

Control microbiológico como experiencia de sostenibilidad local en la agricultura centroamericana

Microbiological control as experience of local sustainability in Central American agriculture

William Rivera-Méndez¹

*Fecha de recepción: 15 de junio del 2015
Fecha de aprobación: 13 de octubre del 2015*

Rivera-Méndez, W. Control microbiológico como experiencia de sostenibilidad local en la agricultura centroamericana. *Tecnología en Marcha*. Edición Especial Biocontrol. Pág 31-40.

¹ Ingeniero en Biotecnología. Tel. (506) 25509094, correo electrónico: wirivera@itcr.ac.cr. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Biotecnología, Laboratorio de Control Biológico. Cartago, Costa Rica.

Palabras clave

Control microbiológico; plagas; enfermedades; desarrollo sostenible; sostenibilidad.

Resumen

En las últimas décadas se ha experimentado un auge en la investigación y en la aplicación de técnicas de control biológico de plagas y enfermedades agrícolas. La penetración de este tipo de tecnologías de producción se ve reflejada en los cambios observados en el mercado global de bioplaguicidas. La investigación sobre los agentes de control biológico (ACB) y la aparición de empresas y productos basados en microorganismos parecen reafirmar esta tendencia. El objetivo de esta publicación es analizar, con un enfoque de desarrollo sostenible, la reciente introducción del control microbiológico de plagas y enfermedades en la agricultura centroamericana. Se discute sobre los efectos de la expansión del uso de estas tecnologías en los ámbitos social, económico y ambiental. Se enumera una serie de retos que los diversos actores y sectores vinculados deben enfrentar si desean lograr que esta sea una tecnología inclusiva, eficiente y competitiva. Se concluye que, aunque el control microbiológico aún se encuentra en desarrollo, se puede convertir en una opción para transformar nuestros sistemas agrícolas altamente dependientes de insumos sintéticos en sistemas productivos sostenibles.

Keywords

Microbiological control; plagues; diseases; sustainable development; sustainability.

Abstract

In the last decades it has experimented a boom in the research and the application of technics for biological control of pest and diseases. The penetration of this kind of production technologies are reflected in the changes observed in the global market for biopesticides. The research about biological control agents (BCA's) and the emergence of enterprises and microorganisms-based products seem reaffirm the trend. The publication's objective is analyze, focused on sustainable development, the recent introduction of microbiological control in the Central American agriculture. It discusses about the effects of the expansion in the use of the technology in the social, economic and environmental sphere. It lists the challenges that several actors and sectors linked must deal if they wish this technology be inclusive, efficient and competitive. It concludes that although microbiological control is still in develop, it could transform in option for change our agricultural systems highly dependent of synthetic inputs in sustainable productive systems.

Introducción

En las últimas décadas se ha experimentado un auge en la investigación y la aplicación de técnicas de control biológico de plagas y enfermedades con fines agrícolas. La suma de los problemas ambientales y sociales provocados por un uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos, las nuevas exigencias de los mercados ante la globalización y las necesidades de desarrollo tecnocientífico en el campo agrícola han sido los impulsores de este auge.

La penetración de este tipo de tecnologías de producción se ve reflejada en los cambios observados en el mercado global de bioplaguicidas. Para 2013 las ventas de estos insumos

ascendieron a US\$1,213 millones y se espera que para el año 2017 alcancen un valor cercano a US\$3,200 millones (Markets and Markets, 2015).

En América Latina la situación ha mostrado un comportamiento similar, destacándose casos como los de Brasil, México y Cuba, donde la cantidad de hectáreas a las que se les aplican estos productos aumenta cada año, con tasas importantes de crecimiento. La tasa de incremento general de ventas para la región latinoamericana se calcula en 17% hasta el año 2019. Aparte de las cifras disponibles sobre el mercado de bioplaguicidas, existen muchas experiencias documentadas en casi todo el continente donde su uso empieza a demostrar el nivel de expansión en la agricultura latinoamericana (Bettioli et al., 2015).

La investigación sobre los agentes de control biológico (ACB), por otro lado, parece tomar un rumbo similar. Si bien no existen datos sobre la cantidad de publicaciones producidas en la región centroamericana en el tema, es evidente cómo ha crecido la información disponible, generada principalmente por los institutos de investigación adscritos a las universidades y difundida no solo a través de las revistas especializadas, sino también en congresos, seminarios y cursos.

Una de las razones principales del interés en el potencial del control biológico como parte de los sistemas de manejo integrado de plagas y enfermedades parece responder a las exigencias de los mercados y a la concientización de la población sobre la protección ambiental y al cuidado de la salud humana, ambos temas presentes en las agendas de desarrollo sostenible a nivel mundial (Naranjo et al., 2015).

El objetivo de esta publicación es analizar, con un enfoque de desarrollo sostenible, la reciente introducción del control microbiológico de plagas y enfermedades en la agricultura centroamericana. Se pretende discutir sobre los efectos de la expansión del uso de estas tecnologías en los ámbitos económico, social y ambiental.

Control microbiológico de plagas y enfermedades

El control biológico es una estrategia de combate de plagas y enfermedades que se basa en el uso de organismos o parte de ellos. Estas partes pueden ser estructuras o compuestos químicos derivados. Se debe diferenciar entre control biológico y control natural. El primero involucra la intervención del ser humano a través del aumento en la cantidad del organismo controlador o mediante la conservación. El control natural se hace sin intervención humana, pero constituye la base de cualquier sistema agroecológico.

El tipo de control biológico al que hacemos referencia en este documento se caracteriza por utilizar microorganismos como agente patogénico o controlador, es decir, control microbiológico. Si bien existen referencias a lo largo de la historia sobre su uso, ha sido en los últimos 30 años que este tipo de estrategia ha cobrado relevancia. A nivel centroamericano, si bien existen experiencias aisladas desde los años 60, fue después de la década de los 90 que se dio una expansión significativa, comenzando con la creación del Centro para Control Biológico en Centroamérica en la Escuela Agrícola Panamericana, en 1989 (Cave, 1992).

En la actualidad se dispone de mucha información sobre algunos microorganismos estudiados. Sin lugar a dudas, los hongos y las bacterias han sido los organismos utilizados más ampliamente. Según el tipo de objetivo hacia el que van dirigidos, se clasifican en bioinsecticidas, biofungicidas, biobactericidas y bionematicidas. Entre los microorganismos más estudiados están las bacterias de los géneros *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. e *Erwinia* sp. y los hongos como *Trichoderma* sp., *Metarhizium* sp., *Beauveria Bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, *Hirsutella* sp., *Entomophthora* sp. e *Gliocladium* sp., entre otros.

En cuanto a la tecnología de producción de estos organismos, se destacan la de fermentación sólida y la líquida. La fermentación líquida se ha empleado tradicionalmente para el cultivo de bacterias y la de fase sólida para el cultivo de hongos. En ambos casos se ha buscado tener biomasa o compuestos del metabolismo secundario, que funcionan como principio activo de los productos.

En el caso de la biomasa, se han desarrollado metodologías para la obtención de células (diversos tipos celulares) que sirvan para la dispersión del agente biológico en el ambiente. Este es el caso de las esporas, los conidios, células vegetativas, clamidósporas y blastósporas. Los productos para control biológico que basan su principio activo en la biomasa son los más utilizados en Centroamérica. Muchos de ellos provienen de tecnologías de producción artesanales o semiartesanales. Incluso, muchos productos altamente industrializados provienen de fermentaciones sólidas como medio de obtención de la biomasa, con la particularidad de que luego sufren un proceso de formulación.

En el caso de los productos que utilizan los compuestos del metabolismo secundario como ingrediente para el control, generalmente se obtienen de tecnologías de fermentación líquida, que se caracterizan por ser más controladas y requerir de mayor tecnificación (Barrios-González, 2012). Este tipo de productos proviene de empresas con mayor capital y en general se presentan en forma de compuestos líquidos o emulsiones. El uso de estos productos puede ser muy efectivo pero no es un medio para la dispersión ni la perpetuación del organismo en el ambiente.

Existen varios mecanismos asociados a la capacidad biocontroladora de un determinado microorganismo, ya sea por su capacidad antagónica o entomopatógena. Algunos de estos mecanismos dependen en buena medida de la producción y liberación de compuestos del metabolismo secundario del microorganismo. Estos son compuestos bioactivos de bajo peso molecular, cuya diferenciación parece responder a procesos evolutivos a través de la selección natural (Brakhage & Schroeckh, 2011). Pueden ser producidos y liberados al medio exterior como una secreción o como un compuesto volátil.

Se han descrito numerosas funciones para este tipo de compuestos. Normalmente se encuentran asociados a procesos de patogénesis, de señalización de vías metabólicas, en respuesta a reacciones de estrés, en la promoción del crecimiento y como activadores de defensas vegetales. Debido a su variada naturaleza, muchos tienen una función desconocida en el organismo productor y en las interacciones en las que participan, sin embargo, han mostrado tener importantes aplicaciones para el ser humano.

Enfoque de sostenibilidad en el control microbiológico

Una de las razones principales que ha dado pie a un uso más extensivo de las técnicas de control biológico han sido los efectos ambientales y sociales del uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos. Entre esos efectos se pueden citar la contaminación de fuentes subterráneas y superficiales de aguas, la degradación química de los suelos de labranza, la pérdida de integridad física de las partículas del suelo, la supresión de poblaciones de organismos benéficos, la aparición de especies, variedades, patotipos y formas especiales de organismos con mayor potencial patogénico, parasítico o con una resistencia inusual a los insumos sintéticos (Damalas et al., 2011).

Si se mencionan los efectos sociales, cobran particular importancia las intoxicaciones agudas y graves, el debilitamiento del sistema inmunológico de los trabajadores, las alteraciones del sistema nervioso y los daños congénitos. También se pueden describir las intoxicaciones por ingesta de agua contaminada y los enfrentamientos, cada vez más frecuentes, entre

comunidades y empresas agrícolas ubicadas alrededor por disputas y contaminación de los recursos naturales.

En los países de Centroamérica, el uso de controladores biológicos se inició en los años 80. Al comienzo se aprovecharon como alternativas para la sustitución de plaguicidas restringidos y la tecnología fue promovida por la interacción de universidades, centros de investigación e instituciones autónomas y semiautónomas (Obregón, 2007). Basándose en algunos casos exitosos, el modelo se empezó a transferir a productores y pequeños campesinos de las zonas rurales.

Los centros universitarios y algunas instituciones de capacitación técnica de los distintos países implementaron programas de investigación y enseñanza para promover este tipo de agentes de control. Es ahí donde se inicia el desarrollo de experiencias de trabajo con empresas medianas y grandes, exportadoras y transnacionales. Estas sirvieron como base para el desarrollo de protocolos, programas de aplicaciones y metodologías de uso, que con el paso del tiempo se fueron afinando hasta lograr que el combate biológico fuera parte de las técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades utilizadas por el sector productivo.

A partir de ese momento comienzan a aparecer pequeñas empresas productoras y comercializadoras de controladores biológicos. Estas firmas han basado su producción en algunas bacterias, como *Bacillus thuringiensis*, *B. subtilis* y *Azotobacter* spp., pero sobre todo en la producción de los hongos antagónicos *Trichoderma* spp., *Lecanicillium lecanii* y *Gliocladium* spp., además de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*.

La aparición de empresas relacionadas con el sector de control biológico ha traído consigo varios fenómenos de tipo económico y social. Entre los más sobresalientes está la aparición de profesionales con conocimientos que van desde niveles muy básicos hasta posgrados en control biológico y el desarrollo de micro y pequeñas empresas de producción en las zonas rurales. Además, muchas empresas comercializadoras de plaguicidas y fertilizantes sintéticos han incluido en sus líneas de productos insumos basados en microorganismos.

Estos nuevos desarrollos adquieren forma a través de la instalación de biofábricas, que son instalaciones utilizadas en este caso para la producción de hongos y bacterias (Machado et al.; 2011) por parte de empresarios, pequeños grupos comunales, grupos de mujeres, cooperativas e incluso empresas agrícolas. Desde este punto de vista, el joven gremio de productores de microorganismos está realizando un aporte a algunas economías locales, ya que no solo consumen mano de obra sino que disponen de un pequeño capital para el desarrollo de inversiones y compra de servicios, como la construcción de edificios, bodegas, mantenimiento de vehículos y maquinaria y transporte de trabajadores.

Son ya bastantes los casos de grandes empresas agrícolas o fincas dirigidas por compañías transnacionales que han logrado establecer su propia biofábrica para el autoconsumo. En estos casos, generalmente se promueve la capacitación de algunos peones para la ejecución de las labores técnicas de reproducción de organismos. Según el tamaño de estas instalaciones, se contrata personal científico o con mayor grado de capacitación o se incorporan jóvenes profesionales provenientes de la zona. Los operarios relacionados con las labores técnicas usualmente son mujeres, lo que refuerza las economías domésticas.

Existen esfuerzos que involucran a sectores agrícolas completos en el desarrollo de productos y programas de control biológico, tal es el caso de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), a través de la Dirección de Investigación (DIECA), que mantiene un importante programa de control de barrenadores en el cultivo y cuyo centro de reproducción exporta microorganismos desecados a otras naciones centroamericanas (Sáenz & Blanco, s.f.).

Actualmente son las universidades estatales y algunas instituciones de carácter técnico las que poseen las biofábricas o los centros de reproducción más grandes y tecnificados en Centroamérica, con algunas excepciones del sector privado. Las universidades han desarrollado estos centros como modelos de investigación y aplicación de microorganismos. Por ejemplo, en Honduras se destaca la Escuela Agrícola Panamericana (El Zamorano), en Nicaragua la Universidad Nacional Agraria y la UNAN-León y en Costa Rica la Universidad de Costa Rica, el Instituto Tecnológico y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (Cave et al., 2013).

Estos centros universitarios promueven la formación de nuevos profesionales con conocimientos en control biológico, tales como ingenieros agrónomos, técnicos agrícolas, ingenieros agrícolas, ingenieros en biotecnología o ingenieros ambientales y personal científico. Además, brindan capacitación a productores y empresas de todo tamaño, de manera que se realizan servicios de docencia, investigación y extensión. Esto ha servido de base para promover un nuevo acercamiento entre el sector productivo y la academia, ya no solo a través de venta de análisis y recomendaciones, sino mediante la formación e instrucción técnica. Incluso, muchos centros universitarios comercializan los microorganismos que reproducen a precios accesibles para los productores de forma directa.

Todavía el sector de producción de productos basados en el control microbiológico es muy pequeño y su contribución a la economía centroamericana no es sensible, ni siquiera al punto de ser detectada en las estadísticas macroeconómicas o de sectorización de los países de la región, pero es evidente que se ha iniciado un proceso de expansión, en el que aparecen cada vez más empresas productoras, formuladoras y distribuidores que afectan positivamente la microeconomía. En países con un mayor desarrollo en producción de microorganismos para control biológico, como Colombia México, Brasil y Cuba, se reconoce su aporte a la dinámica de las economías locales (García, 2011).

En el plano ambiental, los problemas de contaminación y las nuevas exigencias del mercado han hecho posible la introducción de estrategias de control biológico en las fincas de producción. Si bien existen algunas experiencias cuyo origen es la concientización ambiental, la gran mayoría de casos de uso de biocontroladores ha sido forzada o influenciada por terceros.

En muchos casos, la sustitución de plaguicidas ha sido el resultado de presiones de sectores ambientales, económicos, políticos y de las comunidades. Tal es el caso de la producción de melón en las costas pacíficas, donde, debido a la restricción del uso de bromuro de metilo, los productores se han visto forzados a implementar nuevas alternativas de control para los hongos del suelo, en especial *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* y algunos que atacaban los frutos, como es el caso de *Botrytis*.

Los conflictos entre las comunidades y empresas agrícolas se han vuelto cada vez más recurrentes, pues los primeros reclaman la contaminación de las fuentes de agua con el uso de plaguicidas sintéticos por moléculas persistentes o de fertilizantes. Existen reportes de enfrentamientos, sanciones sanitarias y casos presentados ante los sistemas judiciales (Acuña, 2006).

Otro factor que ha propiciado la introducción de microorganismos para el biocontrol han sido los casos de intoxicaciones agudas registrados en los distintos países, producto del mal uso de los plaguicidas sintéticos por exceso en las dosis, por falta de medidas e instrumentos de protección o por la toxicidad de las moléculas utilizadas como ingrediente activo. Existen muchos informes en los que se puede encontrar información sobre el uso inadecuado de plaguicidas en Centroamérica y sus consecuencias (Bravo et al., 2011; Aragón et al., 2011).

Para medir la efectividad de la tecnología del uso de microorganismos para biocontrol, se debería disponer de indicadores que permitan determinar la cantidad de los insumos registrados o importados por cada país, además de la producción de productos de control biológico nacionales. Para ninguno de los países centroamericanos se encuentra disponible esta información y no existe un sistema que permita centralizar la recolección de estos datos. Tampoco hay información disponible sobre la forma en que estos productos biológicos contribuyen al reemplazo de plaguicidas. Por esta razón, no es posible analizar con certeza el grado en que la sustitución de plaguicidas pueda verse como una consecuencia directa del uso de controladores biológicos.

Es importante hacer notar que los datos de importaciones totales de plaguicidas para la región centroamericana parecen mostrar una disminución. Ya el informe de vigilancia sanitaria de plaguicidas de la Organización Panamericana de la Salud mostraba para el año 2002 una tendencia a la baja (OPS, 2004). Este documento señala además que Belice, Costa Rica y Panamá tenían el índice más elevado de plaguicidas importados por kilogramo. Al analizar datos más recientes sobre Costa Rica, se encuentra que desde 2006 hasta 2010 el país volvió a incrementar sus índices de importación, y a partir de ese año hasta la fecha ha vuelto a darse una disminución, reduciéndose en cerca de 4,000 toneladas la cantidad de ingrediente activo importado en los últimos cuatro años (Programa Estado de La Nación, 2014).

Sin embargo, esas variaciones no pueden atribuirse al uso de plaguicidas biológicos ni mucho menos a los plaguicidas de origen microbiano, pues existen numerosas variables que afectan la importación total de plaguicidas; por ejemplo, la variación en el área sembrada para cada año, las condiciones climáticas, el consumo de otros plaguicidas como los de origen botánico, el área destinada a la agricultura orgánica y factores particulares de la legislación de cada país. No obstante, sin lugar a duda los insumos microbiológicos tienen una contribución en dicha disminución. Algunos de los datos anteriores se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Resumen de la situación agrícola de Costa Rica período 2006-2013.

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Área sembrada de las principales actividades agrícolas (ha)	441.552	437.569	441.697	473.210	482.933	498.667	486.587	486.222
Cultivo orgánico (porcentaje del cultivo total)	2,4	1,8	1,8	1,7	2,3	1,9	1,9	1,5
Importación total de plaguicidas (ton de ingrediente activo)	8.495	11.583	13.530	11.825	14.589	11.817	12.377	10.439

Fuente: Programa Estado de la Nación, Costa Rica, 2014.

Una situación similar ocurre cuando se trata de usar el porcentaje de cultivos orgánicos con respecto a los cultivos totales en el país como indicador de sostenibilidad. En este caso, contrario a lo esperado, el cultivo orgánico en Costa Rica va en disminución desde 2006.

Los productos de control microbiológico fueron un importante aliado para el crecimiento de los cultivos orgánicos establecidos alrededor del año 2000, pero poco a poco han ido migrando hacia otros sistemas agrícolas enmarcados como agricultura sostenible e incluso en los sistemas de agricultura convencional. En este momento no solo los sistemas orgánicos consumen productos microbiológicos, por lo que no existe una relación directa que pueda ser determinante entre ellos. De forma general, tampoco existen indicadores indirectos que nos permitan evaluar el uso de productos microbiológicos desde una perspectiva de sostenibilidad.

No solamente existe un vacío de información relacionada con aspectos técnicos, sino además con aspectos económicos y sociales de este tipo de tecnologías. Sin esta información y con una carencia de indicadores relacionados, es imposible analizar desde una perspectiva de desarrollo sostenible las contribuciones generadas por el uso de plaguicidas microbiológicos a nivel nacional o regional, y los análisis a nivel local solo se pueden hacer mediante la valoración y recopilación de experiencias en cada país.

Conclusiones y retos de sostenibilidad para el control microbiológico

La tecnología del uso de plaguicidas microbiológicos para el control de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas está todavía en desarrollo. Actualmente muchas universidades y centros de investigación realizan importantes esfuerzos para la consolidación de estas opciones biológicas; además, muchas micro y pequeñas empresas aprovechan el conocimiento generado para la creación y comercialización de productos.

La percepción general es que cada vez se utiliza más este tipo de insumos en los sistemas agrícolas, sin embargo, no existen indicadores disponibles que permitan realizar una adecuada evaluación de la situación actual. El primer reto para el control microbiológico y los sectores productivo y académico relacionados es la creación de este tipo de indicadores y los sistemas de manejo de información adecuados para tal fin. Esto requerirá un esfuerzo conjunto para definir el tipo de información que se quiere obtener, la multidimensionalidad con que se quiera construir cada uno de esos indicadores y la forma en que se gestionará la información (Phelán, 2011).

Otro reto por asumir es que los sectores involucrados presionen a los gobiernos para facilitar o promover el uso de este tipo de tecnologías en los sistemas productivos tradicionales, y allanar el camino para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles. Esto es particularmente importante en los productos agrícolas de exportación, de forma que la contribución que estos insumos realizan en la producción nacional se pueda ver reflejada en la macroeconomía. La promoción de la agricultura sostenible pasa por la aprobación de leyes y reglamentos, de sistemas de registro de insumos, de financiamiento para empresas agrícolas y de bioinsumos, de educación de la población y de estrategias y políticas alimentarias y productivas.

Por supuesto que la agricultura familiar y la agricultura para el mercado local son piezas fundamentales en el desarrollo y consolidación de los productos de control microbiológico. Estos sistemas agrícolas, caracterizados por pequeñas producciones, deben ser atendidos e incluidos en los esquemas de comercialización de las nascentes industrias de biocontrol. Indudablemente, la atención de este sector debe realizarse en coordinación con los servicios de asistencia técnica y extensión de los ministerios o secretarías de Agricultura de cada país. En este caso se está hablando de un compromiso de disponibilidad de dichos insumos sin importar el sector agrícola, el tamaño de la producción o la capacidad adquisitiva del agricultor.

Es evidente que existe un reto comercial, a través del cual los insumos microbiológicos deben mostrar una eficiencia adecuada y un precio accesible, lo que permitirá la sustitución de los plaguicidas sintéticos. Muchas veces, esta sustitución encuentra como barreras la falta de

confianza en el producto, su elevado precio o una pobre relación costo-beneficio. La eficiencia de este tipo de productos y su precio están íntimamente relacionados con los medios y métodos de producción y la estabilización del producto final. Por esta razón, los productores de bioinsumos deben apoyarse en los centros de investigación locales, de manera que se logren desarrollar formulados eficientes y baratos, capaces de competir en igualdad de condiciones con los plaguicidas sintéticos.

Si bien los programas y productos de control biológico en Centroamérica han mostrado que pueden ir ganando espacio poco a poco en los sistemas productivos, todavía deben dar un salto de calidad que asegure su efectividad, eficacia y disponibilidad. Es necesario que la nascente industria supere los límites de producción semiartesanal y que los centros de investigación establezcan programas de vinculación y transferencia tecnológica efectivos, de forma tal que los nuevos conocimientos no queden en poder de las universidades, sino que el resto de la sociedad pueda percibir sus beneficios.

La tecnología de control microbiológico de plagas y enfermedades puede convertirse en un ejemplo magnífico de iniciativas para el desarrollo sostenible, debido a sus características intrínsecas. Pero para que efectivamente, en este caso, el desarrollo vincule las esferas económica, ambiental y social, primero debe darse una integración de todos los actores que pueden ser parte importante de este proceso: agricultores, empresarios, políticos, académicos, técnicos e inversionistas. Si bien es cierto que a nivel centroamericano la aplicación de control microbiológico en campo ha sobrepasado las capacidades de investigación y gestión de las universidades, es necesario retomar y darle una nueva dimensión al vínculo universidad-empresa-agricultor. Solo a través de la cooperación y el trabajo coordinado es que el control microbiológico se convertirá en una opción para transformar nuestros sistemas agrícolas altamente dependientes de insumos sintéticos en sistemas productivos sostenibles.

Bibliografía

- Acuña, G. (2006). Producción de piña en Caribe y Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Ambientico*, 158.
- Aragón, A., Partanen, T., Felknor, S. & Corriols, M. (2011). Social determinants of workers' health in Central America. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 17(3), 230-237.
- Barrios-González, J. (2012). Solid-state fermentation: physiology of solid medium, its molecular basis and applications. *Process Biochemistry*, 47(2), 175-185.
- Bettioli, W., Rivera, M., Mondino, P., Montealegre, J. & Colmenarez, Y. (2015). *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*. Embrapa Meio Ambiente-Livros científicos (ALICE).
- Brakhage, A. & Schroeckh, V. (2011). Fungal secondary metabolites-strategies to activate silent gene clusters. *Fungal Genetics and Biology*, 48(1), 15-22.
- Bravo, V., Rodríguez, T., Joode, B.V.W., Canto, N., Calderón, G.R., Turcios, M. & Wesseling, C. (2011). Monitoring pesticide use and associated health hazards in Central America. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 17(3), 258-269.
- Cave, R. (1992). Centro para control biológico en Centro América. Escuela Agrícola Panamericana, Departamento de Protección Vegetal. Honduras, Centroamérica.
- Cave, R., Trabanino, R. & Pitty, A. (2013). Zamorano y sus Contribuciones a la Agricultura Sostenible a Través del Control Biológico de Plagas. *Ceiba*, 52(1), 26-38.
- Damalas, C.A. & Eleftherohorinos, I.G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402-1419.
- García, G. (2011). La propiedad intelectual en las biofábricas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 1(27).
- Machado, A.C.R., Monteiro, A.C., de Almeida, A.M.B. & Martins, M.I.E.G. (2011). Tecnologia de produção de fungo entomopatogênico pelo sistema bifásico de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(10), 1157-1163.

- Markets and Markets. (2015). *Biopesticides Market by Active Ingredient, by Types, by Application, by Formulation, by Crop Type & by Geography. Global trends & forecasts to 2019*. Obtenido de <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biopesticides-267.html?gclid=CJil7KiDn8UCFUc2gQoddRAAnQ>
- Naranjo, S.E., Ellsworth, P.C. & Frisvold, G.B. (2015). Economic Value of Biological Control in Integrated Pest Management of Managed Plant Systems. *Annual Review of Entomology*, 60, 621-645.
- Obregón M. (2007). Costa Rica experience in crop disease biological control. *IX Reunião Brasileira sobre Controle Biológico de Doenças de Plantas*. São Paulo, Brasil.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2004). *Vigilancia sanitaria de plaguicidas: experiencia de PLAGSALUD en Centroamérica*.
- Phélan, M. (2011). Revisión de índices e indicadores de desarrollo: aportes para la medición del buen vivir (sumak kawsay). *OBETS: Revista de Ciencias Sociales* (6), 69-96.
- Programa Estado de la Nación. (2014). *Cuarto Informe Estado de la Educación*. San José.
- Sáenz, J.L. & Blanco, N.A. (2012). *Informe para discusión. Desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en el siglo XX: aspectos económicos, institucionales y tecnológicos*. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.