



¿Va México rumbo a una transición hacia el control biológico de plagas y enfermedades?

Armando Ordaz Hernández, Roberto Montesinos Matías y Hugo César Arredondo Bernal

El control biológico en el modelo de agricultura sustentable

En los próximos años, México debe afrontar el reto de aumentar la producción agrícola y al mismo tiempo tratar de reducir las pérdidas ocasionadas por la presencia de organismos plaga en los cultivos, ya que a nivel mundial se estiman pérdidas entre el 20 y 40% por el ataque de fitopatógenos (del griego *phyton*= planta, *páthos*= enfermedad, *genáo*= engendrar), fitófagos (*phyton*= vegetal, *ephaon*= comer) y malezas, las cuales perjudican las semillas y el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de las plantas. Estos problemas, llamados fitosanitarios, se han contrarrestado principalmente con la aplicación de plaguicidas sintéticos, que hoy en día sabemos que son perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana, y es una tendencia que puede modificarse. Por ello, es importante implementar prácticas y transitar ha-

cia sistemas de protección de cultivos que sean compatibles con el ambiente; actualmente existen nuevas iniciativas en los mercados globales para proveer y movilizar alimentos saludables, libres de residuos tóxicos y más accesibles, que han sido impulsadas por los propios consumidores. Una de las alternativas sustentables es el uso y aprovechamiento de los enemigos naturales de las plagas, enfermedades y maleza, que son la fuente de insumos para su control en la agricultura. Los organismos que se pueden utilizar por este método de control, son de distintos tipos catalogados como parasitoides, depredadores, patógenos, competidores, antagonistas y otras denominaciones que, en conjunto, se denominan agentes de control biológico (Fig. 1). Para controlar ciertas malezas, consideradas también plagas, se han utilizado determinados hongos fitopatógenos o insectos fitófagos, que enferman o se alimentan, respectivamente, de este grupo. Dependiendo de la forma en que los productores apliquen estos organismos en el ambiente, se



pueden distinguir tres tipos de control biológico: (1) el control biológico *clásico*, que se caracteriza por usar un organismo exótico (proveniente de otra región o país) para controlar una plaga nativa o introducida; un ejemplo es la importación a México del parasitoide asiático *Anagyrus kamali* para el control de la cochinilla rosada del hibisco, plaga exótica que ataca a más de 200 especies vegetales, muchas de importancia agroalimentaria como el mango, guanábana, cítricos, entre otros. (2) El control biológico *aumentativo*, en donde se incrementa de manera intencional —a nivel de laboratorio y bioindustria— la población de enemigos naturales de las plagas para aplicarlo en una región determinada, como el caso del hongo antagonista *Trichoderma* spp. que es utilizado para control de diversas enfermedades de cultivos vegetales. Y finalmente, (3) el control biológico por *conservación*, donde se aplican medidas y acciones destinadas a favorecer la presencia, persistencia y eficacia de los enemigos naturales de las plagas, en los entornos adyacentes a los agro-



Figura 1. Agentes de control biológico; (a) Depredador ('carga-basura', devorando ácaro rojo en palma de coco); (b) avispa parasitoide (*Tamarixia radiata*) de ninfas del psílido asiático, transmisor de la enfermedad conocida como 'dragón amarillo' o HLB en cítricos; c) el hongo entomopatógeno *Metarhizium rileyi*, colonizando una larva de lepidóptero y (d) *Trichoderma* sp. (Der.) contra el agente fitopatogénico *Fusarium euwallacea* (Izq.); nótese un 'halo de inhibición' que desplaza la zona de crecimiento del hongo parasítico. Cortesía del Depto. de Insectos Entomófagos y la Colección de Hongos Entomopatógenos del CNCRB.

ecosistemas; tal es el caso de la aplicación de la mezcla de levadura + azúcar + triptófano (aminoácido), con el objetivo de atraer y conservar depredadores como las crisopas para el control de áfidos. En la actualidad, el control biológico es un componente importante en las estrategias de manejo de plagas y enfermedades (dentro del esquema de Manejo Integral de Plagas, MIP), con una tendencia hacia la producción sustentable de alimentos, que coadyuva al menor uso de insecticidas de síntesis química, y que preserva, protege y mejora los recursos naturales.

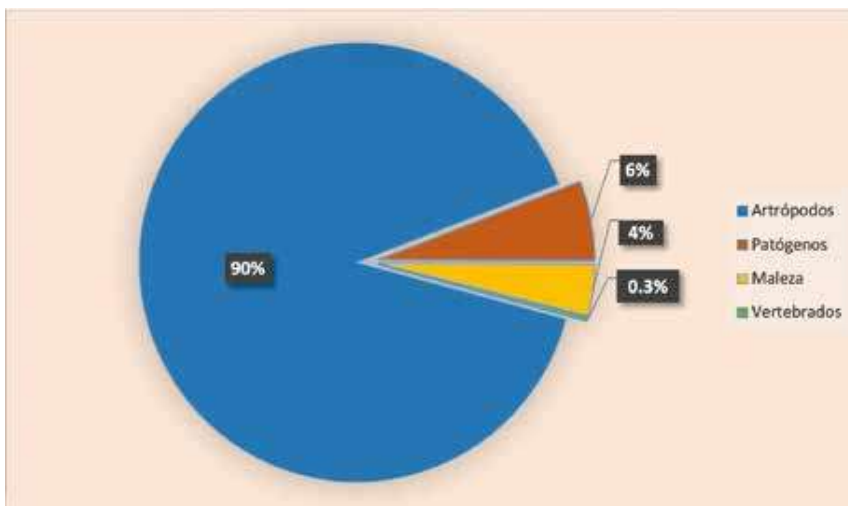
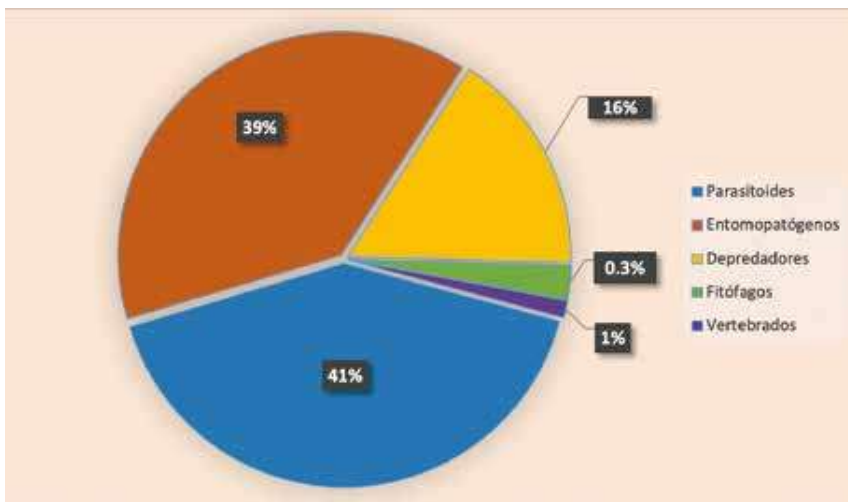
Desarrollo histórico del control biológico

El primer antecedente histórico de control biológico en México, se remonta al siglo XVIII, cuando se describió el uso de los camaleones para el control de las hormigas en los árboles del naranjo en la parte del centro del país. Después se documentó el primer caso de control biológico clásico en 1902, al aplicar un virus importado desde Francia para el control de ratas en los campos agrícolas de lo que ahora es la Cd. de México.

Más tarde se desarrollaron programas de control biológico aumentativo con un ácaro como depredador del picudo del algodouero en Coahuila. Para la década de 1920, se optó por el control biológico clásico con parasitoides en los cultivos de caña de azúcar para control del gusano barrenador en El Dorado, Sin.; en cítricos para control de la mosca prieta y la escama algodonosa en varias regiones del centro, norte y sur-sureste del país; ya en 1940, se introdujo en Coahuila la avispa *Aphelinus mali* para control del pulgón lanífero del manzano. En la década de 1950 se desarrolla el control biológico con el uso de parasitoides exóticos para el control de escama algodonosa de los pastos en el noreste y sureste de México. De 1970 a la fecha, ha existido un incremento notable el uso del control biológico aumentativo con parasitoides exóticos y nativos, además de que se ha adoptado el uso de bacterias y hongos *entomopatógenos* nativos para mitigar varias plagas de insectos. Posteriormente, surgió el interés por utilizar insectos fitófagos para el control de ciertas malezas [o especies invasoras] como el lirio acuático en la región centro y norte, y el carrizo gigante en el norte del país. Para el 2001, se logró aplicar por primera vez un virus del tipo *nucleopoliedro-virus* para el control del gusano terciopelo de la soya en Tamaulipas. En la actualidad, en México se encuentran vigentes 56 programas de control biológico clásico y aumentativo en cultivos básicos, hortalizas y frutales, además de plantas forestales, principalmente con parasitoides, depredadores y hongos [Fig. 2], los cuales están dirigidos contra diferentes plagas [Fig. 3]. En este sentido, en el período 1990-2020 se han documentado siete programas exitosos de control biológico, donde se destaca el uso de cuatro hongos entomopatógenos, cinco parasitoides y un depredador [Tabla 1]. Este y otros programas de generación de tecnología han sido desarrollados, coordinados e implementados por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), para controlar plagas de una gran diversidad de cultivos.

Figura 2. Porcentaje de los principales agentes de control biológico usados contra plagas en México [Adaptado de Ref. 2]

Figura 3. Porcentaje relativo del tipo de plagas que son manejadas mediante control biológico [Adaptado de Ref. 2].



Mecanismos biológicos involucrados en el control biológico de plagas y enfermedades

Los mecanismos que exhiben los enemigos naturales para controlar a las plagas son diversos y han sido el resultado de la coevolución, a través de adaptaciones recíprocas. Por ejemplo, los organismos entomopatógenos deben ser ingeridos o entrar en contacto con la cutícula del huésped para infectarlo, enfermarlo y causar su muerte. Durante el desarrollo de la enfermedad, los ento-

Cultivo(s)	Plaga	Agente de control biológico	Zona de aplicación mexicana
Frutales, industriales, ornamentales, hortalizas, forestales	Cochinilla rosada	Parasitoide: <i>Anagyrus kamali</i> Depredador: <i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Noroeste, Occidente, Centro y Sur-sureste
Caña de azúcar	Mosca pinta	Hongo entomopatógeno: <i>Metarhizium anisopliae</i>	Estados del Golfo de México y Sur-sureste
Arbustos de cafeto	Broca del café	Hongo entomopatógeno: <i>Beauveria bassiana</i> Parasitoides: <i>Cephalonomia stephanoderis</i>	Zonas cafetaleras, sobre todo estados del sur-sureste
Cítricos	Pulgón café de los cítricos	Hongo entomopatógeno: <i>Isaria javanica</i>	Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco Veracruz y Yucatán
Naranjas, limón mexicano	Psílido asiático: vector del microorganismo causante del HLB (CLa)	Parasitoide: <i>Tamarixia radiata</i>	Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Veracruz, Yucatán
		Hongo entomopatógeno: <i>Metarhizium anisopliae</i> e <i>Isaria javanica</i>	Campeche, Colima, Costa de Jalisco, Hidalgo, Nayarit, Norte Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Sureste, SLP, Tamaulipas, Yucatán
Frutillas	Mosca del vinagre	Parasitoide: <i>Trichopria drosophilae</i>	Jalisco, Baja California
Frutales, industriales, ornamentales, hortalizas,	Langostas y chapulines	Hongo entomopatógeno: <i>Metarhizium acridum</i>	Campeche, Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, SLP, Tamaulipas, Yucatán Chapulín: Chihuahua, Guanajuato, Tlaxcala
Eucaliptos	Conchuela del eucalipto	Parasitoide: <i>Psyllaephagus bliteus</i>	Desde Baja California hasta Oaxaca

Tabla 1. Algunos ejemplos exitosos de programas de control biológico en México, contra varias plagas de importancia fitosanitaria. Adaptado de Arredondo-Bernal y Rodríguez-Vélez, 2020 [Ref. 1].

mopatógenos liberan moléculas con actividad insecticida, principalmente enzimas y toxinas. Los antagonistas o competidores también liberan compuestos con actividad antimicrobiana (antibiosis), enzimas hidrolíticas que actúan contra los fitopatógenos o incluso pueden inhibir el crecimiento de estos al competir por los nutrientes o activando las defensas del huésped. Por su parte, los parasitoides y depredadores mantienen una selectividad hacia sus huéspedes para su alimentación, lo que involucra mecanismos específicos de reconocimiento a distintos niveles. Los parasitoides se desarrollan dentro o fuera de un huésped (plaga) para alimentarse de éste, principalmente cuando se encuentran en su estado de larva. En cambio, los depredadores pueden actuar contra las plagas en todas sus fases del desarrollo, de manera que se pueden encontrar adultos, larvas y ninfas (estas últimas dos fases son previas al desarrollo del adulto) alimentándose de varias presas individuales para completar su ciclo de vida [Fig. 1a]. Las plagas también cuentan con sistemas de defensa para contrarrestar el ataque los enemigos naturales, los cuales han sido clasificados en: (1) barreras físico-químicas, como la cutícula en el caso de insectos, la

presencia de pared celular en hongos, bacterias y malezas; (2) 'sistemas inmunes' innatos o adquiridos como el sistema pro-fenol-oxidasa y proteínas (lisozimas, lectinas, entre otras); y (3) otras estrategias de defensa que incluyen el cambio de hábitos de comportamiento, como en el caso de las abejas, termitas y hormigas, las cuales son capaces de adaptar su organización y labores para mantener la inmunidad de sus colonias. La comprensión de las interacciones que operan entre las plagas y sus enemigos naturales es indispensable para usar eficientemente los agentes de control biológico en las estrategias de protección de los cultivos agrícolas.





Control biológico de plagas, catarina comiendo pulgones

México está experimentando un crecimiento significativo en el área de control biológico en América Latina, y se espera que el impacto sea mayor en los próximos años, debido a las nuevas demandas de mercado por proveer alimentos libres de residuos químicos, además por el impulso de los gobiernos y la sociedad por la agricultura orgánica y el cuidado del medio ambiente

La academia y la industria en el desarrollo del control biológico en México

En nuestro país existen al menos 70 laboratorios y empresas que están comercializando ya sean parasitoides y depredadores (42%), antagonistas (27%), entomopatógenos (20%), incluyendo fitófagos y fitopatógenos (1%). Por el momento, se ofertan p.ej., avispas parasitoides y catarinas depredadoras; hongos entomopatógenos de los géneros *Metarhizium*, *Beauveria* e *Isaria* y algunos nematodos (gusanos redondos). Además, se comercializan antagonistas o competidores, principalmente *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. Sin duda alguna, el sector académico ha sido un pilar importante para el surgimiento y crecimiento de la industria del control biológico. Prueba de ello, es que se han publicado más de 3 mil artículos científicos en el período de 1999 al 2018; en los últimos diez años, México ha ocupado el dieciséisavo lugar en producción científica a nivel mundial, con un crecimiento promedio mayor al 2% cada 5 años. Los Centros Públicos de Investigación (CPI) y las Instituciones de Educación Superior (IES) han contribuido con 80 patentes de índole nacional e internacional, de las cuales sólo se han concedido 18. Las instituciones académicas que más patentan son: el Instituto de Ecología A.C. (INECOL, con 18), la UNAM (8), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, 4), el IPN (3), la UA-Chapingo (3), la Universidad de Guanajuato (3), y la Universidad Politécnica de Pachuca (3). En el sector industrial destacan: Promotora

Técnica Industrial SA de CV (7), Cosmos SA de CV (3), Agrobiológicos del Noroeste SA de CV (2), BioKrone SA de CV (1) y Cosnicekm SA de CV (1). A pesar del reducido presupuesto que se asigna en México a la Investigación, Desarrollo e Innovación, el sector académico ha tenido una participación activa en las estrategias de control biológico.

En conclusión, México está experimentando un crecimiento significativo en el área de control biológico en América Latina, y se espera que el impacto sea mayor en los próximos años, debido a las nuevas demandas de mercado por proveer alimentos libres de residuos químicos, además por el impulso de los gobiernos y la sociedad por la agricultura orgánica y el cuidado del medio ambiente. Por ahora se requieren mejores condiciones para impulsar el sector académico y la vinculación con el sector industrial, para mejorar el impacto en el entorno social, económico y ambiental como ha ocurrido en otros países. Por otro lado, las nuevas generaciones de estudiantes tienen un área de oportunidad en el control biológico y, también, en el sector industrial si adquieren una visión empresarial. Podemos decir que el control biológico ha pasado de ser una tecnología marginal, a una tecnología con aprovechamiento e impacto creciente para el control de plagas y enfermedades.

Contacto: hugo.arredondo@senasica.gob.mx

Referencias

- Arredondo-Bernal, HC, B Rodríguez-Vélez (2020), "Biological Control in Mexico", pp. 308-335. En: van Lenteren, J, VHP Bueno, MG Luna y JC Colmenares (Eds.), *Biological Control in Latin America and the Caribbean: Its Rich History and Bright Future*. Wallingford, UK: CAB International Publishing.
- Arredondo-Bernal, HC, J González-Cabrera (2020), "El comercio del Control Biológico en México", pp. 599- 629. En: Arredondo Bernal, HC, F Tamayo-Mejía, LA Rodríguez del Bosque (Eds.), *Fundamento y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades*. Biblioteca Básica de Agricultura, México: Colegio de Postgraduados.
- Arredondo-Bernal, HC, L.A Rodríguez-del-Bosque (2020), "Programas de Control Biológico en México", pp. 523-546. [Ref. 2]
- Aluja, M, D Desgarenes-Valido, M Vázquez-Rosas-Landa, D Barrón-Pastor, C Pascacio-Villafán, A Birke, A Altúzar-Molina, V Piedra, E Enciso, I León, C Pérez-Martínez y L Guillén, (2020), "El futuro del control biológico en México", pp. 631-670. [Ref. 2]

El M.C. Hugo C. Arredondo Bernal, es el Subdirector del Centro Nacional de Referencia en Control Biológico (CNRCB/ CNRF-DGSV-SENASICA). El Dr. Roberto Montesinos Matías es el Coordinador de la Colección de Hongos Entomopatógenos del mismo CNRCB, ubicado en Tecomán, Colima. El Dr. Armando Ordaz Hernández es profesor investigador de la Universidad de la Cañada, ubicado en Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca.