

14 CONTROL BIOLÓGICO DE PLANTAS ACUÁTICAS EXÓTICAS INVASORAS

Maricela Martínez Jiménez*

| | |
|-----------------------------|-----|
| RESUMEN / ABSTRACT | 250 |
| IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL | 251 |
| MANEJO Y CONTROL | 251 |
| CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS | 254 |
| REFERENCIAS | 254 |

*<mmartine@tlaloc.imta.mx>

Martínez Jiménez, M. 2014. Control biológico de plantas acuáticas exóticas invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 249-255.

RESUMEN

Las plantas acuáticas exóticas invasoras son la principal causa de grandes pérdidas de agua en todos los cuerpos de agua de México y del mundo. Los métodos de control que se han utilizado hasta hoy, además de no haber resuelto el problema, han contribuido al deterioro ambiental. El presente escrito describe el impacto económico y social de estas especies y plantea una metodología que puede asegurar un control eficaz y sustentable.

ABSTRACT

Exotic and invasive aquatic plants are the main cause for water loss in all of the water bodies in Mexico and the world. The control methods that have been used up until now have not solved the problem and have even contributed to environmental deterioration. This chapter describes the economic and social impact of these species and presents a methodology that can ensure an effective and sustainable control.

IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL

Cuando se introduce una especie exótica en un ecosistema, muchas veces el impacto no es tangible inmediatamente y esto depende en parte de que dicha especie se comporte o no como invasora. Sin embargo, en el caso de la mayoría de las plantas acuáticas que hoy vemos en los cuerpos de agua de México y del mundo, todas se han comportado como invasoras y las consecuencias han sido inmediatas, pues su ciclo de vida y tasa reproductiva han mermado notoriamente la disponibilidad del recurso agua en todo el país.

En México se ha identificado al menos un total de 800 especies exóticas invasoras, de las cuales 665 son plantas (IMTA *et al.*, 2008). Entre las especies acuáticas que afectan el recurso agua y que más daños han causado se encuentra en primer lugar el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*); le siguen la oreja de ratón (*Salvinia molesta*), el tule (*Typha spp.*), la hidrila (*Hydrilla verticillata*), el carrizo gigante (*Arundo donax*) y el pino salado (*Tamarix ramosissima*); estas últimas se localizan en regiones donde la precipitación es de tan sólo 200 mm/año y la disponibilidad de 1 000 m³ hab./año.

La alta tasa reproductiva y adaptativa de estas especies, la gran concentración de nutrientes en los cuerpos de agua provenientes de la actividad agrícola, urbana e industrial, y la ausencia de enemigos naturales que podrían ejercer un control han tenido como consecuencia un crecimiento explosivo de estas plantas, que han llegado a cubrir por completo los cuerpos de agua del país.

Se ha estimado que en los lagos y presas con mayor actividad económica y social de en México la superficie infestada por las malezas acuáticas es de 62 000 ha (Gutiérrez *et al.*, 1994). El lirio acuático es la principal maleza ya que afecta 64% de la superficie infestada; le siguen la cola de caballo (*Potamogeton sp.*) con 30%, el tule y la hidrila con 4%, la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y el chichicaztle (*Lemna sp.*) con 2% (Gutiérrez *et al.*, 1994). Recientemente, varias especies de *Salvinia* han afectado diversos cuerpos de agua del país. En el valle de Mexicali, en Baja California, una severa infestación de *Salvinia molesta* se encuentra afectando todo el distrito de riego 014. En Tabasco, la laguna de las Ilusiones y la laguna Tabasco se han visto completamente infestadas por *S. molesta*, *S. minima* y *S. auriculata* (Martínez Jiménez, 2006). En los ríos Bravo y Colorado, severas infestaciones de *Arundo donax* y *Tamarix ramosissima* están

poniendo en peligro la disponibilidad de agua en la región (Chenghai *et al.*, 2009).

La proliferación de plantas acuáticas provoca graves problemas de índole económica, ecológica y de salud. Dentro de los problemas económicos se pueden citar las pérdidas de agua por evapotranspiración, el azolvamiento prematuro de embalses, la limitación de la actividad pesquera y recreativa, la obstrucción de canales de riego y de tomas en plantas hidroeléctricas, y la operación de obras hidráulicas (Gopal, 1987). Dentro de los problemas ecológicos, la acumulación de grandes cantidades de malezas acuáticas provoca el estancamiento de agua, disminuyendo el oxígeno disuelto, y, por consiguiente, la muerte de especies acuáticas (Barrett, 1989). En 2005, Wilde *et al.* reportaron que la proliferación de plantas acuáticas exóticas invasoras estaba directamente relacionada con la proliferación de cianofitas y la muerte de dos especies de aves: *Fulica americana* y *Haliaeetus leucocephalus*.

Entre los problemas de salud, las malezas acuáticas constituyen el hábitat para el desarrollo de organismos vectores de enfermedades graves y hasta mortales, como dengue, filariasis, helmintiasis, encefalitis, paludismo y fiebre amarilla, entre otras (Hernández y Pérez, 1995).

MANEJO Y CONTROL

A pesar de que existen reportes de la introducción de estas plantas desde hace más de 100 años (como es el caso del lirio acuático), ninguna acción de control había sido realizada en México. Dado el grave problema que constituían las plantas acuáticas en casi todos los embalses del país, en 1993 se crea el Programa de Control de Malezas (Procma), cuya responsabilidad de ejecución y diseño de estrategias de control estuvo a cargo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Gutiérrez *et al.*, 1994). Tres principales aspectos comprendieron dicho programa:

1. Reducir la infestación de malezas a niveles manejables y establecer un programa de mantenimiento.
2. Dar un manejo integral al control de malezas.
3. Formular un manejo integral de las aguas residuales.

De acuerdo con el Procma, el control de malezas acuáticas consistió en utilizar estrategias a largo plazo, dirigidas a la causa, y que se refieren al control de nutrientes en los cuerpos de agua del país, como el fósforo

y el nitrógeno (control de descargas puntuales, no puntuales y difusas), y estrategias a corto plazo, en las que los esfuerzos son dirigidos al efecto, es decir, un procedimiento que reduzca la cantidad de plantas a una velocidad mayor que la de su reproducción natural.

El Procma se aplicó en 13 cuerpos de agua del país, donde se implementaron tecnologías de cobertura amplia como el control mecánico por trituración y el control químico (Gutiérrez *et al.*, 1994). Una vez que se redujo la cobertura de la maleza fue necesario establecer actividades de mantenimiento, indispensables para que el espejo de agua se conserve libre de malezas. En este sentido, los métodos de control biológico han demostrado que el uso combinado de insectos y patógenos específicos de la maleza ayuda a mantener una baja infestación, siempre y cuando éstos sean aplicados como parte de un programa de control integral de la maleza (Cilliers, 1991; Martínez Jiménez, 2003; 2005; Martínez Jiménez y Gómez Balandra, 2007).

Respecto al uso de insectos como agentes de control biológico, el IMTA estableció una unidad de producción masiva de tres especies de coleópteros: *Neochetina eichhornia* y *N. bruchi* para el control del lirio acuático (Martínez Jiménez *et al.*, 2001); *Cyrtobagous salviniae* para el control de *Salvinia molesta*; una especie de himenóptero, *Tetramesa romana*, y un hemíptero de escama, *Rhizaspidiotus donacis*, para el control de *Arundo donax*. Dicha unidad obtuvo la Cédula de Identificación para Centros de Reproducción de Agentes de Control Biológico otorgada por la Dirección General de Sanidad Vegetal.

De acuerdo con la normatividad internacional de la cual México es signatario, cualquier agente de control biológico debe ser aprobado por el Technical Advisor Group (TAG), una comisión científica conformada por expertos de México, Estados Unidos y Canadá, especializada en el uso de agentes de control biológico de malezas. Una vez que el TAG aprueba la solicitud, los permisos para la introducción y liberación de los insectos en México son otorgados por la Dirección General de Sanidad Vegetal. Los insectos fueron obtenidos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. En los laboratorios del IMTA, los insectos fueron puestos en cuarentena durante cuatro generaciones. La cuarentena consistió en la obtención, en condiciones controladas, de adultos inmaduros vírgenes y la revisión sanitaria de cada colonia producida. La revisión sanitaria consistió en observaciones al microscopio de cada estadio, así como en siembra de macerado de in-

sectos sobre medios específicos para la detección de posibles entomopatógenos.

Una vez que se corroboró que las colonias se encontraban exentas de cualquier parásito o patógeno, el siguiente paso fue desarrollar una técnica para la producción masiva de estos insectos. Con la generación F₃ se inició un programa de producción masiva cuyas cosechas fueron sometidas sistemáticamente a un control de calidad que consistió en un examen patológico y de aptitud reproductiva, mediante un paquete de cómputo diseñado especialmente para estos fines (NEOPHYS). Los procedimientos seguidos para la cuarentena y la producción masiva de las colonias están basados en métodos estándar validados y protocolizados ante el sistema de Aseguramiento y Control de la Calidad (AC/CC) del IMTA, de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma Mexicana NMX-EC-025-IMNC-2000, lo que permite asegurar que los insectos producidos están sanos y son aptos para reproducirse.

Dada la alta tasa reproductiva y adaptativa de estas malezas, un solo agente de biocontrol no es suficiente para detener el crecimiento y reproducción de la planta, por lo que es indispensable el uso combinado de varios agentes de estrés biótico; en este sentido, el uso de agentes microbianos es un componente sinérgico al efecto provocado por los insectos. Al respecto, se identificaron dos hongos nativos de México patógenos del lirio acuático: *Cercospora piaropi* y *Acremonium zonatum*. Estos hongos fueron evaluados previamente en su eficacia y especificidad (Martínez y Charudattan, 1998; Martínez Jiménez y Gutiérrez López, 2001). Estos microorganismos cuentan con el registro de patente ante la American Type Culture Collection (ATCC), autoridad mundial para el registro de patente de microorganismos y una patente otorgada por el Instituto Mexicano de Protección Industrial (IMPI).

Dado que todos los microorganismos utilizados en el control biológico de plagas y malezas pierden su eficacia al ser aplicados en campo, debido a que los rayos solares son germicidas, se investigaron agentes de protección de los rayos UV. Con dicha investigación se desarrolló una formulación micoherbicida que comprende los dos hongos patógenos del lirio, un agente de protección de humedad y un agente de protección solar. Para establecer el posible efecto tóxico de la formulación se seleccionaron las pruebas denominadas Microtox® y Ames (Maron y Ames, 1983), las cuales están basadas en métodos estándar validados y con protocolos ante el sistema de Aseguramiento y

Control de la Calidad del IMTA y acreditados ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditamiento, A.C.), de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma Mexicana NMX-EC-025-IMNC-2000. Los resultados mostraron que dichos agentes de control biológico no son tóxicos ni mutagénicos (Martínez Jiménez y Sandoval Villasana, 2008).

Por otro lado, uno de los componentes que constituyen las formulaciones micoherbicidas son las toxinas que sintetizan los hongos, que son la base de dichas formulaciones. Las toxinas actúan directamente sobre los protoplastos vivos de su hospedante y ocasionan daños considerables o incluso pueden destruir las células de una planta. Algunas de ellas actúan como venenos protoplásmicos generales que afectan muchas especies de plantas de distintas familias; otras son tóxicas sólo para algunas especies o variedades de plantas, o bien completamente inocuas para otras.

Los hongos y bacterias producen toxinas tanto en plantas infectadas como en el medio de cultivo donde se desarrollen. Las toxinas dañan las células hospedantes al afectar la permeabilidad de su membrana celular o al activar o inhibir las enzimas e interrumpir posteriormente sus reacciones enzimáticas correspondientes. Algunas toxinas actúan como antimetabolitos que propician la deficiencia de un factor esencial para el desarrollo normal de la planta.

Se ha demostrado que algunas de las sustancias tóxicas que producen los microorganismos fitopatógenos ocasionan todo el síndrome de la enfermedad o parte de él, no sólo en la planta hospedante sino también en otras especies vegetales que por lo común no son atacadas por el patógeno en la naturaleza. Estas toxinas se denominan “toxinas no específicas” del hospedante y aumentan la magnitud de la enfermedad causada por el patógeno, pero no son esenciales para que éste cause la enfermedad. Varias de estas toxinas, como por ejemplo la tabtoxina y la faseolotoxina, afectan el sistema de transporte celular, en particular el intercambio de H^+/K^+ a nivel de la membrana celular (Vanderplank, 1982). Otras, como en el caso de la cercosporina, funcionan como agentes fotosensibilizantes y causan peroxidación de los lípidos de la membrana (Daub, 1982).

En el caso de la formulación desarrollada en los laboratorios del IMTA, se obtuvo una fracción de un compuesto de color rojo (RF=0.6) que, de acuerdo con sus datos espectroscópicos preliminares, se trata de un derivado de la cercosporina. La estructura definitiva

de este compuesto se determinó mediante métodos de resonancia magnética nuclear de 1H y ^{13}C (HMBC, MC, DEPT, COSY). Los resultados fueron comparados con un estándar adquirido de la toxina cercosporina, comprobándose que pertenecen al mismo compuesto (Martínez Jiménez *et al.*, 2010).

El aislamiento de este derivado de la cercosporina resulta de gran interés puesto que permite explicar la actividad de control biológico determinado en *C. piaropi* (Martyn, 1985; Morris, 1990; Martínez y Charudattan, 1998). Es bien sabido que muchas especies de hongos del género *Cercospora* son patógenas debido a la producción de cercosporina. Este compuesto [1,12-(2-hidroxiopropil)-2,11-dimetoxi-4,9-dihidroxi-6,7-metilendioxi-perilen-3,10-quinona] es una toxina policíclica, fotoactiva y no específica para un solo hospedero. Fue aislada por primera vez en 1957 y pertenece a un grupo de moléculas conocidas como fotosensibilizadores, es decir, compuestos que requieren luz para causar toxicidad celular (Mitchell *et al.*, 2002). Una vez expuesto a la luz, un fotosensibilizador efectivo absorbe energía luminosa y entra en estado activado triplete, ya que actúa entonces con el oxígeno, ya sea reduciendo el sustrato para producir superóxido o directamente transfiriendo energía para producir oxígeno singlete. Dichos tipos de oxígeno reactivo causan oxidación de biomoléculas, incluyendo lípidos, vitaminas, carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos (Scaglioni y Mazzini, 2001). La cercosporina se deposita en las membranas celulares de las plantas hospederas, donde el oxígeno reactivo induce la peroxidación lipídica, lo que culmina con daño a la membrana, carencia electrolítica y, finalmente, muerte celular (Scaglioni y Mazzini, 2001; Mitchell *et al.*, 2002).

El interés en las quinonas policíclicas o perilenquinonas, como la cercosporina y sus derivados, no sólo radica en sus peculiares características estructurales sino también en su actividad fotodinámica. Algunas quinonas pertenecientes al grupo cladocromo han demostrado ser potentes inhibidores de la proteincinasa C (PKC), lo que sugiere una posible actividad antitumoral y antiviral (Scaglioni y Mazzini, 2001). Esta característica en particular de las moléculas del tipo del derivado de la cercosporina determinado en este trabajo tiene sin duda un interés específico en la posibilidad del desarrollo de otros usos específicos para compuestos de este tipo. Como es bien conocido, el uso de fotosensibilizadores capaces de generar oxígeno singlete en la desactivación de patógenos presentes en agua es una práctica que recientemente ha producido resulta-

dos interesantes (Schafer, 1998; Schafer *et al.*, 2000). Schafer y colaboradores (1998; 2000) han demostrado que es posible desactivar algunos microorganismos en agua mediante oxígeno singlete producido fotodinámicamente. De esta manera, bacterias como *Reinococcus radiodurans* o *Escherichia coli* han sido desactivadas mediante el uso de rosa de bengala como sensibilizador. Incluso se reporta la desactivación de huevos de helminto utilizando porfirinas como sensibilizadores activados con radiación visible (Alouini y Jemli, 2001; Jemli *et al.*, 2002). Resulta entonces interesante explorar las posibilidades del derivado aislado de *C. piaropi* para su aplicación como posible fotosensibilizador en, por ejemplo, procesos de desactivación de patógenos en agua.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Las especies mencionadas en este capítulo forman parte de las “100 especies exóticas más dañinas del mundo” reportadas en The Global Invasive Species Database List (<http://www.issg.org/database>), no sólo por su impacto sobre la diversidad biológica sino también por su impacto sobre la economía de todos los pueblos donde se presentan. Por tal razón es urgente encontrar medios de control ambientalmente sostenibles y sustentables, y *NUNCA* buscar darles un valor agregado. Extrapolando lo que ya mencionaba Gopal (1987), podríamos concluir: ningún país debería promover la propagación de especies exóticas invasoras para su uso. Los intereses de la humanidad pueden ser salvaguardados solamente si se aplican medidas de control a largo plazo en lugar de su utilización.

En conclusión, la inclusión de agentes de control biológico de estas especies exóticas invasoras como parte clave de un programa de control integral es una opción viable, que permitirá en los años subsecuentes la disminución en el uso de control químico y mecánico, y como consecuencia una reducción en los costos de mantenimiento de los cuerpos de agua.

REFERENCIAS

- Alouini, Z., y M. Jemli. 2001. Destruction of helminth eggs by photosensitized porphyrin. *J. Environ. Monitor.* **3**:548-551.
- Barrett, S.C.H. 1989. Waterweed invasions. *Scientific American* **260**:90-97.
- Bernadsky, G., y D. Goulet. 1991. A natural predator of the lionfish, *Pterois miles*. *Copeia*:230-231.
- Bhaskar, R., y J. Pederson. 2002. Exotic species: An ecological roulette with nature. <<http://massbay.mit.edu/exotisspecies/conferences/1999/abstract17.html>>
- Chenghai, Y., J.A. Goolsby y J.H. Everitt. 2009. Mapping Giant Reed with QuickBird imagery in the Mexican portion of the Río Grande Basin. *J. Appl. Remote Sens.* **3**(1):033530.
- Chenghai, Y., J.H. Everitt, y J.A. Goolsby. 2011. Mapping Giant Reed (*Arundo donax*) infestations along the Texas–Mexico Portion of the Rio Grande with aerial photography. *Invasive Plant Science and Management* **4**(4):402-410.
- Cilliers, C.J. 1991. Biological control of waterhyacinth, *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) in South Africa. *Agr. Ecosyst. Environ.* **37**:207-217.
- Daub, M.E. 1982. Cercosporin, a photosensitizing toxin from *Cercospora* species. *Phytopathol.* **72**(4):370-374.
- Gopal, B. 1987. *Water hyacinth, aquatic plant*. Elsevier Science Publishers, Ámsterdam, Países Bajos.
- Gutiérrez, L.E., C.F. Arreguín, D.R. Huerto y F.P. Saldaña. 1994. Control de malezas acuáticas en México. *Ing. Hidrául. Mex.* **9**(3):15-34.
- Hernández, H.F., y B.M.E. Pérez. 1995. El vuelo del mosquito: un debate sobre mosquitos. *Avance y Perspectiva. Órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.* **14**:5-15.
- IMTA-The Nature Conservancy–CONABIO–Aridamérica–GECI. 2008. *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad, prioridades en México*. México.
- Jemli, M., Z. Alouini, S. Sabbahi, M. Gueddari. 2003. Destruction of fecal bacteria in waste water by three photosensitizers. *J. Environ. Monitor.* **4**(4):7-12.
- Maron, M.D., y N.B. Ames. 1983. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. *Mutat. Res.* **113**(3-4):173-215.
- Martínez Jiménez, M. 2003. Empleo de bioherbicidas para el control de malezas acuáticas en Huautla, Morelos, en *El recurso agua en el Alto Balsas. Uso, manejo y contaminación del agua en Morelos, Parte III: Malezas, contaminación y saneamiento del agua*. UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Instituto de Geofísica–El Colegio de Tlaxcala, Coordinación General de Ecología–Fundación Heinrich Böll, pp. 287-304.
- Martínez Jiménez, M. 2005. Progress on waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) management, en Addendum to weed management for developing countries. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma.
- Martínez Jiménez, M. 2006. Informe final proyecto 0278, Desarrollo de biopesticidas para el control de malezas acuáticas. Fondos Sectoriales Conacyt.
- Martínez Jiménez, M., y A.M. Sandoval Villasana. 2008. Evaluation of toxicity of *Cercospora piaropi* in a mycoherbicide formulation by using bacterial bioluminescence and the Ames mutagenicity tests. *Mycopathologia* **167**:203-208.
- Martínez Jiménez, M., y E. Gutierrez López. 2001. Host range of *Cercospora piaropi* and *Acremonium zonatum*, microbial herbicides candidates for waterhyacinth. *Phytoparasitica* **29**(2):175-177.
- Martínez Jiménez, M., y R. Charudattan. 1998. Survey and evaluation of Mexican native fungi for potential biocontrol of waterhyacinth. *J. Aquat. Plant Manage.* **36**:145-148.

- Martínez Jiménez, M., y M.A. Gómez Balandra. 2007. Integrated control of waterhyacinth in Mexico by using insects and plant pathogens. *Crop Protection*. **26**:1234-1238.
- Martínez Jiménez, M., E. Gutiérrez López, R. Huerto Delgadillo, y E. Ruiz Franco. 2001. Importation, rearing, release and establishment of *Neochetina bruchi* (Coleoptera curculionidae) for the biological control of waterhyacinth in Mexico. *J. Aquat. Plant Manage.* **39**:140-143a.
- Martínez Jiménez, M., S. Miranda Bahena, C. Espinoza y Á. Trigos. 2010. Isolation, characterization and production of red pigment from *Cercospora piaropi*, a biocontrol agent for waterhyacinth. *Mycopathologia*. **169**(4):309.
- Martyn, R.D. 1985. Waterhyacinth decline in Texas caused by *Cercospora piaropi*. *J. Aquat. Plant Manage.* **23**:29-32.
- Mitchell, T.K., W.S. Chilton y M.E. Daub. 2002. Biodegradation of the polyketide toxin cercosporin. *Appl. Environ. Microbiol.* **68**(9):4173-4181.
- Morris, M.J. 1990. *Cercospora piaropi* recorded on the aquatic weed, *Eichhornia crassipes*, in South Africa. *Phytophylactica* **22**:255-256.
- Scaglioni, L., y S. Mazzini. 2001. Conformational and thermodynamical study of some helical perylenquinones. *J. Chem. Soc. Perkin Trans.* **2**:2276-2286.
- Schafer, M. 1998. High sensitivity of *Reinococcus radiodurans* to photodynamically-produced singlet oxygen. *Int. J. Radiat. Biol.* **74**(2):249-253.
- Schafer, M., C. Schmitz, R. Facius, G. Horneck, B. Millow, K.H. Funken y J. Ortner. 2000. Systematic study of parameters influencing the action of rose Bengal with visible light on bacterial cells: Comparison between the biological effect and singlet oxygen production. *J. Photochem. Photobiol.* **71**(5):514-523.
- Vanderplank, J.E. 1982. *Host-pathogen interactions in plant disease*. Academic Press.
- Wilde, S.B., T.M. Murphy, C.P. Hope, S.K. Habrun, J. Kempton, A. Birrenkott, F. Wiley, W.W. Bowerman y A.J. Lewitus. 2005. Avian vacuolar myelinopathy (AVM) linked to exotic aquatic plants and a novel cyanobacterial species. *Environ. Toxicol.* **20**:348-353.

