

ALTERNATIVA BIOTECNOLÓGICA PARA EL CONTROL DE PÉRDIDAS POSTCOSECHA DE PRODUCTOS HORTÍCOLAS

MSc. Iván Toro Hidalgo

Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). Yaracuy, Venezuela

Correo electrónico: thivanje@gmail.com

RESUMEN

Los microorganismos fitopatógenos provocan cuantiosas pérdidas postcosecha de productos hortícolas y generan toxinas peligrosas para los consumidores; su control mediante plaguicidas químicos ha causado desequilibrio ecológico y contaminación alimentaria, por lo que se han buscado alternativas ecológicas, encontrándose que el biocontrol con microorganismos antagonistas representa una de las mejores opciones. El presente artículo, tiene como finalidad aportar a la difusión del conocimiento que incentive el interés en la investigación y uso del biocontrol de plagas, durante la postcosecha de productos hortícolas; se ofrece un análisis sobre los daños causados por los fitopatógenos durante la postcosecha; el control biológico como sustituto de los plaguicidas químicos; los principales antagonistas empleados en la postcosecha y sus mecanismos de acción y un resumen de investigaciones relacionadas con el tema. Se concluye, que el futuro del biocontrol de fitopatógenos durante la postcosecha es prometedor, contribuyendo a la reducción del desequilibrio ecológico y a la garantía de inocuidad de frutas y hortalizas.

Palabras Clave: control biológico, antagonistas microbianos, postcosecha de frutas y hortalizas, microorganismos fitopatógenos.

Recibido: 11/06/2021

Aceptado: 18/10/2021

Revista In Situ/ISSN 2610-8100/Vol. 5 N°5/ Año 2022.

San Felipe, Venezuela/Universidad Nacional Experimental del Yaracuy, pp 221 - 236.

BIOTECHNOLOGICAL ALTERNATIVE FOR THE CONTROL OF POST-HARVEST IN THE CIRCULAR ECONOMY

MSc. Iván Toro Hidalgo

Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). Yaracuy, Venezuela

Correo electrónico: thivanje@gmail.com

ABSTRACT

Phytopathogenic microorganisms cause large post-harvest losses of horticultural products and generate dangerous toxins for consumers; its control through chemical pesticides has caused ecological imbalance and food contamination, for which ecological alternatives have been sought, finding that biocontrol with antagonistic microorganisms represents one of the best options. The purpose of this article is to contribute to the dissemination of knowledge that encourages interest in research and use of pest biocontrol during the post-harvest of horticultural products; An analysis is offered on the damage caused by phytopathogens during post-harvest; biological control as a substitute for chemical pesticides; the main antagonists used in post-harvest and their mechanisms of action and a summary of research related to the subject. It is concluded that the future of biocontrol of phytopathogens during post-harvest is promising, contributing to the reduction of the ecological imbalance and the guarantee of safety of fruits and vegetables.

Keywords: *Biological control, microbial antagonists, post-harvest of fruits and vegetables, phytopathogenic microorganisms.*

INTRODUCCIÓN

La selección de los productos hortícolas, ya sea para la industrialización o para consumo directo y preparaciones culinarias; inicialmente se basa en una apreciación sensorial de atributos como, color, olor, sabor, firmeza y tamaño. Estos atributos, que son característicos para cada rubro, así como el rendimiento, inocuidad y el valor nutricional, pueden verse seriamente afectados durante la postcosecha a causa de microorganismos patógenos que atacan a los productos hortícolas, en las diferentes etapas de la cadena productiva y comercialización, llegando a causar grandes pérdidas.

El control de enfermedades en los productos hortícolas, constituye un aspecto muy importante para garantizar la disponibilidad, calidad e inocuidad de frutas y hortalizas. Las pérdidas debido a enfermedades pueden ser cuantiosas, llegando a representar hasta la mitad de la producción (Robinson, 2008; Vatankhah et al., 2019).

Se entiende por postcosecha, al período comprendido desde la cosecha de un producto agrícola, hasta que el mismo es colocado en una línea de procesamiento para su transformación industrial o es utilizado en una preparación culinaria o es consumido como producto fresco; durante este período los productos cosechados son susceptibles al ataque de diferentes plagas que se deben controlar para evitar pérdidas. Según, Rivas (2018, p.6), tradicionalmente, se han empleado pesticidas obtenidos mediante síntesis química para el control de plagas durante la postcosecha, pero debido a que muchos de estos pesticidas presentan elevada toxicidad y, si esto se combina con una aplicación indiscriminada; dicha práctica ha generado problemas de salud a los consumidores, contaminación y desequilibrio al ecosistema; por lo que resulta necesario el empleo de agentes de control que sean inocuos para los consumidores y que no afecten el medio ambiente.

La creciente preocupación por la inocuidad alimentaria y la evidente necesidad de preservar el medio ambiente, ha ocasionado un creciente interés por sustituir los pesticidas químicos, por alternativas seguras y ecológicas. Una de las alternativas para el control de daños causados por patógenos de los productos hortícolas, que ha despertado particular interés, es el control biológico. El empleo de biocontroladores se basa en el hecho que, muchos productos hortícolas no son destruidos completamente por enfermedades, sin aplicarles pesticidas, debido a la presencia natural de organismos capaces controlar el efecto nocivo de los patógenos. Se ha encontrado que el control biológico representa una alternativa al uso de pesticidas químicos, viable, eficiente y amigable con el ambiente, el cual consiste en el uso de enemigos vivos (o de sus metabolitos), también denominados agentes antagonistas, para combatir el establecimiento y desarrollo de los agentes patógenos (Colmenares y Arcia, 2019; Falconí, 2014; Lewis y Papavizas, 1991; Reyes et al., 2015; Rivas, 2018).

La biotecnología se refiere al uso práctico de los organismos vivos y se ha convertido en una importante herramienta, que genera nuevos procesos y productos sustentables para el sistema de producción agrícola actual (Droby; et al., 2009; Iáñez, s.f.). Con el objeto de contribuir a la difusión del conocimiento e incentivar el interés en la investigación y uso de agentes para control biológico de plagas, durante la postcosecha de productos hortícolas; a continuación, se exponen diferentes aspectos asociados al aprovechamiento de este importante recurso biotecnológico.

Daños por microorganismos patógenos durante la postcosecha de productos hortícolas.

La descomposición microbiana, de frutas y hortalizas durante la postcosecha puede atribuirse a infecciones que ocurren ya sea entre la floración y la madurez o durante la cosecha y operaciones posteriores de la postcosecha. En el primer caso, las infecciones previas a la cosecha permanecen inactivas hasta poco después de la cosecha o durante el almacenamiento prolongado; por otra parte, en su mayoría, las infecciones posteriores a la cosecha ocurren a través de heridas superficiales infligidas durante la cosecha y el manejo posterior (Droby, 2006, p. 106). Las dos clases principales de microorganismos que causan daños en los productos hortícolas, son las bacterias y los hongos. Otros tipos de patógenos, como virus y nemátodos, también pueden ser responsables de pérdidas postcosecha, pero son menos frecuente. En general, los signos de enfermedad por virus no pueden ser visibles en frutas verdes recién cosechadas; sin embargo, a medida que la fruta infectada madura, daños como decoloración, que se asocian con la enfermedad, impiden la comercialización (Mahovic et al., 2006, p. 2).

La información existente sobre los niveles de pérdidas postcosecha a nivel mundial es muy diversa; según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2011, p.8), la pérdida por manejo inadecuado y por enfermedades durante la postcosecha, en Europa, Norte América y Oceanía se encuentra entre 20 % y 25 %, mientras que América Latina presenta pérdidas que pueden llegar a 30 %. Kader (2009, p. 8) señaló que, de manera general y a nivel mundial, las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas, se ubican alrededor de 32 %; mientras que según Robinson (2008, p. 1) e Infoagro (2019, p. 1), se estima que las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas causadas por microorganismos, son del orden de 5-25%, en países desarrollados y, de 20-50%, en países en desarrollo.

De los diferentes grupos de microorganismos antes mencionados, se considera que los hongos patógenos, son la causa principal de pérdidas de frutas y hortalizas frescas en la postcosecha (Spadaro y Droby, 2016, p.106). No obstante, en particular para hortalizas, las bacterias pueden ser la causa más importante de deterioro, aunque no la más frecuente. Las bacterias patógenas de productos hortícolas más comunes en postcosecha, son las pertenecientes al género *Erwinia*, que causan pudriciones suaves o también diferentes especies del género *Pseudomonas*. Los géneros de hongos que habitualmente se detectan en la postcosecha de frutas y hortalizas son: *Alternaria*, *Botrytis*, *Diplodia*, *Monilinia*, *Penicillium*, *Colletotrichum*, *Phomopsis*, *Fusarium*, *Rhizopus* y *Mucor* (Infoagro, 2019).

Cada uno de los microorganismos patógenos tiene un efecto distinto y característico en los productos hortícolas, pero las consecuencias más habituales derivadas de las enfermedades que causan en la postcosecha son: la podredumbre, la degradación, la pérdida de sabor y los malos olores. Cuanto mayor sea el tiempo de almacenamiento, mayor será la posibilidad de que los productos hortícolas contraigan alguna de las enfermedades, ya que la capacidad de síntesis de las sustancias naturales que los protegen frente a estas enfermedades va disminuyendo (DECCO, 2017, p.1).

Los hongos patógenos de frutas y hortalizas por lo general, son microorganismos filamentosos que se pueden apreciar como filamentos juntos parecido a algodón. Estos microorganismos son generalmente más difíciles de erradicar que las bacterias; sus células son mucho más grandes y producen esporas, que son altamente resistentes a la sequedad y a otras condiciones ambientales agresivas o estresantes. Las esporas pueden formar estruc-

turas de células reproductivas que se dispersan por el agua o el viento, así como también por animales y equipos. Por otra parte, las bacterias son organismos unicelulares que se multiplican y propagan rápidamente, especialmente, en medios acuosos, tal como una fruta mojada, un contenedor del campo mojado, o sobre una maquinaria de la planta empacadora; estas superficies húmedas, pueden ocasionar rápido movimiento y crecimiento de bacterias. El crecimiento bacteriano es viscoso y no presenta una estructura definida; sobre las superficies húmedas se pueden formar delgadas películas de bacterias. Estas películas (conocidas como biopelículas o biofilms), llegan con el tiempo a ser pegajosas o endurecidas y difíciles de eliminar, pero las películas de reciente formación, normalmente se dispersan con facilidad en el agua (Mahovic et al. 2006, p. 2).

Con el progreso de los procesos de maduración y senescencia, aumenta la susceptibilidad del tejido de las frutas y hortalizas al ataque de patógenos, debido a que se va debilitando la respuesta de sus mecanismos de defensa naturales, así como a la degradación parcial de las paredes celulares y el consiguiente aumento de la fuga de solutos contenidos en el citoplasma de las células (Spadaro y Droby, 2016). Estos solutos constituyen nutrientes para los microorganismos patógenos, que los aprovechan para su proliferación, colonización y degradación de los tejidos del hospedero, causando la enfermedad.

El corte del pedúnculo suele proporcionar una buena vía de penetración, en muchas frutas y hortalizas, siendo frecuente que se produzcan cuantiosas pérdidas por podredumbres iniciadas en ese punto. “La infección postcosecha puede tener lugar también por penetración directa a través de la piel, como ocurre con los géneros *Sclerotinia* y *Colletotrichum*” (Infoagro, 2019, p. 4). Además, por lo general también existe una relación específica, entre el hospedador y el agente patógeno; como ejemplo, *P. digitatum*, afecta únicamente a cítricos, mientras que *P. expansum*, a frutos de hueso (Infoagro, 2019, p. 3).

Además del deterioro de la calidad y las pérdidas económicas, ocasionadas por las enfermedades durante la postcosecha, las frutas y hortalizas infectadas con hongos patógenos representan un riesgo inminente para la salud de los consumidores, debido a que varios géneros de hongos, como *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Penicillium*, son capaces de producir micotoxinas; por ejemplo, *Penicillium expansum*, que provoca la enfermedad denominada moho azul en una variedad de frutas cosechadas, produce numerosos metabolitos potencialmente carcinogénicos, como citrinina, patulina y catoglobosinas. Frutas y hortalizas contaminadas con los géneros fúngicos *Aspergillus*, *Alternaria* y *Fusarium*, pueden contener micotoxinas como las aflatoxinas, las ocratoxinas, la alternaria y la fumonisina (Dukare et al., 2018, Trigos et al., 2008).

Plaguicidas químicos Vs. Control biológico.

Tradicionalmente, los plaguicidas de síntesis química, han representado la alternativa más común para protección de los cultivos y prevención de daños durante la postcosecha de productos agrícolas, y es innegable que, gracias a ellos, se ha logrado garantizar la producción y conservación postcosecha de frutas y hortalizas, permitiendo la disponibilidad de estos alimentos, para la creciente población mundial (Soto et al., 2018). Pero debido a la toxicidad que presentan algunos y su persistencia en el medioambiente, esta práctica ha acarreado problemas de salud en los humanos y animales, la eliminación de la biota benéfica de control natural, como producto de la baja especificidad del plaguicida químico, causando la aparición de plagas secundarias al desaparecer los enemigos naturales que las controlaban, desarrollo de resistencia por parte de las plagas y reaparición de las mismas,

además de causar reducción de la biodiversidad existente, desequilibrio del ecosistema, contaminación de los alimentos, el agua y el ambiente en general (Colmenares y Arcia, 2019, p. 27).

El principal problema de los plaguicidas químicos, es que su uso intensivo e indiscriminado, ha causado un efecto acumulativo dañino al hombre y al medio ambiente. La presencia de residuos tóxicos en alimentos, agua y suelo provenientes de plaguicidas sintéticos es común debido al irrespeto en el intervalo de aplicaciones, dosis excesivas, uso en rubros para los cuales no está indicado el plaguicida e inadecuada disposición de su residuos y envases (FAO, 2016, Falconí, 2014, OMS, 2018). Debido las características tóxicas que pueden presentar los productos químicos, empleados en el control de daños de frutas y hortalizas; éstos son continuamente monitoreados y, muchos de ellos se han desincorporado (FAO 2016, FAO, 2020, UTZ, 2015). Además, existen normativas internacionales para la manipulación y uso de los plaguicidas, como el Código Internacional de Conducta para el Manejo de Plaguicidas (FAO/OMS, 2014) y las Directrices para Plaguicidas muy Peligrosos (FAO/OMS, 2016).

La preocupación por el problema asociado al empleo intensivo de plaguicidas químicos, ha originado esfuerzos para minimizar las pérdidas debidas a patógenos de productos hortícolas, mediante una mejor comprensión de la biología y la etiología de las enfermedades postcosecha, así como el desarrollo de tecnologías adecuadas de manejo postcosecha y estrategias de control. Aunque mediante dichos esfuerzos, se han sugerido diversos enfoques para manejar la descomposición postcosecha, el control químico de las enfermedades postcosecha, aplicado en el cultivo o después de la cosecha, sigue siendo el método más utilizado (Droby, 2006). Sin embargo, los residuos de pesticidas en frutas y hortalizas siguen siendo una preocupación importante para los consumidores y para la industria de productos hortícolas, por los problemas que generan a la salud y el medio ambiente, ocasionando “presión de la sociedad a los sectores productivos, para la producción de alimentos libres de residuos químicos, conservar el ambiente libre de contaminantes y preservar la diversidad de especies que sufren el impacto negativo, debido al uso indiscriminado de plaguicidas” (Grabowski, et al., 2014, p. 310). Esto ha impulsado la búsqueda de estrategias alternativas, seguras y efectivas, para el control de patógenos en la postcosecha. Entre estas estrategias, el control biológico, basado en microorganismos benéficos ha sido una de las más estudiadas (Spadaro y Droby, 2016, p. 39).

El interés por buscar alternativas a los plaguicidas químicos no es algo nuevo, pues mucho antes de terminar el siglo XX, ya existía la visión de encontrar opciones más sostenibles, para el control de patógenos de productos hortícolas, ya que según varias estimaciones, a nivel de los cultivos, las pérdidas de cosechas por la acción de plagas, enfermedades y malas hierbas había aumentado, a pesar de que el empleo de productos fitosanitarios, se había incrementado considerablemente y además, ya se planteaba la necesidad de introducir criterios de sostenibilidad en las prácticas agrícolas, que incluían una tendencia a disminuir el impacto en el ambiente, originándose una creciente actividad de investigación científica, que se ha basado fundamentalmente en criterios ecológicos, con un mejor conocimiento de los agroecosistemas e incrementando la eficacia de métodos de control distintos al uso de plaguicidas, dando al control biológico, un lugar preferencial. (Colmenárez et al., 2014). A nivel mundial, el interés por el control biológico de enfermedades, se incrementó a partir de la década de 1960, cuando se reconocieron los problemas de contaminación ambiental del planeta; que en parte se deben al uso excesivo y a veces indiscriminado de los plaguicidas sintéticos (Bravo-Luna y Guigón-López, 2014, p. 265).

El control biológico se refiere al empleo de cualquier organismo antagonista, macroscópico o microscópico, para controlar a otro organismo indeseado. En particular, la investigación respecto al empleo de microorganismos benéficos para reemplazar los fertilizantes y plaguicidas de síntesis química, fue iniciada a comienzos de los años sesenta por el profesor Teruo Higa, quien estudió las funciones individuales de ciertos microorganismos, encontrando que al mezclar diferentes tipos de estos microorganismos proporcionan un efecto potenciador beneficioso para la fertilización de suelos, el control de microorganismos patógenos, los abonos foliares y otros. Luego de catorce años de haber iniciado la investigación, en 1982, el profesor Higa, hizo la presentación formal de una mezcla de microorganismos benéficos para acondicionamiento del suelo a la que registró con el nombre de Microorganismos Eficientes o Eficaces (Higa, 2013). A partir de la presentación de esta alternativa se han realizado diferentes investigaciones para la aplicación de la tecnología de microorganismos benéficos a nivel mundial.

Es así, como a partir de la década de 1980, el empleo de agentes biológicos para el control de plagas, tomó mayor relevancia, originando un nutrido número de investigaciones; inicialmente para aplicaciones a nivel de producción primaria; pero desde hace 30 años se han realizado amplias actividades de investigación para explorar y desarrollar estrategias basadas en antagonistas microbianos para controlar biológicamente los patógenos durante la postcosecha (Colmenares y Arcia, 2019, Spadaro y Droby, 2016). Se ha logrado demostrar que varias bacterias y levaduras benéficas son capaces de proteger, una variedad de productos cosechados, actuando como antagonistas de una serie de patógenos que causan cuantiosas pérdidas durante la postcosecha. Se ha encontrado, que algunas levaduras protegen de forma natural a frutas y hortalizas, por lo que dichos hongos han sido objeto de muchos trabajos, como potenciales antagonistas de microorganismos causantes de enfermedades postcosecha; además, estas levaduras exhiben una serie de rasgos que les confiere un gran potencial para colonizar sitios de heridas sin causar daño a la fruta u hortaliza, ejerciendo un efecto de control de patógenos (Spadaro y Droby, 2016).

Los microorganismos benéficos son capaces de controlar el desarrollo y evitar los daños que pueden causar los patógenos en los productos hortícolas, sin afectar a dicho producto, además de ser eco-amigables e inocuos para los consumidores (Hernández-Lauzardo, et al., 2007). Debido a la importancia que ha tomado este recurso biotecnológico, muchas empresas, dedicadas históricamente al desarrollo, registro y comercialización de pesticidas químicos, gradualmente han venido adquiriendo pequeñas empresas que, ya han desarrollado, están desarrollando o tienen el potencial de desarrollar nuevos bioplaguicidas, cuyos principios activos están basados en microorganismos benéficos (Sarocco y Vannacci 2017, p.1).

Principales agentes de control biológico, para la postcosecha de frutas y hortalizas

Existen diferentes bacterias, levaduras y mohos que tienen la capacidad de ejercer un efecto de control sobre diferentes patógenos de productos hortícolas, sin afectar al hospedero; estos microorganismos antagonistas de patógenos, se les denomina benéficos y en los últimos años, han sido objeto de estudio, demostrando ser efectivos en el control de enfermedades postcosecha, por lo que se han empleado para controlar diversas enfermedades en frutas y hortalizas (Dukare et al., 2018, Hernández-Lauzardo et al., 2007). Debido a la eficacia comprobada y las posibilidades de aprovechamiento de este grupo de microorganismos, ya se han evaluado y patentado varios antagonistas microbianos para uso comercial, como tratamiento postcosecha de frutas, por ejemplo, dos levaduras: *Candida*

oleophila y *Cryptococcus albidus*, y dos cepas de la bacteria *Pseudomonas syringae*, fueron desarrolladas como productos comerciales para el control de daños postcosecha; también se han desarrollado productos para prevenir la descomposición posterior a la cosecha, mediante la aplicación del agente de biocontrol a flores y frutas en el campo varias veces durante el período de crecimiento; este enfoque aborda el problema de las infecciones preestablecidas o latentes; como ejemplo, en Israel se comercializa un producto elaborado con una cepa de *Metschnikowia fructicola*, tolerante al calor, que es eficaz contra las pudriciones causadas por *Botrytis*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Aspergillus* en fresas, uvas y cítricos (Droby, 2006).

La efectividad de los microorganismos antagonistas depende principalmente de: su capacidad para colonizar rápidamente la superficie de la fruta u hortaliza y de persistir en ella de manera efectiva; mayor habilidad que el patógeno para adquirir los nutrientes y adaptarse a diversas condiciones ambientales (Parveen et al., 2016, p.42). Además de esto, un agente antagonista ideal para el biocontrol de patógenos de productos hortícolas, debería presentar las siguientes características: estabilidad genética; efectividad a bajas concentraciones; requisitos nutricionales simples; capacidad de sobrevivir en condiciones ambientales adversas; efectividad para un amplio rango de microorganismos patógenos y en diversas frutas y hortalizas; capacidad de reproducirse en medios de crecimiento económicos; estabilidad en la formulación durante un largo período; facilidad de aplicación, sin producción de metabolitos tóxicos para humanos, no patogénico sobre el hospedero; resistencia a los pesticidas más utilizados y compatibilidad con otros tratamientos químicos y físicos y con los procedimientos comerciales (Parveen et al., citado, p.43).

Se ha encontrado que las levaduras son los microorganismos antagónicos que mayoritariamente cumplen con los requisitos antes mencionados (Spadaro y Droby, 2016), por lo que forman parte de la mayoría de los bioplaguicidas comerciales, como se puede apreciar en la tabla 1; donde además se observa, que los patógenos que más se ha buscado controlar, son hongos filamentosos, lo cual tiene sentido, por ser los microorganismos que causan la mayoría de los daños durante la postcosecha de frutas y hortalizas.

Tabla 1. Plaguicidas basados en microorganismos antagonicos, que se han comercializado para el control de enfermedades postcosecha.

Microorganismo	Patógenos objetivos	Producto hortícola
<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Penicillium, Botrytis, Monilinia</i>	Drupas
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Cercospora, Colletotrichum</i>	Aguacate
<i>Candida oleophila</i>	<i>Botrytis, Penicillium</i>	Drupas
<i>Candida oleophila</i>	<i>Botrytis, Penicillium</i>	Cítricos, Drupas
<i>Candida sake</i>	<i>Penicillium, Botrytis, Rhizopus</i>	Drupas
<i>Cryptococcus albidus</i>	<i>Botrytis, Penicillium, Mucor</i>	Drupas
<i>Metschnikowia fructicola</i>	<i>Botrytis, Penicillium, Rhizopus, Aspergillus</i>	Uva de mesa, fresa, batata
<i>Pantoea agglomerans</i>	<i>Penicillium, Botrytis, Monilinia</i>	Cítricos, Drupas
<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>Penicillium, Botrytis, Mucor</i>	Drupas, cítricos, cereza, papa, batata

Fuente: Spadaro y Droby 2016 (modificado)

En orden descendente, las levaduras son más utilizadas que las bacterias para controlar patógenos durante la postcosecha y en menor grado, los hongos filamentosos (mojos). El efecto de control sobre los microorganismos patógenos, se puede mejorar con la asociación de dos o más microorganismos benéficos que proporcionan un efecto sinérgico, en mezclas especiales que contienen principalmente levaduras, bacterias fototróficas y bacilos. Las levaduras, sintetizan tanto sustancias antimicrobianas, como compuestos útiles para las bacterias acidolácticas y los actinomicetos. Las bacterias fototróficas, son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes; estas bacterias sintetizan aminoácidos que promueven el crecimiento y desarrollo plantas y actúan como sustrato para otros microorganismos benéficos. Las bacterias acidolácticas, son las responsables de producir ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos, producidos por las bacterias fotosintéticas y levaduras; el ácido láctico producido modifica el pH del medio, controlando microorganismos nocivos; el uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación del fusarium (Hernández-Lauzardo et al., 2007, Higa, 2013, Rivas, 2018).

Mecanismos de acción, de los microorganismos antagonistas utilizados como agentes de control biológico

Aunque resulta difícil determinar los diferentes mecanismos de acción ejercidos por los agentes de control biológico, debido a que pueden variar, para ajustarse a las distintas interacciones entre hospederos y patógenos y, la efectividad del biocontrol depende de una combinación de mecanismos (Rivas, 2018); es importante comprender dichos mecanismos, para un mejor uso de los microorganismos benéficos y para una mejor selección de nuevos antagonistas, además de ser un requisito para los bioplaguicidas comerciales. Los mecanismos de acción que se han dilucidado involucran: competencia por espacio y nutrientes, producción de sustancias antimicrobianas, antibiosis, producción de enzimas líticas, parasitismo e inducción de resistencia (Hernández-Lauzardo et al., 2007, Rivas, 2018).

La competencia por espacio y nutrientes se presenta principalmente en levaduras y representa uno de los principales mecanismos de acción; para esto, los microorganismos antagónicos deben crecer rápidamente en el hospedero, aprovechar los nutrientes existentes y ocupar los espacios donde puedan proliferar los patógenos. Las sustancias antimicrobianas producidas por los antagonistas, son metabolitos volátiles y no volátiles, como toxinas y antibióticos para los patógenos; este mecanismo de acción es característico de las bacterias benéficas. En el parasitismo, los microorganismos benéficos se alimentan de los patógenos, ocasionando destrucción directa por lisis celular, mediante la excreción de las enzimas líticas como glucanasas, quitinasas y proteasas, por parte de los antagonistas. La inducción a la resistencia producida por los microorganismos antagonistas puede ocasionarse por componentes de sus membranas celulares o metabolitos, pero no causa enfermedad al hospedero; la respuesta inducida consiste en la activación de diferentes mecanismos de defensa como: incremento en la actividad de proteínas PR y enzimas líticas; incremento en la concentración de compuestos antimicrobianos y refuerzo de las membranas celulares en el hospedero (Jamalizadeh et al., 2011, Liu et al., 2013, Sharma et al., 2009, Spadaro y Droby, 2016, Rivas, 2018, Venkateswarlu et al., 2011).

Estudios que demuestran la aplicabilidad de antagonistas microbianos en la postcosecha de frutas y hortalizas

El empleo de microorganismos antagonistas para controlar las enfermedades de productos hortícolas, durante la postcosecha, se realiza mediante dos enfoques: “la estimulación y el manejo de los antagonistas presentes sobre la superficie del fruto y la introducción artificial de antagonistas contra los patógenos”; este último enfoque es quizás el que mejor se puede desarrollar en un laboratorio y cuya aplicación práctica es más factible. Son diversos los efectos benéficos de algunos microorganismos, que durante años han sido utilizados en el área del biocontrol y son prometedoras las perspectivas del empleo de dichos microorganismos antagonistas para controlar las enfermedades y consecuentes pérdidas postcosecha (Hernández-Lauzardo et al., 2007, p. 67). A continuación, se resumen algunas investigaciones que ilustran la aplicabilidad de los antagonistas microbianos para el control de daños causados por microorganismos patógenos durante la postcosecha de frutas y hortalizas.

Doolotkeldieva *et al.* (2016), evaluaron el control biológico de daños causados en papas, por *Erwinia carotovora ssp. carotovora*, mediante especies la bacteria antagonista *Streptomyces*. Para ello, aislaron, identificaron y probaron la patogenicidad de la bacteria patógena y, luego evaluaron el efecto inhibitorio de la bacteria antagonista mediante ensa-

yos *in vitro* e *in vivo*; encontrando que el tratamiento del tubérculo con el microorganismo benéfico antagonista previene exitosamente los estadios tempranos de infección y multiplicación del patógeno reduciendo los daños causados durante el almacenamiento.

Krzyzanowska *et al.* (2018), estudiaron la posibilidad de controlar los daños causados en tubérculos de papa, por las cepas de *Pectobacterium* y *Dickeya*, utilizando mezclas compatibles de antagonistas (5 antagonistas cada mezcla), en las que evaluaron el efecto sinérgico de cada mezcla y la efectividad en el control de los daños en los tubérculos, hasta que lograron la combinación con mejores resultados, a la que denominaron Great Five (GF). Las dos investigaciones anteriores representan un importante aporte al control ecológico de las enfermedades de los tubérculos de las papas, durante la postcosecha; además, dada la importancia de las papas para la alimentación de la humanidad, se puede decir que también contribuye con los esfuerzos para garantizar la disponibilidad de este alimento.

Rivas (2018), realizó evaluación de los mecanismos de acción de microorganismos marinos y el inductor de resistencia ulvan para el control de *Fusarium proliferatum* en frutos de *Cucumis melo*, trazándose el objetivo de evaluar los mecanismos antagónicos de *D. hansenii*, *S. rhizophila* y un inductor de resistencia, como tratamiento individual y en conjunto, hacia *Fusarium proliferatum*, en frutos de melón. La metodología empleada siguió la secuencia: aislamiento, identificación, verificación de la patogenicidad del hongo, evaluación del efecto inhibitorio aplicando las diferentes combinaciones de tratamiento mediante ensayos *in vitro* e *in vivo* y evaluación del efecto de los MB sobre la calidad de las frutas; demostrando que los microorganismos biocontroladores empleados en el estudio combinados con el inductor de resistencia ulvan, representan una alternativa para el control de la pudrición del fruto del melón, causada por *Fusarium proliferatum*, incluso con mejores resultados a los obtenidos con funguicidas sintéticos convencionales; sin embargo, su eficiencia está condicionada a un tratamiento preventivo, por lo que el autor considera que se requiere profundizar en los estudios, para complementar los resultados obtenidos.

Cheng *et al.* (2015), desarrollaron una preparación preliminar de polvo humectable a base de bacterias endofíticas, para el control biológico de enfermedades postcosecha. La investigación surgió debido a la necesidad de disminuir el uso de funguicidas químicos, en el control de hongos causantes de pudrición en castañas y otras frutas. El plaguicida desarrollado consistió en una formulación de *Bacillus cereus*, en polvo rehidratable de larga vida útil, para el control de la pudrición causada por *Endothia parasitica* (Murr) y *Fusarium solani* en castañas y otras frutas, durante la postcosecha. El trabajo realizado implicó el desarrollo de la formulación y evaluación de la eficacia del biocontrol. El desarrollo de la formulación siguió las etapas: aislamiento, identificación y liofilización de *Bacillus cereus* CE3; elaboración de una formulación preliminar; selección del vehículo; selección del agente dispersante e hidratante y de la proporción; selección del estabilizante y de un protector UV; determinación del contenido de humedad y de la tasa de suspensión de la mezcla formulada; determinación del tiempo de hidratación y de la fineza de la mezcla formulada y determinación de la toxicidad de la formulación. Para evaluar la eficacia del biocontrol, compararon el efecto logrado con la formulación desarrollada, contra un plaguicida de síntesis química, realizando idénticas diluciones para la aplicación de los tratamientos en cada caso. Encontraron que el polvo de *B. cereus*, desarrollado, diluido 100 veces, logra un efecto de control de la pudrición igual al logrado con el funguicida químico en polvo, diluido 1000 veces ($P= 0,05$). Los resultados del estudio son prometedores y los datos obtenidos podrían utilizarse para obtener un producto de *B. cereus* mejorado, para

la aplicación en el control biológico de pudrición de castañas y otras frutas en el campo comercial.

En general, se tiene que son muchas las investigaciones relacionadas con el uso de antagonistas microbianos para el control biológico de enfermedades, que pueden desarrollar las frutas y hortalizas durante la postcosecha (Arras, 1996, Colmenares y Arcia, 2019, Rivas, 2018, Wilson y Chalutz, 1989, Zhang et al., 2005). Pero realmente han sido pocas las aplicaciones prácticas, pues se han encontrado inconsistencias bajo condiciones comerciales; esto posiblemente se deba a falta de claridad en el conocimiento de los mecanismos de acción involucrados en el biocontrol, para cada caso específico, lo cual hasta hace pocos años era muy difícil de dilucidar, por limitaciones tecnológicas; pero últimamente, la biotecnología ha tenido un gran avance con el desarrollo de técnicas moleculares novedosas, que permiten realizar los estudios necesarios para obtener un mayor conocimiento sobre los mecanismos antagónicos de los agentes de control biológico (Spadaro y Droby, 2016). Por lo cual se vislumbra un futuro prometedor en cuanto la intensificación de uso de microorganismos antagonistas en el control biológico de los patógenos de productos hortícolas, con la consiguiente sustitución de los plaguicidas químicos, saneamiento del ecosistema y mayor garantía de inocuidad para la población.

CONCLUSIONES

La efectividad lograda mediante microorganismos antagonistas, en control de los patógenos de frutas y hortalizas durante la postcosecha, a nivel experimental y en un creciente número de aplicaciones prácticas; permite concluir que es posible disminuir el uso de plaguicidas químicos, por el uso de bioplaguicidas, elaborados con microorganismos benéficos antagonistas, reduciendo el impacto al ambiente y aportando mayor garantía de inocuidad a los consumidores.

Los microorganismos fitopatógenos que causan mayores pérdidas en la postcosecha de productos hortícolas, son los hongos filamentosos, aunque también existen algunas bacterias, principalmente de los géneros *Erwinia* y *Pseudomonas* que causan daños de importancia y también deben ser controladas.

Los microorganismos benéficos mayoritariamente empleados como antagonistas de patógenos son las levaduras, seguidos por bacterias (principalmente bacilos) y, por último, algunos hongos filamentosos.

Los mecanismos de acción de los microorganismos antagonistas, para controlar a los patógenos no se han logrado dilucidar completamente, pero entre los que se conocen con claridad se tienen: competencia por espacio y nutrientes, producción de sustancias antimicrobianas, antibiosis, producción de enzimas líticas, parasitismo e inducción de resistencia.

Con el avance de la biotecnología moderna, en cuanto a las técnicas moleculares, se prevé un notable incremento de la aplicabilidad en el uso práctico del biocontrol, para evitar las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas, debidas al deterioro causado por microorganismos patógenos; en armonía con el ambiente y mayor garantía de inocuidad para los consumidores, al sustituirse el uso de plaguicidas de síntesis química.

REFERENCIAS

- Arras, G. (1996). Mode of action of an isolate of *Candida famata* in biological control of *Penicillium digitatum* in orange fruits. *Postharvest Biology and Technology* 8: 191-198.
- Bravo-Luna L. y Guigón-López C. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en México. En Bettiol, W., Rivera, M.; Mondino, P., Montealegre, J. y Colmenárez, Y. (Eds.). *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*. Facultad de agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. [Libro en línea]. en: https://www.researchgate.net/publication/272086409_Control_Biologico_de_Enfermedades_de_Plantas_en_America_Latina_y_el_Caribe.
- Cheng, H., Li L., Hua J., Yuan H. y Cheng S. (2015). Preliminary preparation of endophytic bacteria CE3 wettable powder for biological control of postharvest diseases. *Not Bot Horti Agrobo*. 43(1):159-164.
- Colmenares, G. y Arcia, M. (2019). Gestión sostenible para la producción de biofungicidas y fortalecimiento del sector de bioinsumos agrícolas venezolano. *Enfoque UTE*. Venezuela. 10(1): 26-40.
- Colmenárez, Y., Vásquez, C. y James, M. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en el Caribe. En Bettiol, W., Rivera, M.; Mondino, P., Montealegre, J. y Colmenárez, Y. (Eds.). *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*. Facultad de agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. [Libro en línea]. en: https://www.researchgate.net/publication/272086409_Control_Biologico_de_Enfermedades_de_Plantas_en_America_Latina_y_el_Caribe.
- DECCO. (15 de noviembre de 2017). Principales daños y enfermedades en postcosecha. <https://www.deccoiberica.es/principales-danos-enfermedades-en-postcosecha/>
- Doolotkeldieva T., Bobusheva S. y Suleymankisi A. (2016). Biological Control of *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora* by *Streptomyces* Species. *Advances in Microbiology*, 6: 104-114.
- Droby, S. (2006). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: difficulties and challenges. *Phytopathol. Pol.* 39: 105–117.
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarasin D., y Wilson, C. (2009). Twenty years of postharvest biocontrol research: is it time for a new paradigm? *Postharvest Biol. Technol.* 52:137–145.
- Dukare, A., Paul, S., Nambi V., Gupta R., Singh R., Sharma K. y Vishwakarma, R. (2018). Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1417235>.
- Falconí, C. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en Ecuador. En Bettiol, W., Rivera, M.; Mondino, P., Montealegre, J. y Colmenárez, Y. (Eds.). *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*. Facultad de agro-

nomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. [Libro en línea]. en: https://www.researchgate.net/publication/272086409_Control_Biologico_de_Enfermedades_de_Plantas_en_America_Latina_y_el_Caribe.

- Grabowski, C., Orrego A. y Soilán, L. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en Paraguay. En Bettiol, W., Rivera, M.; Mondino, P., Montealegre, J. y Colmenárez, Y. (Eds.). Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Facultad de agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. [Libro en línea]. en: https://www.researchgate.net/publication/272086409_Control_Biologico_de_Enfermedades_de_Plantas_en_America_Latina_y_el_Caribe.
- Hernández-Lauzardo A., Bautista-Baños, S., Velázquez-del Vall M. (2007). Uso de Microorganismos Antagonistas en el Control de Enfermedades Postcosecha en Frutos. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 25(1): 66-74.
- Higa, T. (2013). Microorganismos Benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenibles. Centro internacional de Investigación de Agricultura Natural, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 13 p.
- Iáñez, E. (s.f.). Biotecnología global, bioseguridad y biodiversidad. Instituto de Biotecnología. Universidad de Granada, España. Consultado el 04 de mayo de 2020. <https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/biodiversidad>.
- Infoagro. (18 de diciembre de 2019). Deterioro de frutas y hortalizas en post-cosecha. <https://mexico.infoagro.com/deterioro-de-frutas-y-hortalizas-en-post-cosecha/>
- Jamalizadeh, M., Etebarian, H., Aminian, H. y Alisadeh, A. (2011). A review of mechanisms of action of biological control organisms against postharvest fruit spoilage. *EPPO Bulletin*. 41(1): 65-71.
- Kader, A. (29 de abril de 2009). 50 años estudiando y enseñando Biología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortofrutícolas. Discurso de Investidura como Dr. Honoris causa [Archivo PDF]. Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Krzyzanowska, D., Maciag T., Siwinska J., Krychowiak M., Jafra S. y Czajkowski R. (2018). Compatible mixture of bacterial antagonists developed to protect potato tubers from soft rot caused by *Pectobacterium* spp. and *Dickeya* spp. *Plant Disease*, "First Look" paper, <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1866-RE>, posted 12/17/2018.
- Lewis, J. y Papavizas C. (1991). Biocontrol of plant disease: the approach for tomorrow. *Crop protection* 10:95-105.
- Liu, J., Wisniewski, M., Artlip, T., Sui, Y., Droby, S. y Norelli, J. (2013). The potential role of PR-8 gene of apple fruit in the mode of action of the yeast antagonist, *Candida oleophila*, in postharvest biocontrol of *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 85: 203-209.
- Mahovic, M., Sargent S., Bartz J. y Lon E. (2006). Identificación y control postcosecha de las enfermedades del tomate en la florida. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/27/40/00001/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo: alcance, causas y prevención. <http://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS). (2014). Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas. http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Code_Spanish_2015_Final.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (10 de mayo de 2016). Las nuevas directrices sobre plaguicidas pretenden suprimir más rápidamente las toxinas peligrosas. <http://www.fao.org/news/story/es/item/414021/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS). (2016). International code of conduct on pesticide management, guidelines on highly hazardous pesticides. <http://www.fao.org/3/a-i5566e.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Lista de plaguicidas evaluados por la JMPS y la JMPR – A. Recuperado el 19 de julio de 2020. <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/pests/lpe/es/>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (19 de febrero de 2018). Residuos de plaguicidas en los alimentos. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>.
- Parveen, S., Wani A., Bhat M. y Koka J. (2016). Biological control of postharvest fungal rots of rosaceous fruits using microbial antagonists and plant extracts. *Czech Mycology* 68(1): 41–66.
- Reyes, A., Rincón G., López L., Martínez Z. y Quiñones E. (2015). Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. *Revista digital universitaria*. 6(11): 15 p.
- Rivas, T. (2018). Mecanismos de Acción de Microorganismos Marinos y el Inductor de Resistencia Ulvan Para el Control de *Fusarium proliferatum* en Frutos de *Cucumis melo* L. var. *Reticulatus*. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. Bolivia. 99 p.
- Robinson, J. (10 de noviembre de 2008). Reduce pérdidas poscosecha. Hortalizas. <https://www.hortalizas.com/miscelaneos/reduce-perdidas-poscosecha/>
- Sarrocco, S. y Vannacci, G. (2017). Preharvest application of beneficial fungi as a strategy to prevent postharvest mycotoxin contamination: A review. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.013>.

- Sharma, R., Singh, D., y Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review. *Biological Control*. 50(3): 205-221.
- Soto, F., Tramón, C., Aqueveque P. y Bruijn, J. (2018). Microorganismos antagonistas que inhiben el desarrollo de patógenos en post-cosecha de limones (*Citrus limon* L.). *Agro-Ciencia*. 34(2): 173-184.
- Spadaro, D. y Droby, S. (2016). Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: the importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. *Trends Food. Sci. Technol.* 47: 39-49.
- Trigos, Á., Ramírez, K. y Salinas, A. (2008). Presencia de hongos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista Mexicana de Micología*. 28: 125-129.
- UTZ. (2015). Lista de plaguicidas prohibidos y lista de plaguicidas en vigilancia. https://utz.org/wp-content/themes/utz/download-attachment.php?post_id=5810.
- Vatankhah, M., Saberi Riseh, R., Moradzadeh Eskandari M., Sedaghati, E., Alaei H., y Afzali, H. (2019). Biological control of fusarium dry rot of potato using some probiotic bacteria. *J. Agr. Sci. Tech.* 21(5): 1301-1312.
- Venkateswarlu, B., Shanker, A., Shanker, C., Maheswari, M. (2011). *Crop stresses and its management: Perspectives and strategies*. (1° ed.). Springer Science & Business Media. Netherland.
- Wilson, C. y Chalutz, E. (1989). Postharvest Biological Control of *Penicillium* Rots of Citrus with Antagonistic Yeasts and Bacteria. *Scientia Horticulturae*, 40: 105-112.
- Zhang, H., Zheng X., Fu C. y Xi Y. (2005). Postharvest biological control of gray mold rot of pear with *Cryptococcus laurentii*. *Postharvest Biology and Technology*. 35: 79–86.
-

Iván de Jesús Toro Hidalgo: Técnico Superior Universitario en Química, Instituto Universitario de Tecnología Valencia (IUTVAL); Ingeniero de Alimentos, Universidad Nacional Experimental “Simón Rodríguez” (UNESR); Magíster en Ciencia de los Alimentos, Universidad Simón Bolívar (USB); Investigador Jefe de la División de Postcosecha y Coordinador de la Gerencia de Investigación, Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE); Presidente del Subcomité Técnico de Normalización de Frutas, Hortalizas y Productos Derivados (FODENORCA-CIEPE); Investigador Acreditado por el Programa de Estímulo a la Innovación e Investigación (PEII).