
Control biológico de patógenos de plantas

INTERACCIONES, ESTRATEGIAS Y MECANISMOS

Leobardo Serrano y Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar

Las plantas cultivadas y la flora silvestre, al igual que los demás organismos vivos sufren de enfermedades causadas por diversos organismos que las afectan y, dependiendo del nivel de severidad, el resultado es una disminución en cantidad y calidad. Desde el punto de vista agronómico, las enfermedades pueden reducir los rendimientos desde un 20 hasta el 40% y en ocasiones, las pérdidas son totales. Los agentes causales de las enfermedades de las plantas son distintos tipos de microorganismos como hongos, bacterias, oomicetos, nematodos y virus, conocidos como fitopatógenos. Uno de los ejemplos más impactantes y documentados en la historia de las enfermedades de las plantas ocurrió en los 1840's en Irlanda, donde el tizón tardío de la papa, causado por el oomiceto fitopatógeno *Phytophthora infestans*, ocasionó aproximadamente, la muerte de un millón de seres humanos debido a la hambruna que se generó ante la falta de alimentos y también, la migración de 1.5 millones de irlandeses (ver *BiotecMov* No. 21, p. 20).

De manera convencional, el control de los fitopatógenos que causan las enfermedades de las plantas se realiza con plaguicidas sintéticos ('químicos'); sin embargo, su uso representa riesgos importantes, tanto a la salud pública —debido al consumo de productos con residuos tóxicos— como a la contaminación de suelos y acuíferos que afectan a los recursos naturales y a diversas formas de vida. Además, la aplicación continua del control químico de plagas

persiste como una presión de selección significativa hacia las poblaciones microbianas, dando como resultado el surgimiento de patógenos resistentes a estos compuestos, reduciendo su efectividad (y a veces, incrementando su aplicación). En la Tabla 1, se enlistan los 10 hongos fitopatógenos y las afectaciones más comunes a nivel mundial, por su impacto fitosanitario e interés académico en cultivos de gran demanda [1].

Desde hace tiempo, han sido evaluadas tecnologías alternativas para el control de plagas y enfermedades aprovechando interacciones ecológicas sin detrimento a la satisfacción de la demanda de alimentos de la población, de una manera sostenible. Entre estas alternativas, el control biológico de fitopatógenos consiste en el uso de microorganismos o agentes de control biológico (ACB) o de bioproductos (metabolitos o enzimas) seguros para su consumo, pero que sean capaces de reducir o minimizar la población de un fitopatógeno y por lo tanto sus efectos dañinos en los cultivos agrícolas.



El control biológico aprovecha las interacciones directas o indirectas entre plantas, patógenos y sus antagonistas

En las diversas interacciones entre las poblaciones de vegetales, invertebrados y microorganismos, las plantas y los enemigos naturales de los patógenos, presentan efectos dirigidos que limitan el desarrollo de la considerada como plaga; además existen otros que 'colaboran' con el vegetal para montar una respuesta de ataque, de resistencia o de exclusión:

(1) La *antibiosis* se refiere a la producción y liberación de compuestos tóxicos y selectivos del ACB directamente en el agroecosistema, lo que compromete la colonización y la sobrevivencia del fitopatógeno. La producción de antibióticos de amplio espectro producido por agentes de control biológico (p. ej. algunas actinobacterias del género *Streptomyces*), es considerado como el mecanismo de intervención más importante en el control biológico, ya que le ofrece una importante ventaja competitiva al antagonista en un ambiente con recursos limitados.

(2) La *depredación* toma ventaja de algunos organismos benéficos, precisamente porque pueden realizar una labor de control de otras po-

blaciones de fitopatógenos; en el caso de insectos, consumiendo directamente huevecillos, larvas o ninfas, tal como sucede con algunas catarinas, crisopas y ácaros depredadores; varias especies son propagadas en criaderos para ser dispersados en ciertas zonas de cultivo de caña de azúcar, palma de aceite y ornamentales.

(3) El *parasitismo* es una interacción de competencia donde un organismo toma nutrientes de otro, al que frecuentemente fulmina; existen insectos que parasitan con sus larvas partes externas de ciertas plagas, (ectoparásitos), y otras que crecen en su interior (endoparásitos). Cuando el organismo hospedero es a su vez un parásito, y además un fitopatógeno, la interacción es definida como *hiperparasitismo*. En estos casos, los mecanismos incluyen la excreción de enzimas

(quitinasas, glucanasas) o metabolitos (lipopéptidos) que atacan la pared celular y desorganizan el citoplasma celular.

(4) Una estrategia especial es la *biofertilización* y la *fitoestimulación*, ya que dentro de la diversidad de microorganismos del suelo se encuentran los microorganismos benéficos, entre los que se encuentran bacterias fijadoras de nitrógeno, Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV o también PGPRs en inglés, ver pp. 17-21 de este Núm.), así como hongos simbióticos que colonizan el exterior o los tejidos internos de las raíces vegetales (hongos endo- y ectomicorrízicos, respectivamente) [2]. Además de mejorar la nutrición, algunos son capaces de combatir fitopatógenos. En lo que se denomina *Resistencia*



Tomates enfermos por tizón tardío. *Phytophthora infestans*

Tabla 1. Hongos fitopatógenos más importantes en el mundo desde una perspectiva científica y económica Tomado de Ref. 1 (2012).

Escala descendente	FITOPATÓGENO	CULTIVOS AFECTADOS/ (enfermedad/ casos)
1	<i>Magnaporthe oryzae</i>	Quema del arroz
2	<i>Botrytis cinerea</i>	Múltiples cultivos, (necrosis gris de uvas)
3	<i>Puccinia</i> spp.	Trigo (roya negra)
4	<i>Fusarium graminearum</i>	Cereales (fusariosis)
5	<i>Fusarium oxysporum</i>	Cereales, jitomate, algodón y plátano (marchitamiento fúngico)
6	<i>Blumeria graminis</i>	Cereales (mildíu)
7	<i>Mycosphaerella graminicola</i>	Cereales, Sigatoka negra en plátano
8	<i>Colletotrichum</i> spp.	Mango, aguacate, cítricos y papaya (antracnosis)
9	<i>Ustilago maydis</i>	Maíz (tizones o agallas; <i>cuitlacoche</i> en MX)
10	<i>Melampsora lini</i>	Linaza (roya del lino), arboles maderables

Sistémica (RS), se han encontrado mecanismos de defensa que difieren en el tipo de estímulo que las provoca, o las 'armas' que se producen: en el caso de la RS 'adquirida' (RSA), se asocia con infecciones previas por patógenos relacionados; existe otra RS 'inducida', en órganos o tejidos que se preparan por avisos de ataque en otras partes o desde plantas contiguas. En algunos casos se induce la 'Respuesta hipersensible' (RH), que limita el desarrollo de una infección a través de la muerte programada de algunas células; una especie de 'barricada biológica' para evitar el avance de la infección del patógeno. No todos estos mecanismos son excluyentes y se ha observado que algunos pueden ser aprovechados con inoculaciones de las plantas con rizobacterias u hongos asociados a la raíz, como especies de *Trichoderma* o de micorrizas [ver pp. 11-12 y 17 en este Núm.].

Casos de aplicación comercial y nuevas estrategias de control biológico

Las principales características que cumplen los ACB para convertirse en producto comercial son: Efectividad probada en el control de diversos fitopatógenos en varios cultivos; poseer múltiples mecanismos de antagonismo; no ser patógeno de humanos, de animales o de plantas; desarrollarse bajo una producción económicamente costeable, alcanzando altas concentraciones; disponer de formulaciones de larga vida de anaquel y ser compatible con otros productos de uso agrícola, lo cual se certifica por varias agencias reguladoras. En la Tabla 2, se muestran

Especie biológica	INTERACCIÓN BIOLÓGICA CON EL CULTIVO			Fitopatógenos que se controlan	Cultivos de aplicación
	Biofertilización por:	Fitoestimulación con:	Control biológico mediante:		
<i>Azospirillum brasilense</i>	Fijación de nitrógeno	Auxinas, citocininas y giberelinas	RSI y sideróforos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Magnaporthe oryzae</i>, • <i>Xanthomonas oryzae</i> 	Cereales y forrajes
<i>Bacillus</i> spp.	Incremento en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno	Auxinas	Antibióticos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pseudomonas syringae</i> • <i>Agrobacterium tumefaciens</i> • <i>Xanthomonas campestris</i> • <i>Botrytis cinerea</i> • <i>Fusarium oxysporum</i> • <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> • <i>Rhizoctonia solani</i> • <i>Penicillium expansum</i> 	Frutas, cereales, ornamentales, hortalizas
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Incremento en la disponibilidad de fósforo	Auxinas	2,4-diacetil-floroglucinol	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pythium</i> spp., • <i>Fusarium oxysporum</i>, • <i>Gaeumannomyces graminis</i>, • <i>Rhizoctonia solani</i>, • <i>Pectobacterium carotovorum</i> 	Frutas y jitomate
<i>Streptomyces griseus</i>	Incremento en la disponibilidad de fósforo	Auxinas	Quitinasas	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Alternaria</i> sp. • <i>Phytophthora capsici</i> • <i>Colletotrichum</i> spp. • <i>Rhizoctonia</i> spp. 	Ornamentales y hortalizas
<i>Trichoderma harzianum</i>	Incremento en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno	Auxinas	Hiperparasitismo, enzimas y antibióticos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Crinipellis perniciosa</i>, • <i>Rhizoctonia solani</i>, • <i>Aspergillus flavus</i> • <i>Fusarium moniliforme</i> • <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>, • <i>Sclerotium rolfsii</i> • <i>Rhizopus oryzae</i>, • <i>Pythium</i> spp. • <i>Colletotrichum truncatum</i>, • <i>Botrytis cinerea</i>, • <i>Mucor piriformis</i> 	Hortalizas y pastos

los microorganismos más utilizados en formulaciones comerciales disponibles en el mercado a nivel mundial. Particularmente, en el año 2012 se inició en México la comercialización de *Fung free AB*® un biofungicida a base de esporas de *Bacillus velezensis* 83. *Fungifree AB*® fue desarrollado por un consorcio académico-industrial mexicano, y posee registro para su uso en agricultura orgánica, para el control de seis especies de hongos fitopatógenos en 23 cultivos (ver *BiotecMov* No. 8, pp. 14-15; No. 10, p. 4). Como prospectiva, adelantamos que el estudio de las interacciones entre la microbiota benéfica, los patógenos y plantas ha surgido como un área muy relevante. Con el desarrollo de nuevos métodos de secuenciación masiva, como la metagenómica y la metatranscriptómica, permitirá entender mejor la dinámica de estas interacciones a nivel molecular y diseñar de manera racional y precisa,

aplicaciones y formulaciones que incrementen la eficacia del control biológico. Por ejemplo, se podrían desarrollar estrategias de adición de compuestos o sustratos complejos (inductores, elicitores) que permitan potenciar el desarrollo de la microbiota benéfica y de ACBs específicos en detrimento de la población del patógeno. Asimismo, sería posible evaluar microbiomas funcionales para la formulación de consorcios de ACBs que combinen el mayor número de mecanismos de acción, simbiosis y sobrevivencia en el nicho de aplicación. Seguramente esta primera mitad del siglo XXI verá al control biológico como un método preferencial en el combate de plagas y enfermedades, alternando de manera importante con el control químico, el cual pudiera quedar con un uso limitado a patologías severas.

Contacto: leobardo.serrano@ibt.unam.mx; equinones@ciatej.mx

Tabla 2. Efectos combinados de diferentes microorganismos, presentes en formulaciones comerciales, con actividad benéfica en las plantas [modificado de Ref. 3]

Referencias

1. Dean, R, JAL Van Kan, ZA Pretorius, et al. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Mol Plant Pathol* **13** (4): 414-430.
2. Mendes, R, P Garbeva, & JM Raaijmakers, (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiol Rev* **37**(5):634–663.
3. Figueiredo, MVB, A Bonifacio, AC Rodrigues, FF de Araujo, & NP Stamford, (2016). Beneficial Microorganisms: Current Challenge to Increase Crop Performance, pp. 53-70 In: Arora N., Mehnaz S., Balestrini R. (Eds.) *Bioformulations: for Sustainable Agriculture*. New Delhi: Springer.

El Dr. Leobardo Serrano Carreón es Investigador del IBT, Encargado de la Unidad de Escalamiento y Planta Piloto y quién ha fungido como Editor invitado en este número. La Dra. Evangelina Quiñones es Investigadora y co-responsable del Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).