



## Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador

### Biological Control: A tool for sustainable agriculture, a point of view of its benefits in Ecuador

Viera-Arroyo William Fernando<sup>1\*</sup> , Tello-Torres Cristina Margarita<sup>1</sup> , Martínez-Salinas Aníbal Arturo<sup>1</sup> ,  
Navia-Santillán Daniel Fernando<sup>1</sup> , Medina-Rivera Lorena Anabel<sup>2</sup> , Delgado-Párraga Alex Gabriel<sup>2</sup> ,  
Perdomo-Quispe Cynthia Estefanía<sup>2</sup> , Pincay-Verdezoto Ana Katherine<sup>2</sup> , Báez-Cevallos Francisco Javier<sup>1</sup> ,  
Vásquez-Castillo Wilson Arturo<sup>3</sup> , Jackson Trevor<sup>4</sup> 

#### Datos del Artículo

#### Resumen

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (INIAP).  
Av. Eloy Alfaro N30-350 y Amazonas  
Quito. Ecuador.  
Tel: +593 2 256 7645  
[cristina.tello@iniap.gob.ec](mailto:cristina.tello@iniap.gob.ec)  
[anibal.martinez@iniap.gob.ec](mailto:anibal.martinez@iniap.gob.ec)  
[daniel.navia@iniap.gob.ec](mailto:daniel.navia@iniap.gob.ec)  
[franciscobaez86@hotmail.com](mailto:franciscobaez86@hotmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (IICA).  
Av. 12 de Octubre N24-584 y Francisco Salazar (esq.), edif. Torre Sol Verde, piso 2  
Quito. Ecuador  
Tel: +593 2 290 9002  
[lorena.medina@iica.int](mailto:lorena.medina@iica.int)  
[alex.delgado7521@yahoo.com](mailto:alex.delgado7521@yahoo.com)  
[stefyv-perdomo@hotmail.com](mailto:stefyv-perdomo@hotmail.com)  
[anapincay3475@gmail.com](mailto:anapincay3475@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidad de las Américas. (UDLA).  
Av. de los Granados y Colimes esq.  
Quito. Ecuador  
Tel: +593 2 398 1000  
[wilson.vasquez@udla.edu.ec](mailto:wilson.vasquez@udla.edu.ec)

<sup>4</sup>AgResearch Ltd.  
Based at Lincoln Research Centre  
Christchurch, New Zealand  
Tel: +64 3 325 9997  
[trevor.jackson@agresearch.co.nz](mailto:trevor.jackson@agresearch.co.nz)

\*Dirección de contacto:  
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (INIAP).  
Av. Eloy Alfaro N30-350 y Amazonas  
Quito. Ecuador.  
Casilla postal: 170401  
Tel: +593 2 256 7645

William Fernando Viera-Arroyo  
E-mail address: [william.viera@iniap.gob.ec](mailto:william.viera@iniap.gob.ec)

#### Palabras clave:

Agricultura sustentable,  
control biológico,  
control de calidad,  
microorganismos benéficos,  
Ecuador,  
normativa,  
producción agrícola.

La agricultura atraviesa una crisis mundial, la productividad y la sostenibilidad son dos factores que los agricultores están desafiando para producir más alimentos, preservar el medio ambiente y la salud de los seres vivos. Los países desarrollados y subdesarrollados necesitan adoptar nuevas alternativas productivas, que mejoren la calidad de los alimentos, preservando el medio ambiente y los ecosistemas. Actualmente, el abuso y mal uso de los productos químicos ha causado una serie de problemas como contaminación (suelo y agua) y resistencia de las plagas a los ingredientes activos. El cambio climático y otras transformaciones por las que atraviesa la agricultura, generaron hace décadas la aparición de la industria de insumos biológicos, que son productos amigables con el medio ambiente y la salud humana. Estos productos tienen características y modos de acción que ayudan al control de plagas con menos riesgos que el uso de pesticidas. Esta revisión recopila la importancia, el uso y las aplicaciones de productos biológicos basados en hongos benéficos en América Latina, destacando el proyecto "Biocontrol para Sistemas Agrícolas Sustentables" ejecutado en Ecuador, financiado por MFAT Nueva Zelanda, el cual ha demostrado la eficiencia del uso de microorganismos en la agricultura a través de los resultados de las investigaciones llevadas a cabo durante la ejecución de este Proyecto. Además, se mencionan aspectos relacionados con el control de calidad de productos biológicos y las regulaciones para su registro.

J. Selva Andina Biosph.  
2020; 8(2):128-149.

ID del artículo: 091/JSAB/2020

### Historial del artículo.

Recibido marzo 2020.  
Devuelto julio 2020.  
Aceptado septiembre 2020.  
Disponible en línea, noviembre 2020.

*Editado por:*  
*Selva Andina*  
*Research Society*

### Keywords:

Agricultural production,  
beneficial microorganism,  
biological control,  
Ecuador,  
quality control,  
regulation,  
sustainable agriculture.

### Abstract

Agriculture is going through a global crisis, productivity and sustainability are two factors, which farmers are challenging to produce more food, preserve the environment and the health of living beings. Developed and developing countries need to adopt new productive alternatives, which improve the quality of food, preserving the environment and the ecosystems. Actually, the abuse and misuse of chemical products has caused a series of problems such as contamination (soil and water) and pest resistance to active ingredients. Climate change and other transformations that agriculture is going through, generated decades ago the emergence of the industry of biological inputs, which are friendly products with the environment and human health. These products have characteristics and modes of action that help pest control with fewer risks than the use of pesticides. This review compiles the importance, use and applications of biological products based on beneficial fungi in Latin America, highlighting the project "Bio-control for Sustainable Farming Systems" executed in Ecuador, funded by MFAT New Zealand, which has shown the efficiency of the use of microorganisms in the agriculture through the research results obtained during the execution of this Project. In addition, aspects related to quality control of bioproducts and regulations for their registration are also mentioned.

© 2020. Journal of the Selva Andina Biosphere®. Bolivia. All rights reserved.

### Introducción

La creciente preocupación mundial, por los daños que el empleo excesivo de plaguicidas sintéticos está ocasionando en la salud humana, medio ambiente, biodiversidad y seguridad alimentaria, han provocado un rechazo generalizado hacia el control químico de plagas (CQP) en la producción agrícola<sup>1</sup>. En este contexto, la agricultura contemporánea se enfrenta al reto de intensificar la producción agrícola, asegurando simultáneamente la protección del medio ambiente, la salud humana, con soluciones sustentables, en las que el uso seguro y racional de plaguicidas sintéticos pueda ser un factor clave, contra la escasez de alimentos en el futuro<sup>2</sup>.

El suelo, uno de los hábitats microbianos que presenta mayor biodiversidad en la naturaleza, estimando que alberga cerca de  $10^4$  a  $10^9$  microorganismos y especies diferentes por gramo de suelo, siendo la base para la agricultura. Por esta razón, se han impulsado tecnologías amigables con el ambiente,

como es el uso del control biológico (CB) dentro del manejo integrado de plagas (MIP)<sup>3</sup>.

Durante las últimas décadas a nivel mundial, la restricción en la aplicación de agroquímicos se plantea como una necesidad para reducir el impacto negativo que causan al medio ambiente (MA)<sup>4</sup> y reducir los residuos en los productos cosechados<sup>5</sup>. Al mismo tiempo, la resistencia generada por los patógenos a muchos plaguicidas impide un control efectivo e induce a los agricultores a su sobreutilización<sup>6</sup>, lo que estimula la búsqueda e implementación de alternativas de control amigables con la salud humana y con el MA, como es el caso del CB. El CB fue concebido a inicios del siglo XIX, cuando algunos naturistas de diferentes países reseñaron el importante papel de los organismos entomófagos en la naturaleza y con el empleo de estos controladores biológicos, se intenta restablecer el perturbado equilibrio ecológico, mediante la utilización de organismos vivos o sus metabolitos para eliminar o re-

ducir los daños causados por organismos perjudiciales<sup>7</sup>.

A nivel mundial se desarrollan agentes de control biológico (ACB), organismos vivos como hongos, bacterias, virus e insectos que reducen la población de plagas que afectan a los cultivos. Los hongos en particular despiertan el interés de empresas y organismos de investigación por su papel en el control de insectos, enfermedades, sin dañar el MA y la salud. El desarrollo sustentable debe garantizar a las generaciones futuras, activos naturales equivalentes a los que las generaciones presentes heredaron y el avance de la sustentabilidad ambiental hacia la sostenibilidad requerirá cambios conductuales en las personas, los consumidores, lo que tendrá consecuencias en los roles tradicionales de la familia, la comunidad, los entes gubernamentales y el mercado, así como una reorganización completa de las técnicas de cultivos tradicionales<sup>8</sup>.

Las plagas constituyen la principal limitante de la producción agrícola, representando hasta una tercera parte o más del costo de producción, dependiendo de la severidad de ataque. Tradicionalmente, el control de plagas (CP) se lo ha realizado con el uso de productos químicos (PQ) sintéticos, muchos de los cuales generan el deterioro del ambiente, salud humana, evolución de poblaciones plaga más agresivas, la pérdida de polinizadores y predadores naturales. Los efectos negativos de los plaguicidas han impulsado la búsqueda de nuevas estrategias de control que tengan como prioridad la recuperación de los mecanismos de regulación del ambiente dentro del MIP<sup>9,10</sup>.

El CB es una alternativa amigable y natural para el ambiente, que involucra el uso de microorganismos benéficos (MB) tales como hongos, bacterias, nematodos y virus que actúan para disminuir la población de las plagas a densidades menores, sea de forma temporal o permanente<sup>11</sup>. El manejo biológico de las plagas agrícolas tiene como propósitos fundamentales: mitigar los efectos nocivos, pérdidas económi-

cas, reducir o reemplazar el uso de plaguicidas químicos, integrar las estrategias compatibles y sinérgicas para optimizar la efectividad del MIP<sup>12</sup>.

Las ventajas del CB son claras puesto que no tienen un efecto negativo para los trabajadores en el campo, actúa de manera permanente en una biodiversidad y los productos agrícolas son de primera calidad porque no tienen residuos químicos, conceptos que están estrechamente relacionados al MIP<sup>13</sup>. Por otra parte<sup>11</sup>, otras ventajas como la poca competencia en el mercado, la tendencia mundial hacia la preservación del ambiente y el consumo de alimentos libres de químicos. En general, para una implementación efectiva de una estrategia de CB se deben considerar los componentes ecológicos, sociales, desde el momento en que se descubre un ACB y durante todo el proceso de desarrollo<sup>12</sup>.

Los microorganismos utilizados para el CB deben presentar características específicas como tener crecimiento rápido, alta capacidad de reproducción y supervivencia, diferentes niveles de dormancia, estar libres de antagonistas naturales, alta habilidad competitiva, adaptabilidad a la planta tratada y una alta versatilidad en el ambiente. Existen una gran variedad de microorganismos potencialmente útiles como ACB, entre los más estudiados y de los cuales se han desarrollado un mayor número de productos se encuentran *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis*, *Paecilomyces lilacinus* y *Verticillium lecanii*<sup>11</sup>.

Las estrategias de CB más comunes son<sup>12</sup>: i). Conservación, definida como la modificación del medioambiente o de las prácticas existentes para proteger y mejorar la actividad de enemigos naturales (EN) específicos o de otros que reduzcan el efecto nocivo de las plagas, ii). Clásica, que es la introducción internacional de un ACB exótico, habitualmente coevolucionado, para su establecimiento permanente y para el CP a largo plazo, iii). Aumentativa, que implica la liberación suplementaria de EN, iv). Inoculación, definida como la inoculación intencional de un ACB con la expectativa de que se multi-

plique y controle la plaga durante un periodo prolongado de tiempo, pero no de forma permanente, y v). Inundativa, que se refiere a la liberación o aplicación de ACB en grandes cantidades para diezmar las plagas cuando su población aumenta de tal forma que el cultivo se pone en riesgo.

El objetivo de esta revisión es describir la importancia del CB como un componente vital de la agricultura sustentable que preserve los recursos naturales y el ambiente mediante la utilización de microorganismos seleccionados por su alta eficiencia e inocuidad, mencionado, casos exitosos en América Latina, principalmente en Ecuador.

## Desarrollo

El biocontrol se puede definir como el uso de organismos vivos para deprimir la población de plagas<sup>14</sup>. Existen varias referencias históricas del uso del CB a nivel mundial. La agricultura de subsistencia ha presentado prácticas que suprimían las poblaciones de plagas, pero en lugar de ser basadas en conocimientos científicamente probados, estas prácticas se basaron en la experiencia y la tradición<sup>15</sup>. El mismo autor menciona que a pesar de la falta de interés en mejorar la eficacia del EN, se hicieron algunos avances en mediados del siglo XX. En los últimos años, alrededor de 2700 EN han sido introducidos en 196 diferentes países o islas para el CP, así como más de 440 especies están siendo producidas y vendidas comercialmente a nivel mundial<sup>16</sup>. En las dos décadas pasadas, científicos dedicados al CB han estudiado los riesgos de la introducción de especies foráneas que han justificado efectividad para este tipo de control y han desarrollado protocolos de evaluación de riesgos para reducirlos<sup>17</sup>, por lo que el desarrollo de productos con especies nativas es una alternativa recomendada. La ciencia detrás del CB ha hecho notables progresos en los últimos 50 años, cambiando del ensayo y el método de error a más

predictivos enfoques basados en teorías de las interacciones controlador-plaga y las dinámicas poblacionales<sup>16</sup>. El CB tiene una larga historia de éxitos en países desarrollados y en vías de desarrollo. En Ecuador fue estudiado y aplicado antes de 1937, sin embargo, no existen muchos reportes o informes detallados de esta temática<sup>18</sup>.

*Beauveria empleado como entomopatógeno.* *Beauveria* sp., pertenece a la división Ascomycota, orden Hipocreales, es el hongo entomopatógeno más utilizado en formulaciones biológicas para el CP del orden Lepidóptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera e Hymenoptera<sup>19-22</sup>.

La infección de este hongo comienza con la adhesión de los conidios a la cutícula del huésped, luego se produce la germinación, que lo fija en la cutícula creándose una hifa que le permite penetrar al insecto con ayuda de enzimas hidrolíticas (proteasas, lipasas, quitinasas), presión mecánica y otros factores<sup>23</sup>. En la hemolinfa, los cuerpos hifales producen blastosporas que se dispersan a través del cuerpo, destruyendo tejidos, evadiendo el sistema inmunitario y produciendo toxinas que contribuyen con la muerte del hospedero<sup>24</sup>. Luego que el huésped muere y con condiciones ambientales favorables, las hifas emergen, esporulan sobre la superficie del cadáver, y por acción del viento, la lluvia u otros factores abióticos, bióticos se diseminan, pudiendo iniciar un nuevo ciclo de infección<sup>25</sup>.

La eficacia de infección está mediada por factores ambientales como humedad, temperatura, precipitación, radiación solar, factores bióticos como edad del huésped y patogenicidad del controlador biológico<sup>26-28</sup>. Por ello los propágulos deben ser formulados con aditivos, como diluyentes inertes, dispersantes, adherentes, protectantes, entre otros para aumentar el tiempo de vida útil, y asegurar su eficiencia en campo<sup>29,30</sup>. Las especies del género *Beauveria* utilizadas como insecticidas son *B. bassiana* y *B. brongniartii* en las presentaciones más

comunes, polvo mojable seguido de suspensión concentrada y suspensión emulsionable<sup>22</sup>.

Estas formulaciones han sido utilizadas en diversos cultivos para el control de ácaros (*Tetranychus urticae*), moscas blancas (*Bemisia tabaci*), escarabajo (*Gonipterus scutellatus*), broca del café (*Hypothenemus hampei*), barrenador del plátano (*Cosmopolites sordidus*), gusano defoliador (*Dione juno*), trips, pulgones, chinches, saltamontes<sup>22,25,31-33</sup>.

*Trichoderma*, principal género fúngico empleado en el control biológico. Debido a la eficiencia y facilidad de producción, *Trichoderma* está entre los ACB más exitosos en la agricultura. En el mundo se comercializan un sinnúmero de productos fitosanitarios a base de este hongo, que actúan como bioplaguicida, biofertilizante, promotor de crecimiento e inductor de resistencia natural, cuya aplicación puede ser foliar, antes de la siembra en semillas o material de propagación, tratamientos posteriores a la poda, incorporación al suelo durante la siembra o trasplante, riego, entre otras<sup>34</sup>. Las formulaciones más comunes disponibles en el mercado son polvos mojables, granulados, concentrados emulsionables y suspensiones concentradas<sup>35</sup>.

*Trichoderma* se constituye en el fungicida biológico más estudiado y empleado en la agricultura. Es un género de hongos que viven libremente en la tierra y ecosistemas de la raíz. Sus propiedades antagónicas se basan en la activación de mecanismos muy diversos. Pueden ejercer el biocontrol de hongos fitopatógenos (HF) indirectamente compitiendo por espacio y/o nutrientes, produciendo antibióticos o estimulando el crecimiento de las plantas y sus mecanismos de defensa, por otro lado, puede realizar biocontrol directamente mediante mico parasitismo<sup>36</sup>.

Algunos miembros de este género tienen asociaciones simbióticas con plantas como leguminosas, gramíneas, solanáceas y otras, mientras otras especies son utilizadas como biocontroladores contra HF como *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Sclerotium* y *Phytop-*

*hthora*, entre otros, que afectan muchos cultivos de interés comercial como arroz, maíz, cebolla, tomate, fréjol, trigo, cacao, etc.<sup>37</sup>. De igual manera son considerados excelentes biodegradantes de agrotóxicos, pesticidas de alta persistencia en el ambiente, sirviendo como agente descontaminante del suelo<sup>38</sup>, además de poseer acción antibiótica y como promotor de crecimiento vegetal (PCV).

En las etiquetas de bioformulados las especies de *Trichoderma* reportadas son: *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. atroviride*, *T. gamsii*, *T. hamatum*, *T. koningii*, *T. lignorum*, *T. polysporum* y en muchas etiquetas indican un *Trichoderma* genérico (sp. o spp.)<sup>39</sup>. Muchos productos están constituidos por una sola especie de *Trichoderma* y otros por combinaciones de dos o más especies, o mezcla con otras especies de hongos e incluso bacterias que al combinarse con materiales inertes tales como polvos, microtalcos, solventes, emulsificantes y otros aditivos, mejoran la estabilidad del microorganismo, lo protegen de las condiciones ambientales, dándoles un mayor tiempo de viabilidad durante el almacenamiento, asegurando su eficacia cuando se aplique en campo<sup>40</sup>.

Según algunos estudios realizados<sup>41</sup>, *T. inhamatum* posee una capacidad insecticida y enzimática sobre la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, alcanzando a colonizar 12 moscas, con actividad enzimática quitinolítica a los 24 días a partir de su inoculación. Otros autores<sup>3</sup>, argumentan que especies como *T. harzianum* no solo se usan como ACB, también son excelentes PCV, al favorecen la germinación de semillas como girasol y papaya (30%), lo cual permite deducir que las semillas asimilan fácilmente los productos que sintetizan los microorganismos, acelerando el proceso de germinación.

Señalan<sup>42</sup> que cepas de *Trichoderma* endofíticas de una especie vegetal como la quinua producen efectos positivos sobre el cultivo como la mejora del crecimiento de las plantas y la capacidad de reducir la severidad de *Peronospora variabilis*, debido a la

producción de sustancias que atacan directamente a los patógenos o que inducen la resistencia sistémica, lo que a su vez reduce la incidencia del patógeno en la planta.

En cultivos de alta importancia económica como el cacao se ha visto la necesidad de cambiar las estrategias de control químicas contra *Moniliophthora roreri* y *M. perniciosa*, por otras más amigables con el ambiente como es el uso de *Trichoderma* spp., por presentar altos porcentajes de inhibición en el crecimiento de estas enfermedades por su actividad mico-parásitica mediante la producción de diversos metabolitos<sup>43</sup>. Otros autores<sup>44</sup> señalan, las aplicaciones de *T. koningiopsis* y *T. stromaticum* mejoraron la sanidad del cultivo, disminuyendo la incidencia de enfermedades e incrementando la producción de mazorcas sanas. Además, *T. koningiopsis* en este estudio fue el organismo más eficaz para control, adaptándose al agroecosistema y sobreviviendo asociado al cultivo durante la época seca.

Estudios<sup>45</sup> señalaron que *Trichoderma* spp., al ser un hongo antagonista puede ser combinado con otros ACB como *Penicillium* sp., para combatir enfermedades como *Sphaeroteca pannosa*, presentando beneficio costo positivo en cultivos de rosas y obteniendo un retorno positivo de USD 1.54 con una recuperación USD 0.54, por cada dólar invertido. En Ecuador investigaciones realizadas<sup>46</sup>, presentaron que la altura, número de hojas y el peso fresco de las plantas de la variedad de piña MD-2 aumentaron positivamente con la aplicación de *T. harzianum* en pre-siembra.

Otros métodos de aplicación de *Trichoderma* spp., es mediante formulación en distintas tecnologías. La aplicación en campo de *T. koningiopsis* Th003 formulado como gránulos dispersables redujo significativamente la mortalidad de plantas en un 35% dentro de un programa de manejo integrado de la pudrición del cuello y de la raíz del tomate, resulta-

do importante dada la dificultad para controlar la enfermedad con fungicidas<sup>47</sup>.

El uso de diferentes tipos de formulaciones biológicas (polvos, gránulos, líquidos) basadas en microorganismos ha incrementado constantemente con la finalidad de reducir el uso de agroquímicos sobre el CP, siendo necesario evaluar la calidad de estos productos mediante la determinación la eficacia biológica, viabilidad y pureza, características importantes para asegurar el éxito en campo<sup>48-50</sup>. En otro estudio obtuvieron como resultados, que los bioformulados con base a *T. asperellum* presentaron mayor estabilidad durante el almacenamiento en sistemas de liberación sólidos secos en comparación con los líquidos<sup>51</sup>.

Por otro lado, estudios realizados con cuatro prototipos de bioformulaciones, tales como polvo mojable, concentrado emulsionable, gránulo cubierto y dispersable, basado en conidios de *T. asperellum*, han determinado los principales parámetros físico-químicos (actividad de agua, porcentaje de humedad, pH, densidad apisonada, suspendibilidad, tamaño de la partícula, humectabilidad, estabilidad del concentrado emulsionable) y microbiológicos (viabilidad, porcentaje de germinación, pureza, eficiencia del proceso de formulación) para un control de calidad efectivo<sup>52</sup>.

#### *Investigación sobre Trichoderma en Latinoamérica.*

En Bolivia, uno de los métodos para el CB de insectos que ha cobrado importancia en los últimos años es el uso de microorganismos como los hongos entomopatógenos con la producción de metabolitos secundarios y enzimas: proteasas, amilasas, quitinasas, etc., que son factores clave en el biocontrol<sup>41</sup>. La aplicación de *Trichoderma* como agente biocontrolador de *Helminthosporium solani* durante tres años, presentó un efecto parcial que redujo la severidad de la enfermedad entre 10 a 22%, que si bien no es expectable con fines comerciales, es una al-

ternativa biológica para la construcción del MIP en el cultivo de papa<sup>53</sup>.

En Chile, se ha evaluado la eficiencia de cepas de *Trichoderma* sp., sobre diferentes patógenos, observándose distintos grados de control según la plaga, además de especificidad de acción y el uso más seguro del biocontrolador. Por ejemplo, una cepa manifestó un excelente comportamiento en el control de *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Phytophthora* spp., y *Venturia inaequalis* en huertos comerciales de manzano y tomate, mientras que, la cepa Sherwood expuso un eficiente control de *Botrytis cinerea* tanto en laboratorio como en cultivos experimentales de lechuga<sup>54</sup>.

En Argentina, se evaluó el comportamiento antagónico *in vitro*, de 15 cepas nativas de *Trichoderma*, aisladas de muestras de suelo, frente a cepas de *Sclerotinia sclerotiorum*, a partir de la metodología de cultivos duales se seleccionaron cuatro aislados como los más eficientes al inhibir el crecimiento y la formación de esclerocios de *S. sclerotiorum*. Uno de aislados expresó un comportamiento superior, logrando anular la formación de esclerocios, además de haber registrado el máximo crecimiento en el cultivo dual; a partir de este estudio se están utilizando las cepas más promisorias en ensayos con sustratos económicos (granos partidos de maíz y trigo), para desarrollar formulados y evaluar el efecto *in vivo* como biocontrolador y promotor de crecimiento<sup>55</sup>.

En Colombia, aislamientos de *Trichoderma* sp., han manifestado un efecto antagonista sobre los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp., y *Rhizoctonia* sp., obteniéndose distintos grados de antagonismo. La mayor inhibición se identificó en el crecimiento de *Fusarium* sp., con un 78.30% en comparación con el 18.67% de *Rhizoctonia* sp. Por otra parte, la investigación expuso que la harina de plátano (al 5% y levadura al 2%, sin buffer) es un medio eficiente como sustrato para la multiplicación de *Trichoderma* sp., por su alta producción de conidios, presen-

tando una concentración final de  $1.1 \times 10^9$  conidios/mL, y pH 5.7 a los siete días del proceso<sup>56</sup>.

En Venezuela, plantaciones de sábila *Aloe vera* presentan problemas fitosanitarios ocasionados por *Sclerotium rolfsii*, patógeno que fue tratado mediante el uso de la capacidad inhibitoria de tres aislamientos nativos de *T. harzianum*, comprobándose que los aislamientos presentaron buena capacidad antagónica para inhibir el crecimiento micelial del patógeno (50-90%) e inhibición de la formación de esclerocios (86%)<sup>57</sup>.

En Perú, *Peronospora variabilis* afecta al cultivo de quinua causando una reducción en el rendimiento de hasta 99%. Una estrategia de CB para esta plaga ha sido el uso de *Trichoderma* por poseer una capacidad endofítica de hasta 60% y además ha expuesto aumento del rendimiento ( $3127.30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) en comparación con el testigo ( $1141.27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )<sup>42</sup>.

Otro uso del género *Trichoderma*, es como solubilizador de fósforo, efecto comprobado en Brasil mediante estudios realizados para determinar el aumento en biomasa de arroz bajo condiciones de invernadero. La influencia de la inoculación de *Trichoderma* en arroz se determinó a los 30 y 45 días después de la siembra, midiendo diferentes parámetros de crecimiento, incluyendo altura, longitud de raíz y materia seca. El crecimiento de las plantas aumentó significativamente (24.9 cm) en presencia de fósforo natural estimulado por *Trichoderma* en comparación con el control (18 cm). En general, la eficiencia relativa de la biomasa (RE), fue significativamente mayor, encontrando un alto contenido P disponible y eficiencia de utilización de P (P-UEF), expresados como porcentaje, que indicaron la variación entre tratamientos del 10 al 61% y del 12 al 62%, respectivamente<sup>58</sup>.

*Normativa para el control de bioinsumos.* La estabilidad y calidad de un bioplaguicida son algunos de los requisitos principales para el registro y comercialización de bioinsumos. Cada país posee entidades competentes que son responsables de elaborar

normativas y procedimientos que permitan tener un registro y asegurar la calidad de los productos que se comercializan en su territorio<sup>59</sup>.

El mercado nacional de CB en los países andinos se encuentra en crecimiento, sin embargo, no existe una normativa establecida en la mayoría de estos países para el desarrollo, elaboración, producción y comercialización de productos biológicos (PB)<sup>13</sup>.

A nivel de Latinoamérica Colombia es el país cuya normativa puede servir de ejemplo para el registro de bioformulados, la entidad encargada de regular y garantizar la calidad de los insumos agrícolas es el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) mediante la Resolución 000698 del 4 de febrero de 2011<sup>35</sup>. Hasta diciembre de 2018, en este país se han registrado 303 bioinsumos de los cuales 38 son a base de *Trichoderma*<sup>60</sup>.

Sin embargo, en países como Argentina, Chile, Bolivia, Perú, Ecuador y Venezuela las normativas y procedimientos para la regularización de bioproductos están en vías de mejoramiento. Solo el 38% de los bioformulados comercializados tienen registro<sup>39</sup>.

En Argentina, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) mediante la Resolución 350/99 ha registrado hasta el momento 27 PB de los cuales 3 son a base de *Trichoderma*<sup>61</sup>.

En Bolivia, el Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria Unidad Nacional de Sanidad Vegetal (SENASAG) mediante la Resolución Administrativa N° 055/2002 y N° 012/2006 ha registrado 10 PB de estos 3 son a base de *Trichoderma* hasta junio de 2011<sup>62,63</sup>.

En Chile, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) mediante la Resolución 3670/1999 y 2229/2001, ha registrado 21 productos a base de microorganismos de los cuales 9 tienen *Trichoderma* como ingrediente activo<sup>64</sup>. En Perú, el Ministerio de Agricultura Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), ha registrado alrededor de 120 productos a base de

microorganismos, de los cuales 17 son a base de *Trichoderma*<sup>65</sup>.

En Ecuador, el pasado 05 de agosto de 2019, La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD) emitió la normativa para el registro de bioplaguicidas y afines, mediante Resolución 143 "Manual de Procedimientos para el Registro y Control de Agentes de Control Biológico, Extractos Vegetales, Preparados Minerales, Semioquímicos y Productos Andinos Afines al Uso Agrícola". Anteriormente, los PB comerciales fueron registrados en la categoría de fertilizantes y de 13 productos que constan en la base de datos hasta abril de 2019, 4 son a base de *Trichoderma*<sup>66</sup>. Mediante la nueva resolución se espera formalizar la comercialización de bioplaguicidas, garantizar insumos de calidad en el mercado nacional, proveer de insumos agrícolas para todos los contextos productivos, regular el registro con base en requisitos acordes a las nuevas tecnologías y generar herramientas en beneficio del sector agropecuario.

*Experiencias en Ecuador: Proyecto "Biocontrol for Sustainable Farming Systems"*. En el Ecuador, su uso ha comenzado a ganar más espacio con la realización de investigaciones de empresas públicas y privadas que han implementado este tipo de insumos en varios cultivos como flores, banano, caña de azúcar, café, papa, brócoli, mora, entre otros, con resultados favorables de eficiencia en el CP y actuando como promotores de crecimiento, generando una disminución del impacto negativo del ambiente y la obtención de alimentos libres de contaminantes<sup>67-70</sup>.

En el año 2009, inició el Proyecto "Biocontrol for Sustainable Farming Systems" en Ecuador, ejecutado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (IICA), con el financiamiento de MFAT-Nueva Zelandia. Se contó con el asesoramiento de especialistas de AgRe-



search, Plant and Food Research y Lincoln University, con el objetivo de generar formulaciones de MB y tecnologías de biocontrol que puedan ser implementadas en cultivos agrícolas en las condiciones ambientales del Ecuador<sup>71</sup>.

A continuación, se presentan los principales logros alcanzados a través de dicho proyecto durante los últimos diez años, entre los cuales están:

*i). Conformación de un laboratorio de control biológico para investigación en INIAP.* Se creó un Laboratorio de Control Biológico ubicado en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, forma parte del Departamento de Protección Vegetal, en él se han generado varios procesos de investigación, principalmente sobre formulaciones microbianas a base de hongos benéficos, prospección, aislamiento y multiplicación de MB a partir de muestras de suelo y plagas con presencia de organismos antagonicos. Además, se han estandarizado metodologías para el control de calidad de PB a base de hongos. El control de calidad que se realiza comprende la implementación de pruebas microbiológicas del producto (concentración, viabilidad, porcentaje de germinación y pureza) y físico-químicas (actividad de agua, porcentaje de humedad, pH, densidad apisonada, suspendibilidad, tamaño de la partícula, humectabilidad y estabilidad de concentrado emulsionable)<sup>72</sup>. Sobre las metodologías implementadas, se han realizado capacitaciones continuas a técnicos de laboratorios de producción de bioinsumos del Ministerio de Agricultura (MAG), empresas privadas, así como a estudiantes y docentes de colegios agropecuarios y universidades.

Además, se conformó una Red de Técnicos de Laboratorios de CB, que está integrada por investigadores del INIAP, técnicos de laboratorio de empresas privadas y funcionarios gubernamentales del MAG y AGROCALIDAD. Se ha realizado diversos talleres sobre metodologías de multiplicación, producción y análisis de la calidad de bioinsumos a

base de hongos benéficos, con el fin de generar bioinsumos de alta calidad que favorezcan a la agricultura sustentable en el Ecuador<sup>72</sup>. Se espera formalizar esta Red de Técnicos, para que cuente con mayor representatividad.

*ii). Evaluación de la calidad de bioinsumos comerciales.* Durante los primeros años del proyecto, se identificó la necesidad de evaluar la calidad de PB disponibles en el mercado ecuatoriano, con el fin de conocer su situación respecto a sus características, por esta razón en el año 2011, se realizó una prospección de bioinsumos comerciales. Se realizó el control de calidad, mediante pruebas microbiológicas, para determinar la concentración, viabilidad y pureza. Se evaluaron 18 productos comerciales, de estos el 64% de los productos no poseían viable el microorganismo que se declaraba en la etiqueta, el 42% presentó un alto porcentaje de contaminación, otro 35% presentó viabilidad de conidios, pero la concentración cuantificada del microorganismo fue inferior a la reportada en la etiqueta, con base en los resultados obtenidos en los análisis, los productos comerciales evaluados tenían deficiencia en su calidad.

Una vez determinada la limitante en calidad y que esto constituía un factor determinante en la ineficiencia de los mismos, se empezó con un programa de capacitación y difusión de resultados, integrando a los diferentes actores (AGROCALIDAD, MAG, productores de bioinsumos, agricultores y universidades) que intervienen en la producción de bioinsumos. Se realizaron capacitaciones continuas en el transcurso de este proyecto sobre las metodologías que fueron estandarizadas en el INIAP para unificar criterios y estandarizar procesos de evaluación de la calidad de los bioinsumos y mejorar las metodologías de producción.

En el año 2019, se realizó una nueva evaluación, lo que permitió determinar un impacto positivo del componente de capacitación del proyecto al incidir en el mejoramiento de los sistemas de producción

de bioinsumos disponibles en el mercado ecuatoriano, sin embargo, aún hace falta llegar a más productores con talleres de capacitación. De trece productos evaluados a base de *Trichoderma* spp., el 46% cumplió con lo establecido en la etiqueta del producto. En esta evaluación, se consideró un nuevo parámetro denominado actividad de agua, que representa la cantidad de agua disponible para que los microorganismos puedan desarrollar su metabolismo, el cual influye en su crecimiento y viabilidad. Para mantener la viabilidad de un producto biológico con base en hongos, se consideran entre 0.2 a 0.7 valores de actividad de agua<sup>72</sup> de los productos evaluados 61%, presentó valores óptimos de este parámetro.

iii). *Diagnóstico de los laboratorios para control de calidad de bioinsumos en Ecuador.* Se realizó un diagnóstico a los laboratorios del sector público y empresas privadas que podrían realizar análisis de calidad de bioinsumos. El tipo de bioinsumos con los que se ha trabajado mayoritariamente son agentes de control biológico (66.67%), extractos vegetales (14.29%) y productos afines de uso agrícola (19.04%). En términos de ACB, específicamente con hongos y bacterias (43.75%), depredadores y parasitoides (43.75%) y nematodos entomopatógenos (12.5%). El 90% de los laboratorios manifestaron tener experiencia y cuentan con espacios físicos controlados para realizar bioensayos de investigación y el 71.43% de los laboratorios afirma tener la capacidad de evaluar el control de calidad de bioinsumos. El 80.95% de los laboratorios encuestados están ubicados en la región Sierra y el 19.05% en la Costa. El 90% de laboratorios están interesados en formar parte de la Red de Laboratorios de Bioinsumos que coordina AGROCALIDAD para efectuar los análisis de control de calidad; además esta actividad constituye un servicio que generará un ingreso económico.

iv). *Desarrollo de prototipos de bioformulaciones a base de hongos benéficos.* La concentración, viabilidad y pureza de una formulación, son características importantes para asegurar el éxito de una formulación. Se evaluaron las formulaciones: gránulo dispersable, gránulo cubierto, polvo mojable y concentrado emulsionable, para determinar la estabilidad y sobrevivencia de esporas de *T. asperellum* y *Purpureocillium lilacinum*, las bioformulaciones fueron elaboradas a partir de la multiplicación masiva de esporas en sustrato arroz, además se utilizaron materiales nacionales disponibles. Al realizar el control de calidad para estudiar la estabilidad de almacenamiento de los bioformulados a temperatura ambiente (16 °C), durante dos meses, se encontró que las formulaciones a base en *T. asperellum* más estables fueron las sólidas secas, sobresaliendo los gránulos cubiertos y gránulos solubles, con viabilidades de  $1.6 \times 10^8$  y  $1.7 \times 10^8$  esporas/g, concentraciones de  $3.1 \times 10^8$  y  $2.5 \times 10^8$  esporas/g, y purezas superiores al 98%, respectivamente. Mientras que en los formulados de *P. lilacinum*, el polvo mojable mostró mejores características de estabilidad a los dos meses de almacenamiento, con una viabilidad de  $1.1 \times 10^8$  UFC/g, una concentración de  $6.4 \times 10^8$  UFC/g y pureza del 99%<sup>51</sup>.

Además, se desarrollaron prototipos de bioformulaciones, tales como polvo mojable, concentrado emulsionable, gránulo cubierto y gránulo dispersable, a base de *T. asperellum*, a los cuales se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes condiciones de temperatura (ambiental de 30 °C y refrigeración de 4 °C), durante seis meses de almacenamiento. Sobresalieron el polvo mojable y el gránulo cubierto almacenados a 4 °C, con porcentajes de viabilidad superiores al 85% de conidios germinados y una concentración de colonias de  $1 \times 10^8$  UFC/g, mostrando estabilidad después de seis meses de almacenamiento. Sin embargo, el polvo mojable a 30 °C y seis de almace-

namiento mantuvo una germinación del 81%<sup>52</sup>. En general, los resultados de evaluación de las características fisicoquímicas (densidad apisonada, humectabilidad, porcentaje de humedad, actividad de agua y pH), determinaron que existió estabilidad en estas propiedades. Actualmente, se está desarrollando el escalonamiento de estas tecnologías en el Ecuador, con la intervención de la empresa privada, el cual es el modelo de escalamiento adoptado por otros países como Nueva Zelanda.

Estos estudios presentaron resultados favorables de calidad para las formulaciones en polvo y gránulos, que permiten mantener la estabilidad de los microorganismos a temperaturas ambientales, sin la necesidad de requerir cadena de refrigeración para su transporte y almacenamiento.

v). *Investigaciones en cultivos agrícolas.* El gusano blanco de la papa (*Premnontrypes vorax*) es considerado uno de los insectos plaga de mayor importancia en este cultivo debido al daño que ocasiona en el tubérculo. Para el control de dicha plaga los agricultores realizan aplicaciones de insecticidas de alta toxicidad, en algunos casos en exceso, lo que incrementa los impactos negativos para el medio ambiente y para la salud de productores y consumidores<sup>73</sup>. En un estudio, se evaluó la eficacia de dos bioformulados de *B. bassiana* (arcilla y sustrato arroz) y los tipos de aplicación (trampas con plantas cebo con el bioformulado, aplicaciones foliares del bioformulado a las 40, 60 y 80 días; aplicación de gránulos a la base de las plantas a los 40, 60 y 80 días). Se observó que con una población de 17 adultos de gusano blanco/m<sup>2</sup>, en un suelo arcillo-limoso, con contenido de materia orgánica del 9.8%, el tratamiento de bioformulado con arcilla en aplicaciones foliares y a la base de las plantas a los 40, 60 y 80 días, presentó una incidencia de daño por gusano blanco en tubérculos (8.7%), frente al testigo sin aplicación con un daño de tubérculos del 23.7%. Por lo tanto, este entomopatógeno redujo el porcentaje de daño en tubérculos cosechados, constituyendo

una alternativa biológica para su incorporación en programas de manejo de esta plaga, siempre y cuando existan buenas condiciones de humedad y alta presencia de materia orgánica en el suelo<sup>74</sup>.

En estudios en brócoli (*Brassica oleracea*), segundo producto no tradicional de exportación del Ecuador, se determinó la sobrevivencia del hongo *Trichoderma* sp., aplicado en el sustrato de plántulas de brócoli y determinar su efecto desde la siembra de la semilla hasta antes del trasplante. Las plántulas tratadas con *Trichoderma* sp., a los 32 días después de la siembra, presentaron los mayores pesos frescos en comparación con los tratamientos sin aplicación. Además, al cuantificar la concentración del hongo en el sustrato, se encontró que era inferior en los tratamientos que recibieron la aplicación de PQ ( $3 \times 10^3$  UFC/g de suelo), en tanto que los tratamientos con *Trichoderma* sp., sin aplicación de PQ mantuvieron una población del hongo superior ( $1 \times 10^4$  UFC/g suelo). Adicionalmente, se determinó la compatibilidad de *Trichoderma* sp., con PQ utilizados en el sistema de producción de plántulas. Se identificó compatibilidad del aislamiento de *Trichoderma* sp., con los pesticidas: Hymexazol, Propamocarb, Betaciflutrin, Metolacolor, Lambdacihalotrina, Lambdacihalotrina + Tiametoxam, Radian, Clorpirifos, Dimetoato, Benzoato de Emamectina y Acetamiprid; mientras que, se observó incompatibilidad con Thyram, PCNB, Captan, Carboxin + Captan, Carbendazim, Iprodione, Pyraclostrobin, Clorpirifos, Clorotalonil y Ciprodinil + Fludioxonil; determinándose que *Trichoderma* sp., puede ser incluido en sistemas de producción intensiva de plántulas de brócoli, favoreciendo su crecimiento<sup>75</sup>. El aguacate (*Persea americana*), es un frutal de importancia económica en el Ecuador y con potencial de exportación. Se evaluó el efecto de la aplicación de *T. harzianum* (0.18g/planta a una concentración de  $4 \times 10^8$  UFC/g de producto) en el sustrato de plántulas del cultivar Criollo, donde se determinó mediante análisis de absorción de nutrientes que las

plantas inoculadas presentaron en el sistema radical concentraciones de niveles más altos de macronutrientes como nitrógeno, calcio y magnesio y micronutrientes como manganeso y cobre comparado con el testigo sin aplicación; actuando este hongo benéfico como promotor de crecimiento vegetal<sup>76</sup>.

La mora (*Rubus glaucus*), es un frutal nativo de los Andes con gran potencial productivo, se validaron dos componentes tecnológicos para el manejo del cultivo de mora de castilla: a) limpio (con utilización moderada de productos sintéticos y fertilización química) y b) orgánico (con uso de abonos orgánicos (AO) y PB), ambos componentes con y sin aplicación de *Trichoderma* sp. El manejo limpio con aplicaciones del hongo presentó los mejores resultados al evaluar números de yemas por rama, flores fecundadas, frutos por rama y rendimiento, obteniéndose un rendimiento entre 19.04 t. ha<sup>-1</sup> y 24.97 t. ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la zona de producción<sup>77</sup>. Además, se identificó al agente causal de la marchitez descendente (*Dactylonectria torresensis*), enfermedad de importancia en zonas productoras<sup>78</sup>. Posteriormente, se realizaron estudios para determinar alternativas para el control de esta enfermedad, encontrándose que Carbendazim y productos alternativos como el extracto de Mirtáceas mostraron el menor porcentaje de incidencia de la enfermedad a nivel de raíces y cuello de la planta, con 22% y 36% respectivamente, comparado con el control que obtuvo un porcentaje de 74%<sup>79</sup>. Se determinó la capacidad antagonista de aislamientos de *Trichoderma* spp., frente al patógeno en condiciones *in vitro*, observándose una inhibición de crecimiento radial del patógeno del 68%; mientras que, en invernadero hubo una reducción del porcentaje de necrosis en cuello de raíz del 35%<sup>80</sup>.

Por otro lado, se evaluó el efecto de la aplicación de *T. asperellum* (1.53 x 10<sup>9</sup> UFC/g) sobre la productividad (rendimiento y peso de la fruta) del cultivo de mora, observándose un incremento de rendimien-

to entre el 13% y el 29% en comparación al control. En referencia al peso del fruto, se pudo observar un incremento de 1 g en los tratamientos donde se aplicó el hongo benéfico<sup>78,50</sup>. Además, se ha determinado que con inoculaciones periódicas (mensuales) de *Trichoderma* sp., al suelo, se logra el establecimiento del hongo, alcanzando niveles poblacionales altos en la rizósfera del cultivo<sup>81</sup>.

Se realizó un diagnóstico sobre el uso de microorganismos por parte de pequeños productores de mora. La información se recopiló en dos de las principales provincias productoras de este frutal en el Ecuador (Tungurahua y Bolívar). Se evidenció que los agricultores que han sido beneficiarios del Proyecto han adoptado la práctica del uso de MB como parte del manejo integrado del cultivo. Se determinó que el 53% de los bioproductos utilizados poseen como ingrediente activo bacterias del género *Bacillus*, el 31% son a base de *Trichoderma* y el 16% restante corresponde a otros tipos de AO con adición de combinación de microorganismos. Los agricultores manifestaron que los microorganismos son utilizados para diferentes funciones como acondicionar el suelo (53%), control de la enfermedad de marchitez descendente (41%) y para prevenir enfermedades (6%). El costo de microorganismos varía de acuerdo con los bioinsumos utilizados, encontrándose que un 42% de los agricultores gastan menos de 30 USD/tanque de 200 litros, un 35% gasta 50 USD/tanque, un 10% gasta 40 USD/tanque y un 13% gasta más de 50 USD/tanque.

El 81% de productores de mora, aplica microorganismos dos veces al año, el 16% lo realiza tres veces por año y el 3% una vez al año. El 66% de los productores de mora indicaron alcanzar un rendimiento del cultivo de 12 a 18 kg/planta, un 25% de 18 a 27 kg/planta y un 9% presentaron rendimientos inferiores a 12 kg/planta, valores que en todos los casos son superiores a la media nacional reportada por el MAG de 4 kg/planta. De los agricultores encuesta-

dos, el 80% manifestó haber recibido capacitación por parte del INIAP para el uso de microorganismos. En ensayos realizados en cultivos de banano orgánico (*Musa acuminata*) se evaluó el efecto de la inoculación de microorganismos benéficos (*Trichoderma asperellum*, *Purpureocillium lilacinum* y *Arthrobotrys* sp.) sobre las poblaciones de nematodos fitopatógenos. No encontró un efecto en la reducción de las poblaciones de nematodos patógenos así como en los de vida libre, sin embargo, en plantas tratadas con *T. asperellum* se determinó el incremento en el número de raíces sanas, lo que favoreció al incremento de la productividad del cultivo<sup>82</sup>. Además, se han evaluado hongos benéficos (*Beauveria* y *Paecilomyces*) para el control del trips *Chaetanaphothrips signipennis*, causante de la enfermedad mancha roja que causa pérdidas a pequeños y medianos de banano y plátano orgánico para exportación, donde se encontró reducción del daño por mancha roja<sup>83</sup>, sin embargo, estos hongos benéficos causan un moteado en la fruta cuando son aplicados directamente al racimo<sup>84</sup>. Por otro lado, se evaluaron productos aceptados en la agricultura orgánica, encontrándose reducción de afectación con mancha roja en un 90% en los dedos de banano mediante la aplicación de piretrina<sup>85</sup>. Y hasta un 100% con la aplicación de *Saccharopolyspora spinosa*<sup>83</sup>. En una encuesta aplicada a dos asociaciones de pequeños productores de banano en Ecuador (Asociación Tierra Fértil y ASOPROLIFLO), el 95% de los productores consideran que las pérdidas por mancha roja (thrips) son importantes y todos están dispuestos a utilizar la tecnología que el INIAP ofrece para el control de la mancha roja; pero desean continuar capacitándose mediante talleres continuos de actualización de conocimientos.

## Discusión

El CB es el control de plagas mediante la aplicación de agentes biológicos para prevenir el desarrollo de

una enfermedad por un patógeno, por lo que tiene un enfoque sostenible para el manejo de plagas, contribuyendo a la reducción en el uso de plaguicidas como parte de una estrategia de MIP<sup>86</sup>. Este tipo de control se basa en la premisa de que contrarrestar la pérdida de hábitat y las alteraciones ambientales asociadas con los cultivos de producción intensiva para conservar los controladores biológicos<sup>87</sup>. Estos organismos proporcionan un valioso servicio del ecosistema por su contribución al CB<sup>88</sup>. Por lo tanto, que la conservación de los MB es de fundamental importancia para la sostenibilidad de la producción de cultivos y que fomentan las plagas naturales<sup>89</sup>.

*Trichoderma* spp., es el principal hongo antagonico que ha sido formulado y es utilizado ampliamente en aplicaciones agrícolas debido a su conocido mecanismo de CB. También es conocido por su incidencia en el crecimiento de plantas, procesos de descomposición y biorremediación<sup>90</sup>. Estos beneficios aportan enormes ventajas a la industria agrícola para aplicar prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente.

Trabajos recientes han señalado que enfermedades comunes de las plantas como la pudrición de la raíz, mal de semillero, marchitez, pudrición de la fruta, entre otras, se pueden prevenir y controlar con *Trichoderma* spp.<sup>90</sup>. Comúnmente, los ACB no afectan a los organismos no objetivo, sin embargo, se ha reportado que *Trichoderma* spp., presenta cepas antagonicas que no se dirigen particularmente a los organismos patógenos sino que también afectan a otros microorganismos<sup>91</sup>, por esta razón se recomienda aplicarlo solo y no en combinación con otro biocontrolador.

Por otro lado, su uso en productos formulados (polvo mojable y gránulos) atrae la atención de los investigadores para descubrir más sobre otros beneficios potenciales de *Trichoderma* spp., especialmente como PCV y su incidencia en el rendimiento<sup>50,76,82,84,92</sup>, por lo cual se recomienda su aplicación como parte de los programas de manejo de los cul-

tivos agrícolas. El uso de formulados permite generar productos en los cuales el microorganismo posea un sustrato que le permita tener una estabilidad en parámetros como concentración y viabilidad, así como prolongar su vida útil en percha<sup>51</sup>. Por esta razón es necesaria mayor investigación para generar nuevos prototipos que permitan producir productos de calidad que obtengan resultados eficientes al momento de aplicarlos en los cultivos agrícolas.

El tema normativo es de suma relevancia para regular la producción de bioinsumos en un país<sup>66</sup>. Por esta razón las regulaciones implementadas en Latinoamérica permiten establecer parámetros de evaluación para el registro de productos, garantizando su calidad. Estos procesos de control deben ser rigurosos con la finalidad de evitar la comercialización de productos deficientes que provocan que el agricultor pierda la confianza y credibilidad en los bioinsumos.

En Ecuador, existe una tendencia a la adopción de controles biológicos en los sistemas de producción de los pequeños agricultores en los cuales se ha justificado sus beneficios a través de los resultados del proyecto “Biocontrol for Sustainable Farming Systems”<sup>93</sup>. Este enfoque conduce al crecimiento económico de las comunidades rurales pobres y al desarrollo del acceso a los mercados locales e internacionales. Además, mediante la adopción y promoción de sistemas de producción biológica, Ecuador puede promover su sector agrícola no solo para la producción, sino también como un lugar atractivo para el turismo ecológico y comunitario. En gran parte, este desarrollo agrícola ha permitido a Ecuador trabajar desde adentro hacia el éxito en el logro de los Objetivos de Sostenibilidad de la ONU<sup>93</sup>.

## Conclusiones

El uso de hongos benéficos principalmente *Trichoderma* sp., *Beauveria* sp. se ha incrementado en la

agricultura debido a los resultados positivos que han sido confirmados mediante la investigación generada en los distintos países de Latinoamérica que han justificado su eficiencia en el CP así como su funcionalidad como PCV incidiendo en la nutrición vegetal. Además, se ha justificado que su uso permite el desarrollo de una agricultura sustentable que permite conservar recursos naturales como el suelo y agua, así como su efecto nulo en contaminación del medio ambiente, por lo cual constituyen un componente clave para la reducción del uso de agroquímicos en los cultivos agrícolas. Sin embargo, la regulación de la comercialización de estos productos es un tema que debe continuar fortaleciéndose para que los usuarios de bioinsumos obtengan productos de calidad y eficientes, a través de procedimientos de control de calidad que permitan verificar formulaciones y eficacia de los productos.

En Ecuador, la temática de CB ha tomado importancia y actualmente existe una actitud favorable por parte de los agricultores para utilizar bioinsumos y reducir la aplicación de agroquímicos puesto que los resultados obtenidos en el Proyecto “Biocontrol for Sustainable Farming Systems” ha permitido generar confianza y credibilidad en los agricultores sobre el uso de microorganismos en la agricultura como un componente del manejo integrado de cultivos que permite proteger el ambiente y ofertar productos limpios beneficiando la salud del consumidor.

## Fuente de financiamiento

Ministry of Foreign Affairs and Trade New Zealand

## Conflictos de intereses

Estas investigaciones no presentaron conflictos de intereses.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto “Biocontrol for Sustainable Farming Systems, Ecuador” por su aporte para generar información que contribuye al fomento del uso de bioinsumos y ha generado resultados que benefician al sector agrícola ecuatoriano. Además, agradecemos a Ministry of Foreign Affairs and Trade New Zealand por el financiamiento del Proyecto.

Finalmente, el agradecimiento a los agricultores y técnicos que formaron parte de las actividades desarrolladas en el Proyecto.

## Aspectos éticos

Todas las investigaciones fueron realizadas siguiendo los procedimientos experimentales acorde a los lineamientos de INIAP y el código de ética, con la finalidad de generar resultados confiables que aporten a una agricultura sustentable en Ecuador.

## Literatura Citada

1. Sarwar M. The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: The conventional insecticides. *Int J Chem Biomol Sci* 2015;1(3):141-7.
2. Notarnicola B, Sala S, Anton A, McLaren SJ, Saouter E, Sonesson U. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *J Clean Prod* 2017;140:399-409.
3. González H, Fuentes N. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Rev Cienc Agr* 2017;34(1):17-31. DOI: <http://doi.org/10.22267/rcia.173401.61>
4. Fenner K, Canonica S, Wackett LP, Elsner M. Evaluating pesticide degradation in the environment: Blind spots and emerging opportunities. *Sci* 2013;341(6147):752-8. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1236281>
5. Verger P, Boobis A. Reevaluate pesticides for food security and safety. *Science* 2013; 341(6147):717-8. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1241572>
6. Brent K, Hollomon D. Fungicide resistance: the assessment of risk. Bruselas, Bélgica: Global crop protection federation Brussels; 2007.
7. Badii MH, Tejada LO, Flores AE, Lopez CE, Quiróz H. Historia, fundamentos e importancia. En: Badii MH, Flores AE, Galán LJ, editores. *Fundamentos y perspectivas de control biológico*. Monterrey: Cienc UANL; 2000. p 3-17.
8. Guédez C, Castillo C, Cañizares L, Olivar R. Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia* 2008;7(13):50-74.
9. Celis Á, Mendoza C, Pachón M, Cardona J, Delgado W, Cuca LE. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. *Agron Colomb* 2006;26(1):97-106.
10. Trujillo Amaga J. Control biológico por conservación: enfoque relegado. *Perspectiva de su desarrollo en Latinoamérica*. *Ceiba* 1992;33(1):17-26.
11. Crispancho Ardila MA. Control biológico de enfermedades. En: Crispancho Ardila MA, editor. *Enfermedades del café en Colombia* [Internet]. Colombia; 2003. p. 55-63. Recuperado a partir de: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/993/9/7.%20Control%20biol%C3%B3gico%20de%20enfermedades.pdf>
12. Cotes A, Fargetton X, Kohl J, Díaz A, Gómez M, Grijalba M, et al. Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros [Internet]. Mosquera: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; 2018 [citado 22-de mayo de

- 2020]. 516 p. Recuperado a partir de: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/33519.pdf>
13. Franklin Duarte Cueva F. El control biológico como estrategia para apoyar las exportaciones agrícolas no tradicionales en Perú: un análisis empírico. *Contabilidad y Negocios* 2012; 7(14):81-100.
  14. Zin NA, Badaludinn NA. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Ann Agric Sci* 2020;65(2):168-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2020.09.003>
  15. Shields M, Johnson AC, Pandey S, Cullen R, González Chang M, Wratten S, et al. History, current situation and challenges for conservation biological control. *Biol Control* 2019;131:25-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.12.010>
  16. Heimpel GE, Mills NJ. *Biological control: ecology and applications*. Cambridge: Cambridge University Press;2017.
  17. van Lenteren JC, Bale J, Bigler F, Hokkanen HMT, Loomans AJM. Assessing risks of releasing exotic biological control agents of arthropod pests. *Annu Rev Entomol* 2006;51(1):609-34. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151129>
  18. Castillo Carrillo CI. Biodiversity in Ecuador and its immense potential for agricultural pest control. En: Chong PA, Newman DJ, Steinmacher DA, editors. *Agricultural, forestry and bioindustry, biotechnology and biodiscovery*. Switzerland: Springer; 2020. p. 143-61. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51358-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51358-0_9)
  19. Lucero ML, Peña LA, Cultid L, Bolaños MA. Manejo integrado de chisas en fincas de minifundio del departamento de Nariño (Colombia). *Cienc Tecnol Agropec* 2006;7(1):70-2. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol7\\_num1\\_art:63](https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num1_art:63)
  20. Solís Soto A, García Gutiérrez C, González Maldonado MB, Medrano Roldán H, Galán Wong LJ. Toxicidad de blastosporas de *Beauveria bassiana* (VUILL) contra palomilla del manzano *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: tortricidae) *Folia Entomol Mex* 2006;45(2):195-200.
  21. Jaramillo J, Montoya E, Benavides P, Góngora CE. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de broca del café en frutos del suelo. *Rev Colomb Entomol* 2015;41(1):95-104.
  22. Mascarin MG, Jaronski ST. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World J Microbiol Biotechnol* 2016;32(11): 177. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
  23. Ortiz Urquiza A, Keyhani NO. Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects* 2013;4(3):357-74. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects4030357>
  24. Humber RA. Evolution of entomopathogenicity in fungi. *J Invertebr Pathol* 2008;98(3):262-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.02.017>
  25. Espinel Correa C, Torres Torres LA, Villamizar Rivero LF, Bustillo Pardey AE, Zuluaga Mogollón MV, Cotes Prado AE. Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga. En: Espinel Correa C, Torres Torres LA, Villamizar Rivero LF, Bustillo Pardey AE, Zuluaga Mogollón MV, Cotes Prado AE, editores. *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* [Internet]. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; 2018. p. 334-67. Recuperado a partir de: <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/21/13/166-1?inline=1>
  26. McCoy C, Quintela ED, De Faria M. Environmental persistence of entomopathogenic fungi. In: Baur ME, Fuxa JR, editors. *Factors affecting the survival of entomopathogens* [Internet]. Louisiana: University Agricultural Center, South-



- ern Cooperative Series, Bulletin 400;2002. p. 20-30.
27. Jaronski S. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *Biocontrol* 2010; 55:159-85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9248-3>
28. Fernandes ÉK, Rangel DE, Braga GU, Roberts DW. Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: a review on screening of strains and their formulation. *Curr Genet* 2015; 61(3):427-40. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00294-014-094-z>
29. Jaronski ST. New paradigms in formulating mycoinsecticides. In: Goss GR, Hopkinson MJ, Collins HM, editors. *Pesticide formulations and application systems* [Internet]. Filadelfia: ASTM STP 1328; 1997. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5044.9762>
30. Burges HD. *Formulation of microbial biopesticides: beneficial organisms, nematodes and seed treatments*. Dordrecht: Springer; 1998. p. 412.
31. Wraight S, Ramos ME. Application parameters affecting field efficacy of *Beauveria bassiana* foliar treatments against Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *BioControl* 2002; 23(2):164-78. DOI: <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.1004>
32. Lacey LA, Wraight SP, Kirk AA. Entomopathogenic fungi for control of *Bemisia tabaci* biotype B: foreign exploration, research and implementation. In: Gould J, Hoelmer K, Goolsby J, editors. *Classical biological control of Bemisia tabaci in the United States. A review of interagency research and implementation* [Internet]. Dordrech: Springer; 2008. p. 33-69. Recuperado a partir de: [file:///C:/Users/usuario/Downloads/Entomopathogenic Fungi for Control of Bemisia taba.pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Entomopathogenic%20Fungi%20for%20Control%20of%20Bemisia%20taba.pdf)
33. Malpartida Zevallos J, Narrea Cango M, Dale Larraburre W. Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill., sobre el gusano defoliador del maracuyá *Dione juno* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae) en laboratorio. *Ecol Aapl* 2013;12(2):75-81. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1-2.440>
34. Charoenrak P, Chamswang C. Efficacies of wettable pellet and fresh culture of *Trichoderma asperellum* biocontrol products in growth promoting and reducing dirty panicles of rice. *Agric Nat Resour* 2016;50(2):243-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.04.001>
35. Díaz García A, Gómez Álvarez MI, Grijalba Bernal EP, Santos Díaz AM, Cruz Barrera FM, León Moreno DM, et al. Desarrollo y escalamiento de bioplaguicidas. En Díaz García A, Gómez Álvarez MI, Grijalba Bernal EP, Santos Díaz AM, Cruz Barrera FM, León Moreno DM, editores. *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* [Internet]. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; 2019. p. 628-91. Recuperado a partir de: <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/23/14/304-1?inline=1>
36. Medrano M, Ortuño N. Control del Damping off mediante la aplicación de bioinsumos en almácigos de cebolla en el Valle Alto de Cochabamba - Bolivia. *Acta Nova* 2007;3(4): 660-79.
37. Arévalo E, Cayotopa J, Olivera D, Gárate M, Trigos E, Costa B, et al. Optimización de sustratos para la producción de conidias de *Trichoderma harzianum*. Por fermentación sólida en la región de San Martín. Perú. *Rev Investig Altoan* 2017;19(2):135-44. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2017.272>
38. Valdés Ríos EL. Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de *Trichoderma* como control biológico. *Rev Cient Agroeco* 2014;2(1):254-64.
39. Woo SL, Ruoco M, Vinale F, Vinale F, Nigro M, Marra R, et al. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *Open Mycol*

- J 2014;(8):71-126. DOI: <https://doi.org/10.2174/1874437001408010071>
40. Tijjani A, Bashir K, Mohammed I, Muhammad A, Gambo A, Musa H. Biopesticides for pests control: A review. *Journal of Biopesticides and Agriculture* 2016;3(1):6-13.
41. Vallejo Ilijama MT. Caracterización y clasificación de *Trichodermas* nativos aplicando diferentes medios de cultivo a nivel de laboratorio artesanal [tesis maestría]. [Ambato]: Universidad Técnica de Ambato; 2014 [citado 26 de mayo de 2020]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7691>
42. Leon Ttacca B, Ortiz Calcina N, Condori Ticona N, Chura Yupanqui E. Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua. *Rev Investig Altoandín* 2018;20(1):19-30. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2018.327>
43. Tirado Gallego PA, Lopera Álvarez A, Ríos Osorio LA. Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecu* 2016;17(3):417-30. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:517](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:517)
44. Hidalgo K, Suárez C. Uso de *Trichoderma* spp. para control del complejo Moniliasis-Escoba de Bruja del cacao en Ecuador. *INIAP - Estación Experimental Tropical Pichilingue* 2016;1 (4):13-6.
45. Asero J, Suquilanda M. Evaluación de *Trichoderma harzianum* y *Penicillium* sp. en el control de "Oidio" (*Sphaeroteca pannosa*) en rosas (*Rosa* sp.) variedad aalsmer gold Ascázubi, Pichincha, Ecuador; 2007. p. 1-13.
46. Sabando Ávila F, Molina Atiencia LM, Garcés Fiallos FR. *Trichoderma harzianum* en pre-transplante aumenta el potencial agronómico del cultivo de piña. *Rev Bras Ciênc Agrár* 2017; 12(4):410-4. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i4a5468>
47. Jaimes Suáres YY, Moreno Velandia CA, Cotes Prado AM. Inducción de resistencia sistémica contra *Fusarium oxysporum* en tomate por *Trichoderma koningiopsis* Th003. *Acta Biol Colomb* 2009;14(3):111-9.
48. Gerhardson B. Biological substitutes for pesticides. *Trends Biotechnol* 2002;20(8):338-43. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0167-7799\(02\)02021-8](https://doi.org/10.1016/s0167-7799(02)02021-8)
49. López Perez M, Rodríguez Gomez D, Loera O. Production of conidia of *Beauveria bassiana* in solid-state culture: current status and future perspectives. *Crit Rev Biotechnol* 2015;35(3):334-41. DOI: <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.857293>
50. Viera W, Noboa M, Martínez A, Báez F, Jácome R, Medina L, et al. *Trichoderma asperellum* increases crop yield and fruit weight of blackberry (*Rubus glaucus*) under subtropical Andean conditions. *Vegetos* 2019;32:209-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42535-019-00024-5>
51. Viera W, Noboa M, Bermeo J, Báez F, Jackson T. Parámetros de calidad de cuatro tipos de formulaciones a base de *Trichoderma asperellum* y *Purpuricillium lilacinum*. *Enfoque UTE* 2018; 9(4):145-53. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.348>
52. Perdomo Quishpe CE. Desarrollo de cuatro prototipos de bioformulaciones en base a conidias de *Trichoderma asperellum* [tesis licenciatura]. [Quito]: Universidad Central del Ecuador; 2018 [citado 26 de julio de 2020]. Recuperado a partir de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16686>
53. Mamani Rojas P, Limachi Villava J, Ortuño Castro N. Uso de microorganismos nativos como

- promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia. *Rev Latinoam Papa* 2012;17(1):74-96.
54. Cruzat R, Ionannidis D. Resultados y lecciones en biocontrol de enfermedades fungosas con *Trichoderma* spp [Internet]. Santiago de Chile: Fundación para la Innovación Agraria; 2008 [citado 12-de junio de 2020]. 30 p. Recuperado a partir de: [http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/2075/62\\_Libro\\_Trichoderma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/2075/62_Libro_Trichoderma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
55. Borrelli NP. Selección *in vitro* de cepas nativas del género *Trichoderma* a partir de aislamientos de suelo para el control de *Sclerotinia sclerotiorum* [tesis licenciatura]. [Buenos Aires]: Universidad de Buenos Aires; 2017 [citado 26 de agosto de 2020]. Recuperado a partir de: <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=ti&d=2017borrellinicolaspablo>
56. Agamez Ramos E, Barrera Violeth J, Oviedo Zumaqué L. Evaluación del antagonismo y multiplicación de *Trichoderma* sp. en sustrato de plátano en medio líquido estático. *Acta Biol Colomb* 2009;14(3):61-70.
57. González Caneloríguez M, Puertas Arias A, Jiménez Arteaga MC, Danger Hechevavarría L, López Álvarez S. Uso de *Trichoderma harzianum* Rifaii para el control biológico de *Sclerotium rolfsii* Sacc. en el cultivo de zábila (*Aloe vera* L.). *Rev Arbitr Interdiscip Koinonía* 2017;11(3):213-25.
58. Borges Chagas LF, Chagas Junior AF, Rodrigues de Carvalho M, de Oliveira Miller L, Orozco Colonia BS. Evaluación del potencial de solubilización de fosfato de cepas de *Trichoderma* (*Trichoplus* JCO) y efectos sobre la biomasa del arroz. *J Soil Sci Plant Nutr* 2015;15(3):794-804. DOI: <https://doi.org/10.4067/S718-95162015005000054>
59. Lagler JC. Biological inputs: different perceptions making focus in the biological fertilization. *Agron Ambiente* 2017;37(1):73-89.
60. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Productos registrados bioinsumos. Colombia; 2018. Recuperado a partir de: <https://www.ica.gov.co/getdoc/2ad9e987-8f69-4358-b8a9-e6ee6dcc8132/productos-bioinsumos-mayo-13-de-2008.aspx>
61. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. SENASA. Registro nacional de terapéutica vegetal. Argentina; 2018. Recuperado a partir de: <https://www.argentina.gob.ar/inscribir-reinscribir-en-el-registro-nacional-sanitario-de-productores-agropecuarios-renspa>
62. Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria - Unidad Nacional de Sanidad Vegetal (SENASAG). Estado del registro de productos agroquímicos. Bolivia; 2011. <http://www.senasag.gob.bo/egp/productossv10.html>
63. Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria Unidad Nacional De Sanidad Vegetal (SENASAG). Registro de Insumos Agrícolas. Bolivia; 2013. Recuperado a partir de: <http://www.senasag.gob.bo/registros-e-insumos-agricolas>
64. Servicio Agrícola y ganadero (SAG). Inocuidad y biotecnología Lista de Plaguicidas Autorizados. Chile; 2019. Recuperado a partir de: [http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros?field\\_tema\\_registros\\_y\\_listas\\_tid=All&field\\_tipo\\_de\\_registro\\_tid=All&title=&items\\_per\\_page=15](http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros?field_tema_registros_y_listas_tid=All&field_tipo_de_registro_tid=All&title=&items_per_page=15)
65. Ministerio de Agricultura Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). Reporte de Productos Plaguicidas Registrados. Perú; 2019. Recuperado a partir de: [https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/sigia\\_consulta\\_producto.html](https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/sigia_consulta_producto.html)
66. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosario (AGROCALIDAD). Dirección de Registro de Insumos Agrícolas. Registro de Fertilizantes.

- Ecuador; 2019. Recuperado a partir de: <http://www.agrocalidad.gob.ec/direccion-de-registro-de-insumos-agricolas/>
67. Hidalgo Dávila JL. La situación actual de la sustitución de insumos agropecuarios por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano [tesis maestría]. [Quito]: Universidad Andina Simón Bolívar; 2017 [citado 16 de marzo de 2020]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>
68. Jackson TA, Báez F, Villamizar LF. Formulación para mejorar la actividad de bioplaguicidas microbianos. En: León-Reyes A, Barriga N, Aycart JJ, Báez F, Cevallos JM, Erazo N, et al., editores. En: Memorias del 3er Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno: octubre 2017. Archivos Académicos Universidad San Francisco de Quito [Internet]. Quito: Universidad San Francisco de Quito; Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito; 2017 [citado 3 de mayo de 2020]. p. 24. Recuperado a partir de: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivos-academicos/article/view/1475/1574>
69. Falconí C. Manual de Taxonomía de *Trichoderma* y *Paecilomyces* spp. Ecuador; 2011. p. 3-40.
70. Noboa M, Díaz A, Vásquez C, Viera W. Parasitoids of *Neoleucinodes elegantalis* Gueneé (Lepidoptera: Crambidae) in Ecuador. Idesia 2019; 35(2):49-54. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000015>
71. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Informe anual del Proyecto Biocontrol for Sustainable Farming Systems, Ecuador. Quito: INIAP; 2017.
72. Villamizar L, Zeddám JL, Espinel C, Cotes AM. Implementación de técnicas de control de calidad para la producción de un bioplaguicida a base del granulovirus de *Phthorimaea operculella* PhopGV. Rev Colomb Entomol 2005; 31(2):127-32.
73. Pumisacho M, Sherwood. El cultivo de la papa en el Ecuador. INIAP-CIP. Quito, Ecuador; 2012. p. 132-6.
74. Guapi Auquilla AP. Evaluación de la eficacia del bioformulado de *Beauveria bassiana*, y tipos de aplicación para el control del gusano blanco de la papa (*Pemnotrypes vorax*), en dos localidades de la provincia de Chimborazo [tesis licenciatura]. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2012 [citado 26 de mayo de 2020]. Recuperado a partir de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2201/1/13T0746%20.pdf>
75. Báez F, Viera W, Noboa M, Jackson T, Espinosa G. Experiencias de aplicación del hongo *Trichoderma* sp. en plántulas de brócoli. En: León-Reyes A, Barriga N, Aycart JJ, Báez F, Cevallos JM, Erazo N, et al., editores. Memorias del 3er Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno: octubre 2017. Archivos Académicos Universidad San Francisco de Quito [Internet]. Quito: Universidad San Francisco de Quito; Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito; 2017 [citado 3 de mayo de 2020]. p. 18. Recuperado a partir de: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/1475/1574>
76. Sotomayor A, Gonzáles A, Cho K, Villavicencio A, Jackson T, Viera W. Effect of the application of microorganisms on the nutrient absorption in avocado (*Persea americana* Mill.) Seedlings. J Korean Soc Int Agric 2019;31(1):17-24. DOI: <https://doi.org/10.12719/KSIA.2019.31.1.17>
77. Espín Chico MC. Validación de los componentes tecnológicos limpio y orgánico, con y sin *Trichoderma* para el manejo del cultivo de Mora

- de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua [tesis licenciatura]. [Riobamba]:Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2013 [citado 26 de agosto de 2020]. Recuperado a partir de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2370>
78. Sánchez J, Iturralde P, Koch A, Tello C, Martínez D, Proaño N, et al. *Dactylonectria* and *Ilyonectria* species causing black foot disease of Andean Blackberry (*Rubus Glaucus* Benth) in Ecuador. *Diversity* 2019;11(11):218. DOI: <https://doi.org/10.3390/d11110218>
79. Oña Malataxi CI. Evaluación de la eficacia de productos convencionales y alternativos para el control de marchitez descendente (*Ilyonectria torrisensis*) en mora de Castilla [tesis licenciatura]. [Quito]: Universidad Central del Ecuador; 2018 [citado 26 de julio de 2020]. Recuperado a partir de: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/handle/25000/17068>
80. Vásquez W, Jackson T, Viera W, Viteri P, Vilares M. Integrated Andean blackberry (*Rubus glaucus*) crop management using beneficial microorganisms by small farmers in the Ecuadorian Andes. In: Feldmann F, Short Heinrichs EA, editors. *Proceedings of International Plant Protection Congress, 2015* [Internet]. Berlin; 2015. p. 498. Recuperado a partir de: [file:///C:/Users/usuario/Downloads/2015\\_IPPC2015\\_Prog\\_Abstractbook.pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/2015_IPPC2015_Prog_Abstractbook.pdf)
81. Torrens G, Báez F, Martínez A, Jácome R, Jackson T. Fluctuación poblacional de *Trichoderma* spp. en suelo de plantación de mora (*Rubus glaucus*) en la Provincia de Tungurahua. En: *Memorias del 3er Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno: octubre 2017*. Archivos Académicos Universidad San Francisco de Quito [Internet]. Quito: Universidad San Francisco de Quito; Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito; 2017 [citado 3 de mayo de 2020]. p. 61. Recuperado a partir de: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/1475/1574>
82. Navia D, Delgado A, Viera W, Báez F, Jackson T. Application of bioproducts in Ecuadorian agriculture: case banana. En: *Conference Proceedings of Bioproducts for Sustainable Agriculture*. Quito: INIAP; 2017. p. 57.
83. Arias de López M, Corozo Ayovi RE, Delgado Arce R, Osorio Villegas B, Rojas JC, Rengifo D, et al. Cómo reducir la mancha roja causada por thrips en banano [Internet]. Quito: El Triunfo, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias; 2019 [citado 26 de mayo de 2020]. Boletín Divulgativo No. 443. Recuperado a partir de: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/BoletinDivulgativo443.pdf>
84. Delgado A, Hall R, Navia D, Viera W, Jackson T. Efecto de hongos benéficos sobre las poblaciones de *Chaetanaphothrips signipennis* en el cultivo de plátano. En: *Memorias del LIX Convención Nacional de Entomología*. Trujillo: Sociedad Entomológica del Perú; 2017a. s.p.
85. Delgado A, Hall R, Navia D, Viera W, Báez F, Arias M, et al. Evaluation of pyrethrum, extract of *Saccharopolyspora spinosa*, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for the control of *Chaetanaphothrips signipennis*, a pest of banana. En: *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology*. San Diego: Society for Invertebrate Pathology; 2017b. p. 78-79.
86. O'Brien PA. Biological control of plant diseases. *Australas Plant Pathol* 2017;46(4):293-304. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
87. Begg G, Cook S, Dye R, Ferrante M, Frankc P, Lavigne C, et al. A functional overview of conservation biological control. *Crop Prot* 2017;97:145-58. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>



88. Pimentel D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. En: Peshin R, Dhawan AK, editors. Integrated pest management: Innovation-Development Process. Dordrecht: Springer; 2009. p. 47-71. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8992-3>
89. Barzman M, Bàrberi P, Birch ANE, Boonekamp P, Dachbrodt Saaydeh S, Graf B, et al. Eight principles of integrated pest management. *Agron Sustain Dev* 2015;35:1199-215. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
90. Zin NA, Badaluddin NA. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Ann Agric Sci* 2020;65(2):168-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>
91. Ros M, Raut I, Santísima Trinidad AB, Pascual JA. Relationship of microbial communities and suppressiveness of *Trichoderma* fortified composts for pepper seedlings infected by *Phytophthora nicotianae*. *PloS One* 2017;12(3): e0174069. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174069>
92. Viera W, Noboa M, Martínez A, Jácome R, Medina L, Jackson T. Trichoderma application increases yield and individual fruit weight of blackberries grown by small farmers in Ecuador. *Acta Hort* 2020;1277:287-92. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.42>
93. Viera W, Jackson T. Ecuador demonstrates a sustainable way forward for small farmer producers. *Chron Horticult* 2020;60(3):19-21.

---

**Nota del Editor:**

*Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB)* se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales.