

Control biológico: Camino a la agricultura moderna

Biological control: Path to modern agriculture

Diana Marcela Vinchira-Villarraga* y **Nubia Moreno-Sarmiento****

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860

Históricamente, la agricultura ha sido la base del desarrollo y la subsistencia de la sociedad humana. De esta práctica se derivan buena parte de los alimentos básicos que conforman los pilares de la dieta de la población mundial, siendo por tanto un eje central en los planes de desarrollo de seguridad alimentaria. Sin embargo, se ha estimado que la productividad agrícola actual es insuficiente para cubrir la demanda de una población creciente. De hecho, se estima que para el año 2050, será necesario un aumento de al menos el 70% en la producción de comida para mantener la seguridad alimentaria de las 9.8 billones de personas que existirán para esta época en el mundo (Ingram, 2011; United Nations; 2017; Ab Rahmanm Singh, Pieterse & Schenk, 2018). Adicionalmente, es necesario reducir el impacto ambiental derivado de la producción de alimentos, planteando un reto para la industria agrícola que debe mejorar la eficiencia de la utilización de los recursos y disminuir la presión ejercida sobre los recursos no renovables conduciendo a una agricultura moderna, entendida como aquella que maximiza la productividad a través del uso de alternativas biológicas que aseguren rentabilidad para el agricultor (Pedraza-Zapata *et al.*, 2017).

Estas alternativas incluyen, como punto clave, el manejo de plagas y enfermedades en los cultivos. Las infecciones asociadas a fitopatógenos son responsables del 20 al 40% del total de pérdidas en producción ocasionadas por enfermedades en plantas, las cuales generan pérdidas económicas cercanas a los 40 billones de dólares al año a nivel mundial (Roberts *et al.*, 2006; Savary, Ficke, Aubertot & Hollier, 2012).

Es importante recalcar que algunos de estos patógenos han causado grandes impactos en la humanidad a nivel socioeconómico. Como ejemplo, se tienen los casos de brotes de tizón tardío en papa ocasionado por *Phytophthora infestans* en 1840 (Irlanda), la mancha parda del arroz generada por *Helminthosporium oryzae* en la década de 1940 en Bengala (hoy localizada en la República de Banglades e India) y más recientemente los casos de añublo bacteriano de la panícula del arroz, causado en 2007 por *Burkholderia glumae* en Colombia, la pudrición de la raíz en aguacate y otras plantas silvestres generada por *Phytophthora cinammoni* en gran parte de Australia en la última década y el mal de Panamá generado por *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raza 4 en gran parte del sudeste Asiático (Padmanabhan, 1973; Donnelly, 2002; Cahill, Rookes, Wilson, Gibson & McDougall, 2008; Pérez & Saavedra, 2011, Dita, Barquero, Heck, Mizubuti, & Staver, 2018).

Estas enfermedades han causado enormes pérdidas económicas y se han asociado a eventos sociales que incluyen mortalidad y migración en poblaciones vulnerables cuya base de alimentación eran los cultivos anteriormente mencionados, y pérdida de especies de plantas silvestres entre otras.

Tradicionalmente, el manejo de fitopatógenos se realiza mediante el uso de agroquímicos con efectos biocidas (antibacterianos, antifúngicos, antivirales, anti-oomycetos, nematocidas). Sin embargo, su aplicación constante ha conducido a eventos de desarrollo de resistencia particularmente en el caso de bacterias y hongos. Este escena-

* PhD(c) Biotecnología UN. MSc Microbiología UN. Bacterióloga. Grupo de Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia (Facultad de Ciencias) y Grupo de Bioprocesos y Bioprospección (IBUN).

** Profesora Titular. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia. Ing. Química, M.Sc. Grupo de Bioprocesos y Bioprospección (IBUN). ncmorenos@unal.edu.co.

rio a su vez ha desencadenado el uso de mayores dosis de los químicos disponibles o la entrada al mercado de nuevas moléculas con espectros de acción más amplios.

El uso de una mayor cantidad de agroquímicos (en concentración, dosis o diversidad) ha provocado efectos deletéreos para el medio ambiente por contaminación de suelos y fuentes hídricas, para la salud humana por exposición directa y prolongada a los agroquímicos y para la biodiversidad de microorganismos e insectos benéficos para el cultivo, que son susceptibles a las moléculas que conforman el producto biocida y cuyas poblaciones se reducen como efecto secundario tras la aplicación del químico (Ab Rahman, 2018).

Otras aproximaciones propuestas para el manejo de fitopatógenos incluyen el uso de variedades resistentes y el control biológico. De la primera se destacan sus buenos resultados en campo y su bajo impacto ambiental. A pesar de ello, su desarrollo antes de entrar al mercado es largo, no solo por la generación de la variedad resistente sino por el tiempo que conlleva obtener los permisos necesarios para su comercialización y la aceptación en el mercado cuando se tratan de organismos genéticamente modificados (GMO).

Por su parte, el control biológico o biocontrol, hace referencia al uso de diferentes organismos (o los compuestos o extractos obtenidos de ellos) que solos o en combinación son capaces de disminuir los efectos deletéreos que causa una población patógena sobre el crecimiento y/o productividad de un cultivo (Pal & Gardener, 2006). Esta estrategia de manejo de fitopatógenos depende en gran medida de las interacciones que ocurren entre la planta, el patógeno, el organismo biocontrolador y el ambiente en el cual se desarrolla tal interacción.

El objetivo central del uso de microorganismos biocontroladores es limitar la aplicación de agroquímicos disminuyendo la presencia del patógeno en el cultivo de una forma ambientalmente amigable. Para ello, es necesario que el biocontrolador sea capaz de permanecer viable y crecer en el espacio de la planta susceptible a la presencia del fitopatógeno bien sea la rizósfera, la filósfera o la endósfera.

Considerando que muchas de las enfermedades ocasionadas por fitopatógenos son producidas dentro del ambiente rizosférico, las investigaciones dirigidas al aislamiento selección y posterior uso de biocontroladores se han enfocado en aquellos que son capaces de colonizar este nicho ecológico y por ende interactuar (física y químicamente) con la planta hospedera. El microorganismo seleccionado como biocontrolador, debe además ser metabólicamente activo de manera que pueda ejercer su "efecto protector" bien sea de forma directa (produciendo metabolitos o enzimas que inhiben el crecimiento del patógeno o compitiendo por espacio o nutrientes) o indirecta (estimulando las defensas de la planta) (Nihorimbere, Ongena, Smargiassi & Thonart, 2011).

En este contexto, el éxito de un biocontrolador recae en la rigurosidad de su selección y en la cantidad de información que se pueda obtener sobre su interacción con la planta y el fitopatógeno de interés. Existen diversos métodos de selección de un posible biocontrolador, los más comunes son los métodos de tamizaje *In vitro* que incluyen pruebas de enfrentamiento directo, difusión en placa, Inhibición de la germinación de conidias o del crecimiento, bioautografía entre otros (Balouiri, Sadiki & Ibensouda, 2016). Estos métodos se enfocan en la selección de microorganismos que basan su actividad en la producción de metabolitos secundarios o enzimas que inhiben el crecimiento del patógeno (Pliego, Ramos, de Vicente & Cazorla, 2011).

Otras evaluaciones como los ensayos en tejido vegetales (hojas o frutos, por ejemplo) o ensayos en planta a nivel de invernadero bajo condiciones controladas no dan cuenta del mecanismo específico de acción, pero permiten seleccionar el microorganismo en función de su eficiencia y permiten incluir aislamientos con actividades como competencia, parasitismo o inductores de resistencia sistémica que por lo regular no son seleccionados cuando se usan los ensayos *In vitro*.

Infelizmente, estos ensayos consumen un mayor tiempo de evaluación y debido a sus características (desarrollo, espacio y costos) limitan la cantidad de aislamientos que se pueden evaluar (Pliego, Ramos, de Vicente & Cazorla, 2011). Por ello, algunos autores proponen desarrollar estrategias combinadas de tamizaje que permitan evaluar la colonización y la actividad *In vivo* e *In vitro* por métodos dependiente e independientes de cultivo en paralelo para llegar a la mejor selección de un agente de control biológico (Pliego, Ramos, de Vicente & Cazorla, 2011).

Para evitar resultados poco reproducibles, es necesario que el proceso de selección y escalamiento para producción de un biocontrolador sea lo más preciso posible. Muchos de los agentes de biocontrol muestran resultados

variables en campo. Esto se asocia a que en general los estudios realizados con los microorganismos antagonistas se realizan bajo condiciones controladas que no son las que se encuentran en los cultivos en campo (Fravel, 2005). Para evitar estas situaciones es necesario realizar ensayos comerciales y semi-comerciales en condiciones reales del cultivo que permitan evaluar el desempeño del bioinsumo y determinar si la formulación y la forma de aplicación son las más convenientes, así mismo definir la dosis adecuada para el manejo de la enfermedad, todo esto permitirá establecer su uso dentro del proceso productivo del cultivo objetivo.

Como se manifiesta en los anteriores apartados, la generación de un agente de control biológico es un proceso multidisciplinario que requiere de investigación en diferentes niveles desde la microbiología hasta el desarrollo de procesos de ingeniería. Las empresas e instituciones de base biotecnológica que buscan y desarrollan estos biocontroladores hacen uso de investigaciones en ciencia básica, en ocasiones mediante asociaciones con la academia, que les permiten evaluar un gran número de aislamientos, bien sea de bacterias, hongos, bacteriófagos o virus, para seleccionar aquel que presente los mejores resultados en escalas de laboratorio e invernadero para posteriormente ser formulados, probados en campo, registrados y finalmente comercializados.

Actualmente, la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA) tiene registrados un total de 114 aislamientos de microorganismos biocontroladores de los cuales la mayoría corresponden a bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas* y hongos del género *Trichoderma* (EPA, 2019). Estos microorganismos forman parte de los ingredientes activos de uno o más productos comercializados por empresas como Bayer CropScience, Novozymes, BASF y Syngenta y se presentan con amplios espectros de acción para el manejo de uno o más fitopatógenos en diferentes cultivos.

En el caso particular de Colombia, el Instituto Agropecuario Colombiano (ICA) tiene 198 empresas autorizadas para la distribución de productos biológicos (95 Importadoras y 103 productoras) que comercializan insumos biológicos (promotores de crecimiento vegetal), extractos vegetales y agentes de control biológico. En este último caso, se encuentran reportes de 218 productos registrados para el manejo de insectos, nematodos, oomycetos, hongos y bacterias fitopatógenas (ICA, 2019).

Al igual que en el caso de los biocontroladores registrados en la EPA, los microorganismos más usados en los productos listados por el ICA corresponden a hongos del género *Trichoderma* (particularmente *T. viride* (Biocultivos S.A.), *T. harzianum* y *T. lignorum*) y en menor proporción bacterias de los géneros *Bacillus* (*B. subtilis* y *B. thuringensis*) y *Streptomyces* (*S. racemochromogenes*). Los blancos biológicos de estos productos y los cultivos en los que están autorizados son diversos e incluyen cereales, hortalizas, árboles frutales y leguminosas.

Sin embargo, el uso de estos productos no es tan difundido como se desearía desde el punto de vista ambiental, lo cual conlleva a que el objetivo de reducir la aplicación de químicos en los cultivos no se cumpla. Según los datos recopilados de los registros del ICA, en 1974 Colombia tenía registrados 767 productos químicos para agricultura destinados al manejo de plagas y fitopatógenos, esta cantidad aumentó a 1300 en el año 2003 y a más de 2200 en el 2018. En comparación, los productos biológicos en Colombia tienen una participación de apenas el 10% del total ofertado en el mercado incidiendo en que su aplicación en campo sea más escasa.

Aunque es un factor que influye en el bajo uso de los productos biológicos, la menor cantidad de insumos disponibles en comparación a los químicos no es el único elemento que ha restringido el uso de biocontroladores en el país. Es un hecho que en Colombia se tiene poca divulgación sobre la existencia de estos insumos, las bases científicas asociadas a su desarrollo y sus efectos en campo. Numerosos grupos de investigación en universidades públicas y privadas y diversas empresas del país invierten buena parte de sus recursos (humanos y físicos) en la investigación de los pato-sistemas más relevantes de la agricultura nacional. Sin embargo, los resultados de estas investigaciones no son divulgados apropiadamente y se limitan en muchos casos a eventos científicos a los que acuden pocas personas involucradas en el agro colombiano reduciendo la posibilidad de transferir la información obtenida en los laboratorios al campo en donde idealmente debería verse reflejado su impacto.

Esta falla en la comunicación genera que sean pocos los agricultores que de primera mano pueden probar e incluir en sus planes de manejo integrado opciones como los controladores biológicos. En este contexto, diversos autores han propuesto que para solventar la necesidad de integrar los agentes de biocontrol en los sistemas productivos es pertinente incluir a los agricultores en las fases de evaluación en campo (ensayos comerciales y semi-comerciales) de esta forma se logra divulgar la información sobre los productos, avanzar en los procesos de registro y demostrar su eficiencia en campo (Fravel, 2005).

Así mismo, es deseable que haya un acompañamiento con empresas (públicas o privadas) que apoyen el desarrollo no sólo de la investigación básica sino además del producto comercial que puede derivar de ella para permitir un tránsito más fluido del conocimiento adquirido hacia el agricultor. De esta forma el desarrollo biotecnológico logrado a través de la investigación puede generar un impacto social real en el país al tiempo que apoya la formación de talento humano y reduce la brecha existente en los sectores involucrados en la academia, la industria y la agricultura colombiana.

REFERENCIAS

Ab Rahman, S. F. S., Singh, E., Pieterse, C. M., & Schenk, P. M. (2018). Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*, 267, 102-111.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of pharmaceutical analysis*, 6(2), 71-79.

Cahill, D. M., Rookes, J. E., Wilson, B. A., Gibson, L., & McDougall, K. L. (2008). Phytophthora cinnamomi and Australia's biodiversity: impacts, predictions and progress towards control. *Australian Journal of Botany*, 56(4), 279-310.

Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S., & Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in plant science*, 9.

Donnelly, J. S. (2002). Great Irish Potato Famine. The History Press.

Environmental Protection Agency (2019). Biopesticide Active Ingredients. URL: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/biopesticide-active-ingredients>

Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43, 337-359.

Instituto Colombiano Agropecuario (2019). Productos registrados de bioinsumos-2018. URL:<https://www.ica.gov.co/getdoc/2ad9e987-8f69-4358-b8a9-e6ee6dccc8132/productos-bioinsumos-mayo-13-de-2008.aspx>

Ingram, J. (2011). A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. *Food Security*, 3(4), 417-431.

Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., & Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(2), 327-337.

Padmanabhan, S. Y. (1973). The great Bengal famine. *Annual Review of Phytopathology*, 11(1), 11-24.

Pal, K. K., & Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. *Plant Health Instructor*. 2, 1117-1142.

Pedraza-Zapata D.M, Sanchez-Garibello M., Quevedo-Hidalgo B., Moreno-Sarmiento N. & Gutierrez-Rojas I. (2017). Promising cellulolytic fungi isolates for rice straw degradation. *Journal of Microbiology*. 55(9), 711-719

Pérez, C., & Saavedra, E. (2011). Avances en el manejo integrado de la bacteria *Burkholderia glumae* en el cultivo de arroz en el Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 111-124.

Pliego, C., Ramos, C., de Vicente, A., & Cazorla, F. M. (2011). Screening for candidate bacterial biocontrol agents against soilborne fungal plant pathogens. *Plant and soil*, 340(1-2), 505-520.

Roberts, M. J., Schimmelpfennig, D. E., Ashley, E., Livingston, M. J., Ash, M. S., & Vasavada, U. (2006). The value of plant disease early-warning systems: a case study of USDA's soybean rust coordinated framework (No. 1477-2016-121162).

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., ... & de Fraiture, C. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4-17.

Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J. N., & Hollier, C. (2012). Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security.

United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. (2017). World population prospects: The 2017 revision. UN. URL: http://www.un.org/en/development/desa/population/events/pdf/other/21/21June_FINAL%20PRESS%20RELEASE_WPP17.pdf