sus productos químicos, que comprenden empresas que trabajan en los mercados agrícolas y forestales de gran extensión, lo que conlleva a una ampliación en el uso de productos de biocontrol hacia cultivos de grandes extensiones (Glare et al., 2016); 2) las grandes empresas farmacéuticas o alimenticias, nuevas en el área de protección de cultivos, que esperaban explorar su experiencia y tecnología en producción para el desarrollo de bioplaguicidas. Ejemplos del primer grupo son Bayer, Cyanamid, Monsanto y BASF, y ejemplos del segundo grupo son Tate & Lyle, Novo Nordisk y Abbott (CPL Business Consultants, 2010).

Este nuevo modelo de negocio se ha incrementado en los últimos cinco años. Es así como las principales empresas de plaguicidas de todo el mundo han adquirido pequeñas y medianas empresas de biocontrol o sus productos. Por ejemplo, en el 2012 y 2013, Bayer CropScience adquirió Agraquest (por US\$425 millones) y Prophyta respectivamente. Por otra parte, en el 2012, BASF adquirió Becker Underwood, Koopert adquirió Itaforte Bioproducts, Syngenta adquirió Pasteuria y DevGen; asimismo, Monsanto adquirió a Rosetta Green. Luego, en el 2013, Monsanto y Novozymes establecieron un consorcio llamado BioAg, mientras que en el 2015 lo hicieron Syngenta y DSM. Por otra parte, DuPont compró Taxon Biosciences y recientemente Certis USA adquirió a LAM International (The Economist, 2016; Olson, 2015; Ravensberg, 2015).

Ejemplos de experiencias en el mercado del biocontrol

Son muchos los ejemplos tanto a nivel internacional como en Colombia sobre casos exitosos del mercado de los agentes de control biológico; a continuación, se describen a manera de ejemplo algunos de estos.

Brasil: Laboratorio Farroupilha Lallemand

Una de las principales compañías del control biológico en Brasil es el Laboratorio Farroupilha, fundado en

el 2006 y con una presencia en más del 80 % del territorio brasileño. Este laboratorio fue fundado con el objetivo de crear soluciones biológicas para la agricultura y reducir el uso de plaguicidas químicos, además de promover la producción de alimentos más saludables. Su portafolio inició con un producto a base de *Trichoderma asperellum* para controlar *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*. Con el tiempo se desarrollaron otros productos dentro de su línea Biopotente, contando actualmente con siete bioplaguicidas y un inoculante, además de por lo menos tres en fase de registro (Laguardia, 2016).

En el 2015, la empresa canadiense Lallemand adquirió el Laboratorio de Farroupilha con el objetivo de fomentar el control biológico y crear una nueva plataforma de su división "Plant Care". La expansión del portafolio de productos es una de las primeras ventajas de esta alianza, teniendo en cuenta que entre las dos empresas tienen un portafolio que incluye biofungicidas, bioinsecticidas, bionematicidas y una línea de inoculantes que se fortalece con la adquisición por parte de Lallemand de la compañía uruguaya Lage y Cia. Otra de las ventajas es la mayor capacidad de investigación, ya que Lallemand cuenta con 142 PhD que manejan diferentes microorganismos, lo que facilita el intercambio de información para la mejora de procesos y formulaciones. Ahora Farroupilha puede acceder a mercados como Estados Unidos, México, América Latina y Europa. El plan estratégico para el Laboratorio Farroupilha Lallemand es el crecimiento de un 30 % por año asociado a la ampliación de portafolio y la inversión en la infraestructura de producción especialmente en formulaciones sólidas (WP y WG) (Trebilcock, 2016b).

Costa Rica: Uso de trampas de feromonas para el control de gorgojos de la palma

Los gorgojos de la palma de aceite, coco y palmito, de los géneros *Rhynchophorus* y *Dynamis*, han sido reconocidos como la plaga más perjudicial económicamente en palmas. Ahora se sabe que *Rhynchophorus palmarum* es el vector de la enfermedad conocida como el anillo rojo (RRD, por las siglas del término inglés *Red Ring Disease*),

causada por el nemátodo *Bursaphelenchus cocophilus*, y que la reducción de la población de gorgojos es clave para reducir la infestación de nematodos. Las palmas infectadas con el nematodo desarrollan un anillo rojo necrótico que le da su nombre característico, con el que las altas poblaciones de nematodos cortan el flujo de nutrientes y producen la muerte de la palma (Chinchilla et al., 1990). Para su control, se han venido utilizando trampas con feromonas, logrando resultados satisfactorios sobre el retorno de la inversión que han hecho que las densidades de producción de palma aumenten.

El siguiente análisis muestra las bondades del control biológico en Costa Rica y se basa en los datos de Palma Tica, el mayor productor de palma aceitera de Costa Rica. Los costos de mantenimiento en el 2015 para una trampa con cebos en Palma Tica fueron 21,00 dólares/trampa/año (incluye feromonas, baldes y caña de azúcar), mientras que la mano de obra, combustible y servicios sociales fueron de 23,00 dólares/año. Una trampa se usa por cada 5 ha, es decir que corresponde a un costo de 9,00 dólares/ha/año. Utilizando esta densidad de trampas, se reduce la enfermedad del anillo rojo a menos de 1 palma/10 ha, comparado con pérdidas observadas en plantaciones en la ciudad de Coto, en donde la incidencia de la enfermedad fue más alta, requiriendo la eliminación de 34 palmas infectadas/10ha/año. Cada palma talada representa un sitio de producción perdido durante el tiempo restante del cultivo, que tiene ciclos de 25 a 30 años (Barcelos et al., 2015).

Las plantaciones de Costa Rica producen 3,8 toneladas métricas de crudo por hectárea (IndexMundi, 2016), es decir 26,7 kg/palma (utilizando la densidad de siembra en Coto de 142 palmas/ha) (Oehlschlager, Chinchilla, Castillo, & González, 2002). Los precios actuales del crudo del aceite de palma están cerca de US\$565/tonelada métrica (IndexMundi, 2016), que corresponde a un rendimiento de US\$15/palma/año. Con las densidades actuales de trampas en uso (1 trampa/5 ha), la captura deberá garantizar la reducción de palmas infectadas por RRD a 10 palma/10 ha/año para que sea una inversión viable. Dado que actualmente el control con trampas reduce las pérdidas a 1 palma/10 ha/año, este método se considera rentable.

Otra manera de analizar los aspectos económicos de la captura con trampas con feromonas es examinar la

experiencia en una gran plantación en Coto. En 1991, hubo 22.097 palmas cortadas por RRD. Suponiendo que la edad promedio de las palmas retiradas sea de 20 años, esto representa una pérdida de un mínimo de cinco años de producción por cada palma retirada, que equivale aproximadamente a US\$1.455.000 (precios de 2015). Después de tres años utilizando trampas de feromona, este valor se redujo en un 88% (en promedio), con un costo adicional de US\$129.000 (1.000 trampas durante el período de tres años). Aunque este cálculo no representa el número exacto de años de producción de palma ahorrada, el beneficio económico es claro.

Durante la ejecución del trabajo de Coto, la Comisión de Productores de Palma de Costa Rica y el Ministerio de Agricultura formularon una ley que obliga a los cultivadores de palma a tomar medidas contra la RRD (Ley de Protección Fitosanitaria 7664, Decreto 27043-MAG). La aplicación de esta Ley se centra en la captura de los insectos. Aunque esto parece una invitación abierta a usar trampas de feromonas, en el continente americano, salvo Canadá y los Estados Unidos, se requiere del registro de todas las feromonas independientemente de su uso. El registro requiere ensayos de eficacia en cada país, financiados por el solicitante de registro. En los Estados Unidos las feromonas utilizadas en las trampas para el monitoreo no requieren registro. Desde el desarrollo de la captura masiva con feromonas para *R. palmarum* (1993), el área cultivada de palma aceitera en América Central aumentó de 31.000 ha a 340.000 ha (~11%/año), y en Sudamérica de 261.000 ha a 761.000 ha (~4,8%/año) (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2016). El número de señuelos de feromonas consumidos en Centroamérica se ha mantenido aproximadamente al ritmo de la expansión del área cultivada de palma aceitera en esta región.

Colombia: AGROSAVIA

AGROSAVIA cuenta con una experiencia de más de 20 años en el desarrollo de productos a base de microorganismos y ha licenciado tecnologías de formulación de biofungicidas a empresas extranjeras como el Laboratorio Farroupilha de Brasil, en el 2007, y Prophyta de Alemania, en el 2008. Actualmente, cuenta con dos biofertilizantes fijadores de nitrógeno

registrados ante el ICA: 1) Monibac (Resolución 9437), a base de la bacteria *Azotobacter chroococcum*, cepas AC1 y AC10, para su uso en los cultivos de algodón y gramíneas; 2) Rhizobiol (Resolución 9354), a base de la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, cepas J01 y J96, para su uso en soya.

AGROSAVIA también cuenta con tres bioplaguicidas registrados: 1) Baculovirus Corpoica (Resolución 9354), a base del granulovirus de *Phthorimaea operculella*, para el control de *Tecia solanivora* en papa en almacenamiento; 2) Tricotec (Resolución 10150), a base del hongo antagonista *Trichoderma koningiopsis*, cepa Th003, para el control de patógenos radiculares en tomate, lechuga y arroz; y 3) Lecabiol (Resolución 10312), a base del hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii*, cepa VL026, para el control de la mosca blanca.

Asimismo, AGROSAVIA cuenta dentro de sus redes de investigación con profesionales en microbiología, biología, ingeniería agronómica, entomología, fitopatología, bioquímica, microbiología molecular y fitoprotección. Junto a este equipo de investigadores está el Departamento de Bioproductos, que cuenta con profesionales de ingeniería química, química farmacéutica y microbiología, que trabajan conjuntamente en el diseño, desarrollo, escalamiento a nivel piloto y el registro de los Bioproductos. Además, AGROSAVIA ha creado alianzas estratégicas con laboratorios e industrias biotecnológicas de primera línea a nivel nacional e internacional que permiten el escalamiento industrial de sus bioproductos y la integración de estos en el mercado. Las líneas de trabajo en el desarrollo de bioproductos son tanto bioplaguicidas, como inoculantes y bioproductos para salud animal. Actualmente, se tiene una alianza a nivel nacional con una empresa nacional para la producción de un inoculante, y a nivel internacional se están realizando alianzas con grandes empresas reconocidas en el mercado del biocontrol.

Perspectivas de la industria del biocontrol

La industria de los bioplaguicidas está íntimamente ligada a la industria agroquímica. En el 2015, el mercado global de agroquímicos se estimó en US\$214,2 billones,

con una tasa de crecimiento anual compuesta proyectada en 3,2%, entre el 2015 y el 2020 (Glare et al., 2012). No obstante, el crecimiento real del mercado estuvo por debajo de las expectativas del sector, alcanzando apenas un 2%, frente a crecimientos anuales del 6 y 7% en la década del 2000 (The Economist, 2017). La presión de los accionistas ha desatado una ola de megafusiones que, colectivamente, alcanzarán un valor estimado de unos US\$240 billones en 2017.

Uno de los factores críticos en el desempeño de las compañías de agroquímicos se encuentra en la composición de su portafolio de productos. Para el 2011, los productos genéricos representaron el 51% de las ventas con productos introducidos entre 1950 y 1979, los post-patente (productos cuyas patentes han caducado, pero no se producen masivamente a nivel de genéricos) representaron el 25,3%, con productos introducidos entre 1980 y 1996, y los propietarios (cuyas patentes aún se encontraban vigentes) representaron el 23%, con productos introducidos entre 1997 y 2011 (PhillipsMcDougall, 2012). Los márgenes de productos genéricos son significativamente menores a los de los productos post-patente y propietarios, lo que ejerce presión sobre las utilidades y el retorno a los accionistas.

A esta situación se suma que entre el 2000 y el 2009 se introdujeron 103 nuevos productos al mercado, mientras que en el período 2010-2012 se introdujeron 22, con una tasa esperada de introducción de 5,6 productos al año (PhillipsMcDougall, 2013).

En contraste, la industria de bioplaguicidas ha tenido un crecimiento constante entre el 2009 y el 2015, con tasas aproximadas del 15% (Glare et al., 2012). Se proyecta que este crecimiento continúe por lo menos hasta el 2020, siendo un sector que representa aún un tamaño de mercado pequeño, pero con una de las mayores perspectivas de crecimiento entre todos los subsectores de los agronegocios (figura 16.1) (Goedde et al., 2015). Los autores identificaron el sector de bioplaguicidas con tasas de crecimiento similares a las de otros autores (15%) y con una tasa de riesgo (evaluada conjuntamente entre el riesgo geopolítico, regulatorio, de mercado y tecnológico) moderada. En el entorno económico global la industria de bioplaguicidas es más atractiva para los inversionistas que la agricultura de precisión, acuicultura, alimentos

funcionales, entre otros sectores. El sector incluso goza de una posición de ventaja frente a las semillas modificadas genéticamente, dado el riesgo regulatorio que implican y su baja adopción en Europa. Algunos autores consideran que el mercado de bioplaguicidas superará el de agroquímicos convencionales hacia el 2050 (Olson, 2015); sin embargo, estas predicciones contienen márgenes de error muy significativos.

En el 2017, Adner y Kapoor propusieron una metodología de análisis a fin de entender la dinámica de adopción de una tecnología basada en cuatro cuadrantes determinados en el eje Y, por la magnitud en la que esta nueva tecnología amenaza el ecosistema tecnológico actual, y en el eje X, por la oportunidad de extender el actual modelo de negocio (Adner y Kapoor, 2017). Según estos autores, el 48% de la variación en la velocidad de sustitución de tecnologías se puede atribuir a factores tradicionales, como el precio y los competidores en el mercado. Cuando se tiene en consideración la dinámica del ecosistema tecnológico, se puede explicar el 82% de la variación (figura 16.2).

Al aplicar el marco de referencia sugerido por los autores, se encuentra que los bioplaguicidas podrían incluirse en cada uno de los ejes:

- **Amenaza al ecosistema tecnológico actual:** los bioplaguicidas se pueden considerar en un nivel bajo de amenaza, dado que la adopción masiva de la tecnología no requiere cambios en el ecosistema tecnológico, funciona con los mismos métodos de diagnóstico y aplicación, y es evaluada por parámetros de eficiencia de control similares. Adicionalmente, las redes de distribución y logística no requieren cambios sustanciales para alcanzar a los clientes finales.
- **Oportunidad de extensión del modelo de negocio actual:** se puede considerar un nivel de oportunidad muy alto, dado que en un escenario de bajo crecimiento y baja introducción de ingredientes activos nuevos, estas alternativas caracterizadas por su inocuidad, bajo nivel de riesgo de desarrollo de resistencia y una compatibilidad creciente con el portafolio de agroquímicos son ideales para ser integradas en el portafolio actual, generando buenos niveles de crecimiento, y tomando provecho de la enorme capacidad de mercadeo y posicionamiento de estas compañías.

Estas condiciones ubican la industria de bioplaguicidas en un escenario de coexistencia robusta con la industria del control químico, en el que la sustitución es lenta y las nuevas opciones de tecnología comparten las capacidades instaladas del sistema: producción, mercadeo, operaciones, venta y posventa. En este escenario, la nueva tecnología penetra lentamente el mercado, mientras que las compañías dominantes siguen en capacidad de defender su participación.

Crecimiento esperado, índice de riesgo compuesto e índice de tamaño del mercado por sector

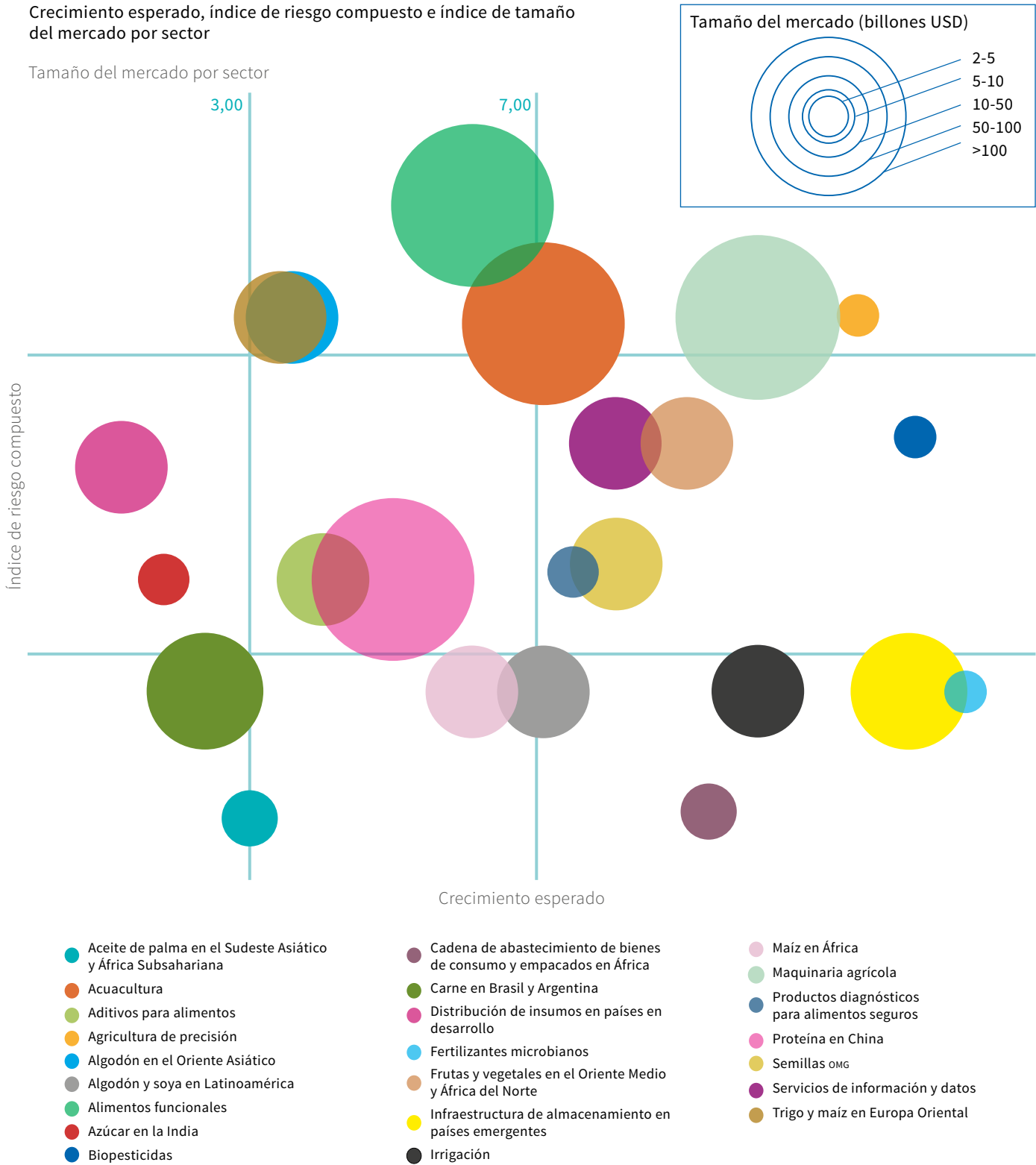


Figura 16.1. Matriz de oportunidades en el sector de agronegocios.

Fuente: Adaptada de Goedde, Horil y Sanghvi (2015)



Figura 16.2. Marco para analizar el ritmo de la sustitución tecnológica.

Fuente: Adaptada de Adner y Kapoor (2017)



Conclusiones

La industria de bioplaguicidas ha tenido un crecimiento constante entre el 2009 y el 2015, con tasas aproximadas del 15 %, y se proyecta que este crecimiento continúe, siendo un sector que presenta aún un tamaño de mercado pequeño, pero con una de las mayores perspectivas de crecimiento entre todos los subsectores de los agronegocios. Este hecho ha resultado en un nuevo modelo de negocio, en el que las grandes empresas de agroquímicos entran al negocio de biocontrol, generando nuevos productos para venderlos junto con sus agroquímicos. Por lo tanto, la demanda de nuevos productos a base de agentes de biocontrol ofrece una variedad de oportunidades para el desarrollo de estos nuevos mercados. Sin embargo, la generación de productos de biocontrol exitosos, que se conviertan en un producto rentable en el mercado, es un enorme desafío, y su comercialización requiere tanto de experiencia técnica, como de inteligencia empresarial y de la comprensión del mercado. A pesar de que existen diferentes factores que favorecen o limitan el desarrollo del mercado de bioplaguicidas, sigue siendo claro que el cliente final reconoce ciertos factores que influyen en la adopción final de estos productos y su éxito se basa básicamente en su eficacia, estabilidad, facilidad de uso, demostración de la rentabilidad sobre la inversión y costo.

Probablemente la tendencia de compras en el sector de bioplaguicidas continúe a la par de las megafusiones, generando un sector integrado en el que el productor final se vea beneficiado por la entrada al mercado de las nuevas alternativas de control, provistas por el mercado de bioplaguicidas, como por la mejora en las características de los agroquímicos en uso, impuestas por los nuevos requerimientos del mercado.

Referencias

Adner, R. & Kapoor, R. (2017). Right tech, wrong time. *IEEE Engineering Management Review*, 45(4), 81-85. doi:10.1109/EMR.2017.8233298.

AgroNews. (2017). *Global beneficial insects market to reach \$788 million by 2022*. Recuperado de <http://news.agropages.com/News/NewsDetail---21937.htm>.

Alexandratos, N. & Bruinsma, J. (2012). *World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 revision*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf>.

Bailey, K., Boyetchko, S., & Längle, T. (2010). Social and economic drivers shaping the future of biological control: a Canadian perspective on the factors affecting the development and use of microbial biopesticides. *Biological Control*, 52(3), 221-229. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.05.003.

Barcelos, E., de Almeida Rios, S., Cunha, R. N., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E., ... Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6, 190. doi:10.3389/fpls.2015.00190.

Biopesticide Industry Alliance (BPIA). (2014). *Biopesticides Offer Multiple Benefits for Agricultural Dealers and Consultants*. Recuperado de http://www.bpia.org/wp-content/uploads/2014/01/dealer_consultant-final.pdf.

Biopesticide Industry Alliance (BPIA). (2017). *Microbial biopesticides*. Recuperado de <http://www.bpia.org/microbial-biopesticides/>.

Agriculture and Agri-Food Canada. (2013). *Directory of Biopesticides for Agricultural Crops in OECD Countries - Search Form*. Recuperado de <https://www5.agr.gc.ca/MPDD-CPM/search-recherche.do?lang=eng>.

Cotes, A. M. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en Colombia. En W. Bettiol, M. C. Rivera, P. Mondino, J. R. Montealegre, & Y. C. Colmenárez (Eds.), *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe* (pp. 169-179). Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.

CPL Business Consultants. (2010). *A how to do it guide to biopesticides*. Recuperado de <http://www.cplconsult.com/wp-content/uploads/2013/03/Contents-of-The-How-to-do-it-Guide-to-Biopesticides-with-Historical-Examples.pdf>.

Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. Biological Sciences*, 366(1573), 1987-1998. doi:10.1098/rstb.2010.0390.

Chinchilla, C. M., Arias, E., Menjívar, R. T., Serrano, C., Iraheta, C., Menjívar, V., ... González, M. (1990). *Picudo de la palma y enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña en una plantación comercial en Honduras*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2016). *Oilseed, Palm Central América*. Recuperado de <http://www.agrochart.com/en/usda/section/16/oils/region/12/centralamerica/commodity/83/oil-palm/attribute/23/area-harvested/>.

Dicklow, M. B. (2017). *Biofungicides*. Recuperado de <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/biofungicides>

Dunham, W. & Dunham, T. (2015). Evolution and future of biocontrol. Ponencia presentada en *X Annual Biocontrol Industry Meeting (ABIM)*, Basel, Switzerland.

Emmert, E. A. & Handelsman, J. (1999). Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. *FEMS Microbiology Letters*, 171(1), 1-9.

Friedman, M. J. (1990). Commercial production and development. En R. Gaugler & H. K. Kaya (Eds.), *Entomopathogenic nematodes in biological control* (pp. 153-172). Boca Raton, EE. UU: CRC Press.

Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., ... Stewart, A., (2012). Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250-258. doi:10.1016/j.tibtech.2012.01.003.

Glare, T. R. & Moran-Diez, M. E. (2016). *Microbial-Based Biopesticides. Methods and Protocols*. Nueva York, EE. UU: Human Press. doi:10.1007/978-4339-6367-6.

Goedde, L., Horil, M., & Sanghvi, S. (2015). *Pursuing the global opportunity in food and agribusiness*. Recuperado de <http://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/pursuing-the-global-opportunity-in-food-and-agribusiness>.

Grand View Research. (2017). *IPM pheromones market size worth \$1.5 billion by 2025 | CAGR 12.5 %*. Recuperado de <http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-ipm-pheromones-market>.

Himmel, P. (2013). *The Role of Biopesticides as Seed Treatments*. Recuperado de <http://agrithority.com/wp/wp-content/uploads/2013/03/BiopesticidesRole-Himmel.pdf>.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). *Comercialización de bioinsumos, coadyuvantes y reguladores fisiológicos, 2012*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Estadisticas/Comercializacion-bioinsumos-y-coadyuvantes-2012-UT.aspx>.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017a). *Empresa bioinsumos diciembre de 2017*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Listado-de-Bioinsumos/2009/EMPRESAS-REGISTRADAS-BIOINSUMOS-JULIO-8-DE-2008.aspx>.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017b). *Productos registrados bioinsumos*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Listado-de-Bioinsumos/2009/PRODUCTOS-BIOINSUMOS-MAYO-13-DE-2008.aspx>.

IndexMundi (2016). *Costa Rica palm oil production by year*. Recuperado de <https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=cr&commodity=palm-oil&graph=production>.

Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri). (2017). Control de nematodos desde una perspectiva integral. En *Serie Fitosanidad* (pp. 224-235). Ciudad de México, México: Intagri.

Kah, M. & Hofmann, T. (2014). Nanopesticide research: current trends and future priorities. *Environment International*, 63, 224-235. doi:10.1016/j.envint.2013.11.015.

Laguardia, H. (2016). *Canadense Lallemand compra Laboratório Farroupilha em MG. O Tempo*. Recuperado de <http://www.otempo.com.br/capa/economia/canadense-lallemand-compra-laborat%C3%B3rio-farroupilha-em-mg-1.1221244>.

Leng, P., Zhang, Z., Pan, G., & Zhao, M. (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*, 10(86), 19864-19873. doi:10.5897/AJBX11.009.

Malik, A. (2015). *Biologicals – A key element in Integrated Crop Solutions*. Documento presentado en Annual Biocontrol Industria Meeting ABIM. Basilea, Suiza.

Markets and Markets. (2017). *Biopesticides market global forecast to 2020*. Recuperado de <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/biopesticide.asp>

MicroMarket Monitor. (2015). *Global Agriculture Biopesticides Market in Post Harvest Market*. Recuperado de <http://www.micromarketmonitor.com/reports/agriculture-biopesticides-market-in-post-harvest-1249817645.html>.

MicroMarket Monitor. (2017a). *Europe Biopesticides Market By Origin (Beneficial Insects, Microbial Pesticides, Biochemical Pesticide), Type (Bioherbicides, Biofungicides, Bioinsecticides, Bionematicides), Application, Crop Type, Formulation, Geography – Forecast to 2020*. Recuperado de <http://www.micromarketmonitor.com/market/europe-biopesticides-1352685033.html>.

MicroMarket Monitor. (2017b). *Asia-Pacific biopesticides market by source (microbial, biorational), by application (permanent crop, arable crop), by end-use (seed treatment, on farm, post-harvest), by sub-market, by formulation, by geography - analysis & forecast to 2019*. Recuperado de <http://www.micromarketmonitor.com/pressreleases/asia-pacificbiopesticides.html>.

MicroMarket Monitor. (2017c). *North America Biopesticides Market by Submarket (Biofungicide, Bioherbicide, Bioinsecticide, Bionematicide), by Active Ingredient (Microbial, Biorational, Others), by Crop Type, by End-use, by Formulation, By Geography - Analysis and Forecast to 2019*. Recuperado de <http://www.micromarketmonitor.com/pressreleases/north-america-agriculture-biopesticides.html>.

Mishra, J., Tewari, S., Singh, S., & Kumar, N. (2015). Biopesticides: Where We Stand? En N. K. Arora, (Ed.), *Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets* (pp. 37-75). Nueva Delhi, India: Springer.

Mordor Intelligence. (2017). *Biopesticides Market - Latin America Industry Growth, Trends and Forecasts (2017-2022)*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/latin-american-biopesticides-market-industry>.

Novasys Pharma. (2017). *Nematodos, una amenaza que tiene solución de forma ecológica*. Recuperado de <http://novasys.es/nematodos-amenaza-tiene-solucion-ecologica/>.

Oehlschlager, A. C., Chinchilla, C., Castillo, G., & González, L. (2002). Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, 85(3), 507-513.

Olson, S. (2015). An analysis of the biopesticide market now and where it is going. *Outlooks on Pest Management*, 26(5), 203-206. doi:10.1564/v26_oct_04.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4068s.pdf>.

Parlamento de la Unión Europea. (2009). Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for community action to achieve the sustainable use of pesticides. En *Official Journal of the European Union* (pp. 71-86). Estrasburgo, Francia: Unión Europea.

Plant Health Care (PHC). (2017). *Control biológico del barrenador grande del hueso del aguacate. Información Técnica*. Recuperado de <http://www.phcmexico.com.mx/search.php?q=care>

PhillipsMcDougall. (2012). *AgriFutura* (No. 253). Recuperado de <https://www.phillipsmcdougall.com/home.asp>.

PhillipsMcDougall. (2013). *AgriFutura* (No. 162). Recuperado de <https://www.phillipsmcdougall.com/home.asp>.

Pratissoli, D., Lima, V. L., Pirovani, V. D., & Lima, W. L. (2015). Occurrence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on tomato in the Espírito Santo state. *Horticultura brasileira*, 33(1), 101-105. doi:10.1590/S0102-053620150000100016.

Ravensberg, W. J. (2011). Critical factors in the successful commercialization of microbial pest control products. En W. J. Ravensberg (Ed.), *A roadmap to the successful development and commercialization of microbial pest control products for control of arthropods* (pp. 295-356). Dordrecht, Holanda: Springer.

Ravensberg, W. J. (2015). *Crop protection in 2030: towards a natural, efficient, safe and sustainable approach*. Ponencia presentada en Biopesticides innovative technologies and strategies for pest control. Swansea, Gales.

Rubio, V., & Fereres, A. (2002). *Control Biológico de Plagas y Enfermedades de los Cultivos*. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/13780/1/46.%20Rubio%20and%20Fereres%2C%202005.pdf>.

Schisler, D., Slininger, P., Behle, R., & Jackson, M. (2004). Formulation of *Bacillus* spp. for biological control of plant diseases. *Phytopathology*, 94(11), 1267-1271. doi:10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267.

Seiber, J. N., Coats, J., Duke, S. O., & Gross, A. D. (2014). Biopesticides: state of the art and future opportunities. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62(48), 11613-11619. doi:10.1021/jf504252n.

Sundari, S., Singh, A., & Yadava, P. (2016). Review of current research advances in microbial and phyto-biopesticides. *International Journal of Biotechnology and Biomedical Science*, 2(1), 73-77.

The Economist. (2016). *The future of agriculture*. Recuperado de <http://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-09/factory-fresh>.

The Economist. (2017). *Why companies in the chemicals industry are mixing*. Recuperado de <https://www.economist.com/news/business/21722701-farmers-chagrin-deal-mania-has-seized-chemicals-suppliers-why-companies-chemicals>.

Trebilcock, P. (2016a). Biocontrol en Latinoamérica, Tierra de oportunidades. *Revista New Age International*. (octubre/noviembre), 50-60.

Trebilcock, P. (2016b). Brasil: Los Nuevos pasos del Laboratorio de Farroupilha Lallemand. *Revista New Age International*. (octubre/noviembre), 32-33.

Van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2017). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1), 1-21. doi:10.1007/s10526-017-9801-4.