

# Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria* spp.)

## Biological strategies for disease management in strawberry growing (*Fragaria* spp.)



MARIO ALEJANDRO CANO T.<sup>1, 2</sup>

**Cultivo de fresa en Arcabuco,  
Boyacá.**

Foto: G. Fischer

### RESUMEN

La fresa es un cultivo de alto valor económico, nutricional y medicinal. Sin embargo, es altamente susceptible al ataque de patógenos, por lo cual, uno de los principales retos en el desarrollo del cultivo e incluso en la poscosecha de la fruta, es el manejo de las enfermedades que en su gran mayoría, son de carácter fungoso; seguidas por algunos problemas bacterianos, de nematodos y muy pocos ocasionados por virus. El manejo de estas patologías está fundamentado en el uso de un amplio arsenal de productos para la protección de cultivos comúnmente llamados pesticidas, los cuales generan alto riesgo para la salud humana y ambiental, además de afectar la inocuidad de la fruta e incrementar los costos de producción. En este sentido, surge la necesidad de buscar alternativas para el manejo integrado de enfermedades. Una de las estrategias más estudiadas en los últimos años ha sido el uso de antagonistas microbianos con el fin de regular las poblaciones de fitopatógenos en los cultivos. El amplio espectro de estos microorganismos contra diferentes blancos patológicos; la posibilidad de incluirlos antes y durante el establecimiento del cultivo e incluso en la poscosecha; y la multifuncionalidad que presentan no solo como agentes de control biológico, sino como promotores del crecimiento vegetal y biofertilizantes, hacen que la inclusión de esta estrategia biológica en el manejo integrado de enfermedades sea atrayente para los productores, los cuales deben adaptarse a las exigencias de los consumidores que cada día demandan más productos limpios e inocuos.

#### Palabras clave adicionales:

regulación biológica de patógenos, resistencia sistémica inducida, agentes de control biológico, antagonistas.

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. mcano@udca.edu.co

## ABSTRACT

The strawberry is a crop of high economic, nutritional and medicinal value. However, it is highly susceptible to attack by pathogens; thus, one of the principal challenges in the development of crops and post-harvest fruits is the management of diseases, mostly fungi followed by bacterial problems, nematodes, and some viruses. The management of these disorders is based on the use of a broad array of products for crop protection that are commonly called pesticides, which generate high risks to humans and environmental health, affect the safety of the fruits and increase production costs. In this sense, there is a need to find alternatives for integrated disease management. One of the most-studied strategies in recent years has been the use of microbial antagonists with the aim of regulating plant pathogen populations in crops. The broad range of organisms used against various pathological targets, the possibility of including them before and during crop establishment and even during post-harvest, and their multi-functionality as not only biological control agents but also as promoters of plant growth and bio-fertilizers make the inclusion of this biological strategy in integrated disease management attractive to producers who must adapt to the demands of consumers for cleaner and safer products that increase every day.

### Additional key words:

biological control of pathogens, induced systemic resistance, biological control agents, antagonists.

Fecha de recepción: 06-09-2013

Aprobado para publicación: 31-10-2013

## INTRODUCCIÓN

Las fresas (*Fragaria* spp.) se cultivan en diferentes zonas del mundo, tropicales, subtropicales e incluso en áreas templadas. Además de su interés comercial, este cultivo es de gran importancia social debido a la alta demanda de trabajadores requeridos para su producción y procesamiento en campo, en poscosecha y en la industria (Pedraza *et al.*, 2007). En la actualidad, la fresa debido a su alto contenido de flavonoides, antocianinas y compuestos fenólicos, además del contenido nutricional y el aporte de algunas vitaminas como la A y C (Cao *et al.*, 2011), puede ser considerada como un producto nutracéutico, ampliando las posibilidades comerciales que existen para este tipo de productos, que cada día aumentan en los mercados internacionales.

De la producción mundial de frutas finas "Berries o frutos rojo", la fresa supera en la actualidad el 62% de la producción de este grupo (fresa, fram-

buesa, mora y arándano), en un área cultivada de 254.027 ha que representan una producción aproximada de 5 millones de toneladas. Estados Unidos se encuentra como principal productor con 1'312.960 t año<sup>-1</sup>, seguido por Turquía con 302.416 t año<sup>-1</sup> y España con 262.730 t año<sup>-1</sup>, según estadísticas de la FAO (2011).

Colombia, hasta el año 2011 contaba con un área de cultivo de 1.130 ha, con una producción de 45.000 t año<sup>-1</sup> y un rendimiento aproximado de 39.718 kg ha<sup>-1</sup>, con una distribución de cultivos principalmente en los departamentos de Cundinamarca (63,4%), Antioquia (23,8%), Norte de Santander (7%), Cauca (3,6%), Boyacá (1,6%) y otros (0,6%), según el anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 (Agronet, 2013).

Por otra parte, este cultivo es altamente demandante de productos como insecticidas, fungici-

das y plaguicidas para lograr una aceptable producción de fruta. Requiere grandes cantidades de recursos renovables y no renovables tales como: la cobertura del suelo que consiste en cubrir las eras, surcos o camas, con algún material plástico que impida que la fruta tenga contacto directo con el suelo, impidiendo así daños patológicos y a su vez evitando el crecimiento de arvenses. De igual forma, requiere una cantidad considerable de agua para el establecimiento de las plantaciones y depende de aplicaciones frecuentes de fertilizantes de síntesis química, para aumentar su productividad (Pritts, 2002).

Uno de los principales retos en el desarrollo del cultivo comercial de fresa, e incluso en la poscosecha de la fruta, es el manejo de las enfermedades que en su gran mayoría son de carácter fungoso; seguido por algunos problemas bacterianos, de nematodos y muy pocos ocasionados por virus. La fresa es una especie altamente susceptible a patógenos, algunos edáficos como los oomycetes *Phytophthora cactorum*, que ocasionan la enfermedad de la pudrición de la corona (Martínez *et al.*, 2010), *Phytophthora fragariae* var *fragariae*, que causa la podredumbre roja y *Pythium* sp. Asimismo hongos como *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Verticillium* sp. (Vestberg *et al.*, 2004). Otros patógenos aéreos que ocasionan enfermedades como la antracnosis, causada por varias especies del género *Colletotrichum* entre los cuales se incluyen *C. acutatum* J.H. Simmonds, *C. fragariae* Brooks, y *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. (Freeman y Katan, 1997; Legard *et al.*, 2005; Turechek *et al.*, 2006; Chalfoun *et al.*, 2011), el moho gris conocido también como Botrytis, cuyo agente causal es el hongo *Botrytis cinerea* Pers. (Chaves y Wang, 2004; Zhang *et al.*, 2007), viruela o peca de la hoja causada por *Mycosphaerella fragariae*, oidium ocasionada por *Sphaeroteca macularis* f.sp. *fragariae* (*Podosphaera aphanis*) (De Cal *et al.*, 2008) y *Alternaria* spp. Diversas enfermedades fungosas como la podredumbre blanda causada por *Rhizopus stolonifer* y la podredumbre negra ocasionada por hongos tales como: *Mucor* spp., *Aspergillus niger* y

*Pythium* spp., y otros patógenos como: *Penicillium digitatum* y *Rhizoctonia solani*, son también comunes en poscosecha (Farrera *et al.*, 2007; Guédez *et al.*, 2009; Chalfoun *et al.*, 2011).

Estas enfermedades revisten gran importancia en el cultivo debido a que pueden afectar todos los tejidos vegetales, como: raíces, estolones, coronas, tallos, hojas, flores y frutos (Freeman y Katan, 1997), dando como resultado grandes pérdidas de la fruta, afectando la calidad, la cantidad y la rentabilidad (Brimner y Boland, 2003).

El moho gris causado por *B. cinerea* es una de las enfermedades más destructivas durante el desarrollo del cultivo y en la poscosecha (Zhang *et al.*, 2007), ocasionando graves pérdidas económicas estimadas alrededor del 30% del total de la producción y entre un 40% a 50% en condiciones de alta humedad. Incluso en poscosecha este patógeno es aún más agresivo, afectando al 95% de los frutos 48 h después de cosechados (Mata-moros, 1986; citado por Chaves y Wang, 2004). Así mismo, las pérdidas debidas a la antracnosis pueden superar el 50% cuando las condiciones son favorables para el desarrollo del patógeno (Turechek *et al.*, 2006) (temperatura >18°C y humedad relativa (HR) >80%), condiciones normales en fresa de altura en la Sabana de Bogotá.

Durante muchos años se han utilizado fungicidas sintéticos para controlar a estos patógenos, pero se ha demostrado que estos microorganismos se hacen resistentes a dichos productos, además de representar un riesgo potencial para el ambiente y la salud humana (Pritts, 2002; Pedraza *et al.*, 2007; Guédez *et al.*, 2009; Ge *et al.*, 2010; Pedraza *et al.*, 2010; Peres *et al.*, 2010; Tortora *et al.*, 2011a y b).

Por tanto, el propósito de esta revisión es realizar un análisis del uso de antagonistas solos o en mezclas en el cultivo de fresa; los productos de estos (enzimas y metabolitos secundarios); sus diversos mecanismos y modos de acción, entre

los cuales se incluye: la competencia por espacio y nutrientes, el parasitismo y micoparasitismo, la antibiosis, la producción de sideróforos y la estimulación del sistema de defensa de las plantas.

## REGULACIÓN BIOLÓGICA DE PATÓGENOS EN EL CULTIVO DE FRESA

Durante los últimos 20 años, varios agentes de control biológico (BCA, por sus siglas en inglés), también conocidos como biocontroladores o bio-reguladores, han sido ampliamente investigados en diferentes cultivos, con el fin de realizar una regulación biológica de diversos patógenos. Estos BCA, han sido estudiados, propagados, registrados y formulados para ser utilizados como una de las principales alternativas al manejo convencional de las enfermedades en los cultivos, amparado en el uso muchas veces indiscriminado de plaguicidas sintéticos.

Lo más interesante de la estrategia de regulación biológica de patógenos, mediante la utilización de BCA, tiene que ver con los variados mecanismos de acción de estos microorganismos para la regulación, los cuales incluyen la competencia por nutrientes y espacio, el parasitismo y micoparasitismo, la producción de antibióticos, enzimas líticas, sideróforos y otros metabolitos secundarios de interés, y la estimulación del sistema de defensas en la planta huésped, entre otros (Brimner y Boland, 2003; Spadaro y Gullino, 2004; Hernández-Lauzardo *et al.*, 2007).

La inclusión de esta estrategia en el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa se condensa detalladamente en la tabla 1, haciendo referencia al patógeno objeto de la regulación, a la condición donde se realiza el estudio en campo abierto, invernadero o laboratorio, al antagonista utilizado, al efecto de supresión de patógenos y al benéfico proporcionado por los BCA a las plantas y las referencias.

## HONGOS MICORRÍCIOS ARBUSCULARES (AMF) EN LA NUTRICIÓN Y MANEJO DE FITOPATÓGENOS EN EL CULTIVO DE FRESA

La simbiosis micorrícica ejerce un efecto importante en las interacciones de las plantas con patógenos e insectos. En general, los AMF (por sus siglas en inglés) conducen a una reducción en el daño causado por patógenos del suelo, compitiendo por espacio y nutrientes (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007). Los efectos en patógenos foliares y plagas, dependerá de la forma de vida de estos organismos y de la inducción de resistencia por parte de los AMF en las plantas. Es así como plantas inoculadas con AMF, toleran mejor patógenos necrotróficos e insectos masticadores (Whipps, 2004; Pozo y Azcón-Aguilar, 2007).

Matsubara *et al.* (2004) encontraron que plantas de fresa inoculadas con AMF fueron más tolerantes al marchitamiento producido por *Fusarium* sp., comparado con plantas sin tratar. A partir de los cambios metabólicos observados en las plantas inoculadas con AMF, en cuanto al aumento del contenido de aminoácidos totales, Matsubara *et al.* (2009) sugieren que es necesario seguir trabajando para determinar si alguno de los cambios en los aminoácidos de las plantas micorrizadas tienen una relación directa con la supresión de los síntomas de la enfermedad.

Experimentos *in vitro* mostraron que después de 48 h de inocular el patógeno *P. fragariae* en las raíces de plantas de fresa colonizadas por *Glomus etunicatum* y *G. monosporum*, la esporulación de *P. fragariae* se redujo en 67% y 64%, respectivamente, comparado con las plantas control. Después de 72 h, la esporulación del patógeno se redujo 83% y 89% respectivamente. Con estos resultados, Norman y Hooker (2000), sugieren que el mecanismo de acción de los AMF es el cambio

Tabla 1. Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria* spp.)

Patógeno	Condición	Antagonista	Modo y mecanismo de acción del antagonista	Resultado	Referencia
<i>Botrytis cinerea</i> <i>Mucor piriformis</i>	Bajo cubierta, cultivo protegido (invernadero) época de floración y fructificación	<i>Trichoderma</i> spp. productos comerciales (Trichodex, Blnab TF WP y Rootshield) y <i>Trichoderma harzianum</i> P1	Biorregulación (competencia, micoparasitismo, antibiosis, sideróforos, resistencia sistémica inducida RSI)	En pruebas de laboratorio encontraron que la temperatura y el estado nutricional del sustrato afectan negativamente la germinación de los conidios de las especies de <i>Trichoderma</i> , mientras que la germinación de los patógenos es más rápida afectando la regulación.	Gordon, 2000
<i>B. cinerea</i>	Campo abierto, compatibilidad para la dispersión del inóculo con abejas.	<i>Clonostachys rosea</i> f. <i>rosea</i> ( <i>Gliocladium roseum</i> )	Biorregulación (competencia, antibiosis RSI).	Alternativa de manejo integrado de la enfermedad y protección contra otros patógenos: <i>Colletotrichum</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Verticillium</i> y <i>Penicillium</i> .	Chaves y Wang, 2004
<i>B. cinerea</i>	Aislamiento en campo pruebas en laboratorio	<i>C. rosea</i>	Biorregulación (competencia, antibiosis, RSI)	Reducción de la esporulación del patógeno en un 10%.	Nobre et al., 2005
<i>B. cinerea</i>	Laboratorio	<i>T. harzianum</i>	Biorregulación (competencia, micoparasitismo, antibiosis, sideróforos, RSI)	<i>Trichoderma</i> posee una proteína elicitora constitutiva que actúa contra <i>Botrytis cinerea</i> y otros patógenos como <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium oxysporum</i> .	Yang et al., 2009
<i>B. cinerea</i>	Campo abierto, alterno con fungicidas	<i>C. rosea</i>	Biorregulación (competencia, antibiosis, RSI).	Reducción significativa del inóculo del patógeno, uso alterno con productos para la protección de cultivos. Alternativa para el MIE e integración con controles culturales poda fitosanitaria.	Cota et al., 2008 y 2009
<i>B. cinerea</i>	Laboratorio	<i>Streptomyces platensis</i> F-1	Biorregulación (antibiosis)	Supresión del micelio del patógeno, por antibiosis mediante la producción de compuestos volátiles por parte del antagonista.	Wan et al., 2008
<i>B. cinerea</i>	Laboratorio	<i>C. rosea</i>	Biorregulación (competencia, antibiosis RSI)	Susceptibilidad del antagonista a la radiación ultravioleta (UV-B). Dosis altas de radiación afectan la capacidad antagónica de este biorregulador.	Costa et al., 2013

(Continúa en la siguiente página)

Patógeno	Condición	Antagonista	Modo y mecanismo de acción del antagonista	Resultado	Referencia
<i>Sphaeroteca macularis</i> f.sp. <i>fragariae</i> ( <i>Podosphaera aphanis</i> )	Cámaras de crecimiento y viveros a campo abierto	<i>Penicillium oxalicum</i>	Biorregulación (antibiosis)	Reducción significativa del inóculo del patógeno.	De Cal <i>et al.</i> , 2008
<i>S. macularis</i>	Túneles de producción, alterno con fungicidas	<i>Ampelomyces quisqualis</i> <i>T. harzianum</i> T39 <i>Bacillus subtilis</i>	Biorregulación (competencia, antibiosis, sideróforos, micoparasitismo, RSI)	Control de la enfermedad pero en menor proporción que los fungicidas químicos, sin embargo los BCA, reducen su uso y pueden ser aplicados de forma alterna y hacer parte de un MIE.	Pertot <i>et al.</i> , 2008
<i>Verticillium dahliae</i>	En campo abierto inoculaciones y co-inoculaciones con PGPR y AMF, y fumigaciones con bromuro de metilo	<i>Glomus</i> spp. <i>Bacillus</i> sp.	No encontraron respuestas significativas ni en la biorregulación ni en el favorecimiento de la planta	Los tratamientos en los cuales se utilizaron los antagonistas previamente se habían tratado con bromuro de metilo y esto pudo afectar la respuesta en cuanto a la biorregulación del patógeno y el favorecimiento de las plantas.	Tahmatsidou <i>et al.</i> , 2006
<i>Rhizopus stolonifer</i> , <i>Mucor</i> spp., <i>Penicillium digitatum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Pythium</i> spp.	Poscosecha, laboratorio	<i>T. harzianum</i>	Biorregulación (competencia, micoparasitismo, antibiosis, sideróforos, RSI)	Pruebas duales en cajas Petri se realizaron con los patógenos poscosecha. El antagonista es un buen competidor (rápido crecimiento), mecanismo de acción micoparasitismo.	Guédez <i>et al.</i> , 2009

en la producción de exudados radicales por parte de la planta, lo cual afecta directamente la esporulación de los patógenos. De hecho, Finlay (2004), menciona que los exudados de los AMF modifican la composición de rizósfera y esto modula las interacciones con otros organismos presentes en esta zona. De igual forma, Murphy *et al.* (2000) inocularon microplantas de fresa silvestre (*Fragaria vesca*) en la fase de adaptación en invernadero con los inoculantes comerciales Endorize IV, VAMINOC y la especie *Glomus mosseae*, a la vez utilizaron un sustrato enriquecido Supresor®, de turba comercial modificado con restos de mariscos que contenían quitina en su composición, encontrando que: hubo un efecto aditivo en la estimulación de la longitud de raíces y porcentajes de colonización radicular, cuando las plantas se trataron con VAMINOC, la especie *G. mosseae* y el sustrato enriquecido, pero no con las plantas inoculadas con Endorize IV y el sustrato. También se presentó un efecto aditivo cuando se inocularon las plantas con VAMINOC y el sustrato enriquecido Supresor® en cuanto a la resistencia de las plantas a la enfermedad de la pudrición de la corona (*P. cactorum*).

Borowicz (2010) analizó la respuesta de tres genotipos de fresa (*Fragaria virginiana* Duch.) inoculados con especies nativas de AMF sometidos a estrés de tipo biótico, daños ocasionados a nivel estructural de las raíces por la inoculación artificial de herbívoros y estrés abiótico sometiendo las plantas a déficit hídrico, notando que las plantas inoculadas con AMF responden muy bien al daño causado por los herbívoros y se recuperan más fácilmente al estrés hídrico inducido, que las plantas no micorrizadas. En cuanto a la actividad hídrica en las plantas inoculadas con AMF, Hernández-Sebastià *et al.* (1999), en plantas micropropagada fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Kent) inoculadas con *Glomus intraradices* Schenck y Smith, demostraron que los contenidos relativos de agua y la turgencia de las células eran mayores en las raíces de las plantas inoculadas comparado con las no inoculadas.

Por otra parte, los beneficios en la nutrición vegetal y en la estimulación del crecimiento y absorción de agua en plantas micorrizadas, se encuentran ampliamente documentados (Cano y Hoyos, 2011), y estos beneficios repercuten directamente en la sanidad de los cultivos y la calidad de los productos. En este sentido, Alarcón *et al.* (2000), encontraron una mejor absorción de fósforo y nitrógeno en plantas in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Fern) inoculadas con tres especies de AMF del género *Glomus* sp., notando un efecto directo en la estimulación del crecimiento puesto que las plantas inoculadas produjeron más estolones que las no inoculadas, resultados importantes en la adaptación y propagación de la fresa.

No obstante se debe tener presente que existe cierto tipo de especificidad entre las especies de AMF y las plantas de fresa, observando que no todas las especies de AMF, aportan beneficios en el crecimiento, nutrición y absorción de agua. De hecho la respuesta de las plantas a la inoculación y co-inoculación con diversas especies de micorrizas es variada. En este sentido, Taylor y Harrier (2001), comprobaron la diversidad de efectos, en cuanto a la estimulación del crecimiento, desarrollo y estado nutricional de plantas micropropagadas de fresa (*Fragaria x ananassa* cv. Elvira) en respuesta a la inoculación con nueve especies de AMF *Glomus clarum*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *Gigaspora rosea*, *G. gigantea*, *G. margarita*, *Scutellospora calospora*, *S. heterogama* y *S. pèrsica*. Notando que: todas las especies de *Scutellospora* y *G. rosea* afectaron negativamente el crecimiento de las plantas, contrario a lo que ocurrió con las especies *G. intraradices* y *G. margarita* las cuales estimularon el crecimiento de las plantas. En general, las concentraciones de Mn y Mg fueron significativamente más altas en las plantas colonizadas con todos los aislamientos de las micorrizas empleadas. Comprobando de esta manera las múltiples respuestas de las plantas y la especificidad de las especies de AMF en el cultivo de fresa.

## BACTERIAS Y RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPB-PGPR) COMO BCA DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE FRESA

Las interacciones entre el sistema de raíces de las plantas y las rizobacterias tienen un profundo efecto en la sanidad, el rendimiento de los cultivos y en la composición de la microbiota del suelo. Las bacterias de la zona de raíces son capaces de generar una amplia gama de metabolitos secundarios (enzimas, hormonas, sideróforos y antibióticos, entre otros) que pueden tener una influencia positiva sobre el establecimiento, crecimiento y desarrollo vegetal; mejorar la disponibilidad de minerales y nutrientes (especialmente la solubilización de fosfatos); mejorar la capacidad de fijación de nitrógeno, disminuir la susceptibilidad de las plantas a factores abióticos como las heladas y mejorar la sanidad vegetal mediante la regulación biológica de fitopatógenos e inducción de resistencia sistémica en las plantas (Sturz y Nowak, 2000; Sturz y Christie, 2003; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2006).

Algunos trabajos en la supresión de patógenos tratados con PGPB se presentan en la tabla 2, haciendo referencia al patógeno objeto de la regulación, a la condición donde se realiza el estudio, al antagonista utilizado y al efecto benéfico proporcionado en las plantas.

## RESISTENCIA SISTÉMICA INDUCIDA EN PLANTAS DE FRESA

Las plantas pueden ser inducidas a desarrollar una mayor resistencia a los patógenos mediante el tratamiento con diversos inductores bióticos y abióticos (químicos y físicos). La resistencia inducida es de amplio espectro y puede ser de larga duración, pero rara vez proporciona un control completo de la enfermedad. La mayoría de agentes inductores reducen la infección entre 20% y 85%. Una posible razón para esto es que las plantas en

el campo ya son inducidas a través de las continuas interacciones con factores biótico y abiótico (Terry y Joyce, 2004; Walters *et al.*, 2005; Walters, 2009; Zhang *et al.*, 2010; Cao *et al.*, 2011; Chalfoun *et al.*, 2011; Grellet-Bournonville *et al.*, 2012).

Muchos autores han reportado interacciones entre cultivares de fresa y microorganismos patógenos, pero poco se sabe sobre los mecanismos de defensa desencadenados en la planta a partir de esta interacción. Para dilucidar un poco las implicaciones de esta interacción, Grellet-Bournonville *et al.* (2012) sometieron plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* cv. Pajarito) a *Colletotrichum acutatum* cepa virulenta M11 y una cepa no virulenta de *C. fragariae* M23. Notando que en las plantas inoculadas con la cepa M23, presentaron una acumulación temporal de ácido salicílico (AS) acompañada con la expresión de genes relacionados con la defensa (PR-1), posteriores a eventos oxidativos debidos a la acumulación de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el anión superóxido. Resultados similares fueron obtenidos al realizar una aplicación exógena de AS. Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que las plantas de fresa activan una ruta de defensa mediada por AS, la cual resulta ser eficaz contra la antracnosis. En otros cultivares de fresa también se había obtenido este tipo de respuesta al ser tratados con cepas virulentas de *C. fragariae* y este tipo de inducción es no específico, es decir de amplio espectro contra otros patógenos (Chalfoun *et al.*, 2011).

La respuesta a la inoculación y coinoculación de inductores de resistencia, no solo presenta en la planta sino en los frutos, los cuales se aumentan la producción de enzimas líticas como las β-1,3-glucanasas y fitoalexinas que estimulan los mecanismos de defensa (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2007). En este sentido, Cao *et al.* (2011) trataron frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) con el éster S-metil 1,2,3-benzotriazol-7-carbotioico (BTH) inductor químico de resistencia, observando que las actividades enzimáticas mejoraron incluyendo la producción de enzimas antioxidantes, superóxido dismutasa, ascorbato

**Tabla 2. PGPR y PGPB como BCA en el cultivo de fresa (*Fragaria* spp.).**

Patógeno	Condición	Antagonista	Beneficio para la planta	Resultado	Referencia
<i>Colletotrichum acutatum</i>	Laboratorio <i>In vitro</i>	<i>Azospirillum brasilense</i> cepas REC2 y REC3	Biorregulación	Capacidad antifúngica debida principalmente a la producción de Sideróforos, inducción de resistencia sistémica producción de ácido salicílico, producción de índoles.	Tortora <i>et al.</i> , 2011a
			Biofertilización	Promoción del crecimiento, Fijación de nitrógeno.	
<i>C. acutatum</i>	Laboratorio fitotrón	<i>A. brasilense</i>	Biorregulación	Resistencia sistémica; deposiciones calosa, aumento en el contenido de ácido salicílico (SA) en hojas. Expresión de genes relacionados con la defensa, mayor producción de quitinasas y glucanasa.	Tortora <i>et al.</i> , 2011b
			Biofertilización	Promoción del crecimiento vegetal.	
<i>B. cinerea</i>	Laboratorio <i>In vitro</i>	11 bacterias epifitas aisladas de las hojas de plantas de fresa	Biorregulación	Producción y liberación de compuestos antimicrobianos volátiles desde las hojas. Competencia por nutrientes.	Abanda-Nkpwatt <i>et al.</i> , 2006

peroxidasa y glutatión reductasa. De igual forma, los contenidos de compuestos fenólicos, antocianinas y la capacidad de captación de radicales libres aumentaron. También se indujo la resistencia sistémica adquirida (SAR) en los frutos, disminuyendo la presencia del moho gris (*B. cinerea*) en las frutas tratadas.

## REGULACIÓN BIOLÓGICA DE ENFERMEDADES EN POSCOSECHA DE FRESA

Las enfermedades poscosecha de los productos hortofrutícolas, son comúnmente controladas mediante el uso de fungicidas. Sin embargo, el uso de agentes químicos ha sido continuamente restringido debido al desarrollo de resistencia en los patógenos, la contaminación ambiental y el riesgo para la salud humana. El control biológico en esta área ha tenido menos desarrollo que las

investigaciones en precosecha. Los mecanismos de acción que se le atribuyen al uso de antagonistas en poscosecha son: competencia por espacio y nutrientes, parasitismo, antibiosis, principalmente (Bautista-Baños, 2006; Sharma *et al.*, 2009).

La ocurrencia de hongos patógenos en la poscosecha de la fresa (*Fragaria* spp) es amplia, variada y compleja, se presentan por lo general *Aspergillus*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Penicillium*, *Pestalotiopsis*, *Phytophthora*, *Phytium* y *Rhizopus stolonifer*, además de algunos hongos saprófitos. La presencia de estos patógenos se relaciona con la susceptibilidad de las variedades, las características de los sistemas de producción y las prácticas culturales que se realicen para mitigar el daño producido por los patógenos (Fraire-Cordero *et al.*, 2003).

Información reciente del manejo biológico de enfermedades en la poscosecha de fresas se conden-

sa en la tabla 3, haciendo énfasis en el patógeno, la alternativa biológica, el efecto sobre la fruta y el patógeno y la referencia. Además se incluye el tratamiento con extractos vegetales (aceites esenciales) y algunos elicitors comerciales.

## CONCLUSIONES

Pese a que la mayoría de las investigaciones en regulación biológica de patógenos con el uso de antagonistas en fresa, se ha realizado en condi-

ciones controladas de laboratorio o semicontroladas de invernadero, el paso a condiciones de campo es el reto fundamental de los investigadores en esta área, los cuales trabajan incansablemente para aislar, purificar, identificar y caracterizar especies viables y estables, que se puedan registrar y formular para poderlas utilizar en diversos sistemas productivos, bajo diferentes condiciones agroecológicas. Sin embargo, no se trata de una tarea fácil debido a los múltiples factores bióticos y abióticos que modulan la interacción suelo-planta-patógeno-antagonista.

**Tabla 3. Regulación biológica de patógenos en poscosecha de fresa (*Fragaria* spp.)**

Patógeno	Antagonistas bióticos y abióticos	Efecto	Referencia
<i>Rhizopus</i> sp.	Levadura <i>Rhodotorula glutinis</i> Ácido salicílico (SA)	Reducción de la incidencia (inhibición de la esporulación) y el diámetro de las lesiones. Inducción de resistencia sistémica. Aumento en la producción de enzimas quitinasas y glucanasas.	Zhang <i>et al.</i> , 2010
<i>B. cinerea</i>	Levadura <i>R. glutinis</i> Medio de cultivo con la adición de quitina	Potencialización del efecto antagónico por el tratamiento con quitina. Mejora la actividad quitinasa de la levadura e induce la actividad $\beta$ -1,3-glucanasa. Retrasa la senescencia de las fresas.	Ge <i>et al.</i> , 2010
<i>B. cinerea</i>	Levadura <i>Sporidiobolus pararoseus</i> cepa YCXT3	Antibiosis, producción de compuestos volátiles (2-etil-1-hexanol), alta actividad antifúngica. Reducción de la incidencia de la enfermedad (disminución de la germinación de conidios).	Huang <i>et al.</i> , 2012
Mohos y flora total presente en las frutas de fresa	Compuestos bioactivos Aceites esenciales de Tomillo rojo, Orégano, Limoneno y Menta. Quitosano	Los compuestos bioactivos de tomillo y oregano son fuertes contra los patógenos comparados con limoneno y menta. Estos compuestos alargan la vida útil de las frutas.	Vu <i>et al.</i> , 2011
<i>B. cinerea</i>	Levadura <i>R. glutinis</i>	Inhibe el crecimiento del patógeno (reducción en la germinación de esporas).	Zhang <i>et al.</i> , 2007
<i>B. cinerea</i>	<i>R. mucilaginosa</i> Ácido fítico	Efecto aditivo mejora la actividad antagónica de la levadura. Inhibición del crecimiento del patógeno. Inducción de resistencia sistémica.	Zhang <i>et al.</i> 2012
Presencia de microorganismos patógenos	Dióxido de cloro (ClO <sub>2</sub> ), hipoclorito de sodio (NaClO) peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) ácido cítrico (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ) y etanol (EtOH)	Reducción significativamente del porcentaje de fruta infectada. La aplicación de desinfectantes por nebulización es eficaz, pero puede ser tóxico para los trabajadores, los cuales necesitan elementos de protección para la aplicación.	Vardar <i>et al.</i> , 2012

Ingentes esfuerzos deben seguirse realizando para tratar de explicar la complejidad de esta interacción en condiciones de campo.

Lo interesante de las prácticas de manejo integrado de enfermedades es la búsqueda continua de alternativas para el uso racional de los recursos destinados para la protección de los cultivos. El uso de inoculantes microbianos multifunciona-

les con atributos en la promoción del crecimiento vegetal y en la regulación biológica de patógenos, directa o indirectamente proporciona múltiples beneficios para las plantas, aumentando los rendimientos, la calidad, la sanidad de los productos y el respeto al medio ambiente y se convierte en una estrategia biológica que puede incluirse en el MIE o ser una opción independiente ajustada a los sistemas de producción limpia y sostenible.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), por el apoyo para la realización de los estudios de doctorado, a la Universidad Nacional de Colombia por la formación investigativa y especialmente a los doctores Ruth Bonilla de Corpoica, Pedro Jiménez de la Universidad Militar Nueva Granada, Jairo Cuervo de la Universidad Nacional de Colombia y Édgar Martínez de la UDCA, por sus valiosas sugerencias y recomendaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanda-Nkpwatt, D., U. Krimm, H.A. Coiner, L. Schreiber y W. Schwab. 2006. Plant volatiles can minimize the growth suppression of epiphytic bacteria by the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea* in co-culture experiments. *Environ. Exp. Bot.* 56, 108-119.
- Agronet. 2013. Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembras y cosechas. Resultados Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2011. (<http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/ANUARIO%20ESTADISTICO%20DE%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%202011.pdf>. 305p.; consulta: 15 de octubre de 2013.
- Alarcón, A., C.R. Ferrera, M.C. González C. y A. Villegas M. 2000. Hongos micorrizicos arbusculares en la dinámica de estolones y nutrición de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo in vitro. *Terra* 18(3), 210-218.
- Bautista-Baños, S. 2006. El control biológico en la reducción de enfermedades postcosecha en productos hortofrutícolas: uso de microorganismos antagonicos. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* 8(1), 1-6.
- Borowicz, V.A. 2010. The impact of arbuscular mycorrhizal fungion strawberry tolerance to root damage and drought stress. *Pedobiología* 53, 265-270.
- Brimner, T.A. y G.J. Boland. 2003. A review of the non-target effects of fungi used to biologically control plant diseases. *Agric. Ecosyst. Environ* 100, 3-16.
- Cano T., M.A. y L.M. Hoyos C. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revision. *Rev. UDCA Act. & Div. Cient.* 14(2), 15-31.
- Cao, S., Z. Hu, Y. Zheng, Z. Yang y B. Lu. 2011. Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging

- activity and decay in strawberry fruit. *Food Chem.* 125, 145-149.
- Chalfoun, N.R., A.P. Castagnaro y J.C. Díaz R. 2011. Induced resistance activated by a culture filtrate derived from an avirulent pathogen as a mechanism of control of anthracnose in strawberry. *Biol. Control* 58, 319-329.
- Chaves, N. y A. Wang. 2004. Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agron. Costarricense* 28(2), 73-85.
- Costa, L.B., E.N. Rangel D.; M.A.B. Morandi y W. Bettioli. 2013. Effects of UV-B radiation on the antagonistic ability of *Clonostachys rosea* to *Botrytis cinerea* on strawberry leaves. *Biol. Control* 65, 95-100.
- Cota, L.V., L.A. Maffia, E.S.G. Mizubuti, P.E.F. Macedo y R.F. Antunes. 2008. Biological control of strawberry gray mold by *Clonostachys rosea* under field conditions. *Biol. Control* 46, 515-522.
- Cota, L.V., L.A. Maffia, E.S.G. Mizubuti y P.E.F. Macedo. 2009. Biological control by *Clonostachys rosea* as a key component in the integrated management of strawberry gray mold. *Biol. Control* 50, 222-230.
- De Cal, A., C. Redondo, A. Sztejnberg y P. Melgarejo. 2008. Biocontrol of powdery mildew by *Penicillium oxalicum* in open-field nurseries of strawberries. *Biol. Control* 47, 103-107.
- Farrera P., R.E., A.H. Zambrano V. y F.A. Ortiz M. 2007. Identificación de hongos asociados a enfermedades del fruto de la fresa en el municipio Jáuregui del estado Táchira. *Rev. Fac. Agron.* 24, 269-281.
- Finlay, R.D. 2004. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist* 18, 91-96.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. FAOSTAT. (<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>; consulta: 20 de octubre de 2013).
- Fraire-Cordero, M.L., M.J. Yáñez-Morales, D. Nieto-Angel y G. Vázquez-Gálvez. 2003. Hongos patógenos en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*. Duch) en postcosecha. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(3), 285-291.
- Freeman, S. y T. Katan. 1997. Identification of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose and root necrosis of strawberry in Israel. *Phytopathol.* 87, 516-521.
- Ge, L., H. Zhang, K. Chen, L. Mab y Z. Xu. 2010. Effect of chitin on the antagonistic activity of *Rhodotorula glutinis* against *Botrytis cinerea* in strawberries and the possible mechanisms involved. *Food Chem.* 120, 490-495.
- Gordon, H.L., A. Stensvand y A. Tronsmo. 2000. Effect of temperature and nutrient stress on the capacity of commercial *Trichoderma* products to control *Botrytis cinerea* and *Mucor piriformis* in greenhouse strawberries. *Biol. Control* 19, 149-160.
- Grellet-Bournonville, C.F., M.G. Martínez-Zamora, A.P. Castagnaro y J.C. Díaz-Ricci. 2012. Temporal accumulation of salicylic acid activates the defense response against *Colletotrichum* in strawberry. *Plant. Physiol. Biochem.* 54:10-16.
- Guédez, C., L. Cañizález, C. Castillo y R. Olivar. 2009. Efecto antagonístico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria* spp.). *Rev. Soc. Ven. Microbiol.* 29(1), 34-38.
- Hernández-Lauzardo, A.N., S. Bautista B, M.G. Velázquez-del Valle y A. Hernández R. 2007. Uso de microorganismos antagonistas en el control de enfermedades postcosecha en frutos. *Rev. Mex. Fitopatol.* 25(1), 65-74.
- Hernández-Rodríguez, A., M.H. Pérez, M.G. Velázquez del Valle y A.N. Hernández-Lauzardo. 2006. Perspectivas del empleo de rizobacterias como agentes de control biológico en cultivos de importancia económica. *Rev. Mex. Fitopatol.* 24(1), 42-49.
- Hernández-Sebastià, C., Y. Piché y Y. Desjardins. 1999. Water relations of whole strawberry plantlets in vitro inoculated with *Glomus intraradices* in a tripartite culture system. *Plant Sci.* 143, 81-91.
- Huang, R., H.J. Che, J. Zhang, L. Yang, D.H. Jiang y G.Q. Li. 2012. Evaluation of *Sporidiobolus pararoseus* strain YCXT3 as biocontrol agent of *Botrytis cinerea* on post-harvest strawberry fruits. *Biol. Control* 62, 53-63.
- Legard, D.E., S.J. MacKenzie, J.C. Mertely, C.K. Chandler y N.A. Peres. 2005. Development of a reduced use fungicide program for control of *Botrytis* fruit rot on annual winter strawberry. *Plant Dis.* 89(12), 1353-1358.
- Martínez, F., S. Castillo, E. Carmona y M. Avilés. 2010. Dissemination of *Phytophthora cactorum*, cause of crown rot in strawberry, in open and closed soilless growing systems and the potential for control using slow sand filtration. *Sci. Hortic.* 125, 756-760.
- Matsubara, Y., I. Hirano, D. Sassa y K. Koshikawa. 2004. Increased tolerance to *Fusarium* wilt in mycorrhizal strawberry plants raised by capillary watering methods. *Environ. Control Biol.* 42, 185-191.
- Matsubara, Y., T. Ishigaki, y K. Koshikawa. 2009. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. *Sci. Hortic.* 119, 392-396.

- Murphy, J.G., S.M. Rafferty y A.C. Cassells. 2000. Stimulation of wild strawberry (*Fragaria vesca*) arbuscular mycorrhizas by addition of shellfish waste to the growth substrate: interaction between mycorrhization, substrate amendment and susceptibility to red core (*Phytophthora fragariae*). *Appl. Soil Ecol.* 15, 153-158.
- Nobre, S.A.M., L.A. Maffia, E.S.G. Mizubuti, L.V. Cota y A.P.S. Dias. 2005. Selection of *Clonostachys rosea* isolates from Brazilian ecosystems effective in controlling *Botrytis cinérea*. *Biol. Control* 34, 132-143.
- Norman, J.R. y J.E. Hooker. 2000. Sporulation of *Phytophthora fragariae* shows greater stimulation by exudates of non-mycorrhizal than by mycorrhizal strawberry roots. *Mycol. Res.* 104(9), 1069-1073.
- Pedraza, R.O., J. Motok, M.L. Tortora, S.M. Salazar y J.C. Díaz-Ricci. 2007. Natural occurrence of *Azospirillum brasilense* in strawberry plants. *Plant Soil* 295, 169-178.
- Pedraza, R.O., J. Motok, S.M. Salazar, A. Ragout, M.I. Mentel, M.L. Tortora, M.F. Guerrero-Molina, B.C. Wini, y J.C. Díaz-Ricci. 2010. Growth-promotion of strawberry plants inoculated with *Azospirillum brasilense*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 26(2), 265-272.
- Peres, N.A., T.E. Seijo y W.W. Turechek. 2010. Pre- and post-inoculation activity of a protectant and a systemic fungicide for control of anthracnose fruit rot of strawberry under different wetness durations. *Crop Prot.* 29, 1105-1110.
- Pertot, I., R. Zasso, L. Amsalem, M. Baldessari, G. Angelelli y Y. Elad. 2008. Integrating biocontrol agents in strawberry powdery mildew control strategies in high tunnel growing systems. *Crop Prot.* 27, 622-631.
- Pozo, M.J. y C. Azcón-Aguilar. 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10, 393-398.
- Pritts, M., 2002. Growing strawberries, healthy communities, strong economies and clean environments: what is the role of the researcher? *Acta Hort.* 567, 411-417.
- Sharma, R.R., D. Singh y R. Singh. 2009. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biol. Control* 50, 205-221
- Sosa, R.T., N.J. Sánchez, G.E. Morales y C.F. Cruz. 2006. Interacción micorrizas arbusculares *Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). *Acta Biol. Colomb.* 11(1), 43-54.
- Spadaro, D. y M.L. Gullino. 2004. State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit diseases. *Int. J. Food. Microbiol.* 91, 185-194.
- Sturz, A.V. y J. Nowak. 2000. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. *Appl. Soil Ecol.* 15, 183-190.
- Sturz, A.V. y B.R. Christie. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil. Tillage. Res.* 72, 107-123.
- Taylor, J. y L.A. Harrier. 2001. A comparison of development and mineral nutrition of micropropagated *Fragaria × ananassa* cv. Elvira (strawberry) when colonised by nine species of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil. Ecol.* 18, 205-215.
- Terry, L.A. y D.C. Joyce. 2004. Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. *Postharv. Biol. Technol.* 32, 1-13.
- Tortora M.L., J.C. Díaz-Ricci y R.O. Pedraza. 2011a. Protection of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.) against anthracnose disease induced by *Azospirillum brasilense*. *Plant Soil.* DOI 10.1007/s11104-011-0916-6.
- Tortora, M.L., J.C. Díaz-Ricci y R.O. Pedraza. 2011b. *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. *Arch Microbiol.* 193, 275-286.
- Turechek, W., N. Peres y N. Werner. 2006. Pre- and post-infection activity of pyraclostrobin for control of anthracnose fruit rot of strawberry caused by *Colletotrichum acutatum*. *Plant. Dis.* 90(7), 862-868.
- Vardar, C., K. Ilhan y O.A. Karabulut. 2012. The application of various disinfectants by fogging for decreasing postharvest diseases of strawberry. *Postharvt. Biol. Technol.* 66, 30-34.
- Vestberg, M., S. Kukkonen, K. Saari, P. Parikka, J. Huttunen, L. Tainio, N. Devos, F. Weekers, C. Kevers, P. Thonart, M.-C. Lemoine, C. Cordier, C. Alabouvette y S. Gianinazzi. 2004. Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry. *Appl. Soil. Ecol.* 27, 243-258.
- Vu, K.D., R.G. Hollingsworth, E. Leroux, S. Salmieri y M. Lacroix. 2011. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food. Res. Int.* 44, 198-203.
- Walters, D., D. Walsh, A. Newton y G. Lyon. 2005. Induced resistance for plant disease control: maxi-

- mizing the efficacy of resistance elicitors. *Phytopathol.* 95, 1368-1373.
- Walters, D.R. 2009. Are plants in the field already induced? Implications for practical disease control. *Crop. Prot.* 28, 459-465.
- Wan, M., G. Li, J. Zhang, D. Jiang y H.-C. Huang. 2008. Effect of volatile substances of *Streptomyces platensis* F-1 on control of plant fungal diseases. *Biol. Control* 46, 552-559.
- Whipps, J.M. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Can. J. Bot.* 82, 1198-1227.
- Yang, H.-H., S.L. Yang, K.-C. Peng, C.-T. Lo y S.-Y. Liu. 2009. Induced proteome of *Trichoderma harzianum* by *Botrytis cinerea*. *Mycol. Res.* 13:924-932.
- Zhang, H., I. Wang, Y. Dong, S. Jiang, J. Cao y R. Meng. 2007. Postharvest biological control of gray mold decay of strawberry with *Rhodotorula glutinis*. *Biol. Control.* 40(2), 287-292.
- Zhang, H., L. Ma, M. Turner, H. Xu, X. Zheng, Y. Dong y S. Jiang. 2010. Salicylic acid enhances biocontrol efficacy of *Rhodotorula glutinis* against postharvest *Rhizopus* rot of strawberries and the possible mechanisms involved. *Food Chem.* 122, 577-583.
- Zhang, H., Q. Yang, H. Lin, X. Ren, L. Zhao y J. Hou. 2012. Phytic acid enhances biocontrol efficacy of *Rhodotorula mucilaginosa* against postharvest gray mold spoilage and natural spoilage of strawberries. *Food. Sci. Technol.* 49. 1-6.