

Estrategia Nacional para la Prevención y el Control de Plantas Acuáticas Invasoras (2026-2030)



Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

333.9533

Martínez Jiménez, Maricela

M3852

Estrategia Nacional para el Control de Plantas Acuáticas Invasivas / Maricela Martínez Jiménez, Patricia Herrera Asencio, Pilar Saldaña Fabela; fotografías: Maricela Martínez Jiménez, i_Naturalist, MC-Mejenes.

México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2025.

17 páginas: ilustraciones, fotografías; recurso digital.

ISBN *en trámite*

DOI: <https://doi.org/10.24850/b-imta-2025-01>

1. Plantas Acuáticas Invasivas -- investigaciones. 2. Gestión ambiental ----México.
3. Manejo de aguas -- --México

I. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, organismo emisor.

II. Herrera Asencio, Patricia, autor.

III. Saldaña Fabela, Pilar, autor.

IV. Martínez Jiménez, Maricela, fotografía.

V. i_Naturalist, fotografía.

VI. MC-Mejenes, fotografía.

ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE PLANTAS ACUÁTICAS INVASORAS (2026-2030)

Autores:

Dra. Maricela Martínez Jiménez

Dra. Pilar Saldaña Fabela

Editora:

Mtra. Patricia Herrera Asencio

Revisores:

M.C. Yolanda Barrios, Departamento de Evaluación de Invasividad de Especies, Conabio

Dra. Ek del Val de Gortari, Instituto de Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Dra. Julissa Ek Ramos, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León

Diseño editorial:

Dr. Oscar Alonso Barrón

Lic. Adolfo Remigio Armillas

Fotografías:

Dra. Maricela Martínez Jiménez

Portada:

Dra. Maricela Martínez Jiménez

Dr. Óscar Alonso Barrón

DOI: <https://doi.org/10.24850/b-imta-2025-01>

ISBN: En trámite

Hecho en México / Made in Mexico

D.R. © 2025 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62550 Jiutepec, Mor., México

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

CONTENIDO

- PREFACIO 4
- OBJETIVO 5
- INTRODUCCIÓN 6
- ANTECEDENTES 8
- ESPECIES PRIORITARIAS DE ALTO IMPACTO QUE AFECTAN AL RECURSO AGUA..... 15
- ACCIONES 17
- LITERATURA CITADA 20



PREFACIO

México es un país con una gran riqueza biológica e hidrológica, la cual está siendo afectada drásticamente por diversas especies de plantas acuáticas tanto exóticas como algunas nativas. Estas especies, que fueron introducidas de manera intencional o accidental, llegan a cubrir por completo el espejo de agua de presas, lagos y ríos, afectando directamente a todas las comunidades que dependen de estas fuentes para su sustento, recreación y desarrollo económico. Factores como el cambio climático y las aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales, así como la alteración de hábitats y la falta de conciencia sobre su impacto, son el origen de la proliferación de estas especies, las cuales ponen en riesgo la disponibilidad de agua en todo el territorio nacional.

Esfuerzos aislados por parte de instituciones, gobiernos locales y comunidades afectadas representan cada año una carga económica, principalmente porque no se da un seguimiento a las acciones de control realizadas o porque estas son fragmentadas y aisladas, lo que resulta insuficiente frente a la velocidad de reproducción y crecimiento de estas especies.

En este contexto, implementar una **Estrategia Nacional para la Prevención y Control de Plantas Acuáticas Invasoras**, basada en evidencia científica, es una herramienta que permitirá orientar acciones de manejo integrado a corto, mediano y largo plazo. El objetivo central es proteger los recursos hídricos, conservar la biodiversidad y asegurar los servicios ecosistémicos esenciales para el país frente a una de las problemáticas ambientales más urgentes y subestimadas de nuestro tiempo.

La implementación de esta estrategia representa un paso decisivo hacia la conservación de nuestros ecosistemas acuáticos y el uso sustentable del agua en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Dra. Maricela Martínez Jiménez



Equisetum spp. en lago de Zirahuen, Michoacan





OBJETIVO

Establecer acciones orientadas a la prevención y el control de especies acuáticas invasoras en México.

INTRODUCCION

El 1o de marzo de 2019, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) declaró el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030), el cual tiene por objetivo prevenir, detener y revertir la degradación de los ecosistemas a nivel mundial, así como mejorar la seguridad alimentaria, el suministro de agua y la biodiversidad. Por otra parte, la **Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción 2016–2030 (ENBioMex)** es un instrumento de política para la conservación, restauración y manejo sustentable de la biodiversidad en México. Aunado a esto, el 25 de junio de 2012 se publica en el *Diario Oficial de la Federación (DOF)* la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras, cuyo objetivo es proteger a la biodiversidad de la amenaza que representan las especies invasoras. En este sentido, y atendiendo al Plan Nacional de Desarrollo y al Programa Nacional de Restauración Ambiental 2025–2030, se plantea esta Estrategia Nacional para el Control de Plantas Acuáticas Invasoras.

Debido a la constante destrucción del hábitat por las acciones antropogénicas, el impacto por las especies invasoras ha sido identificado como la segunda causa a nivel global de la pérdida de biodiversidad (Vitousek, 1996; Leung *et al.*, 2002). Por lo tanto, este tema se ha convertido en prioritario en el contexto de la Convención de Diversidad Biológica (CDB), de la que México es signatario.

La Ley General de Vida Silvestre define especie exótica invasora como aquella especie o población que no es nativa; que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural; que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales; y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública. Otras definiciones para denominar una especie como “invasora” incluyen a aquella especie exótica o trasladada

(cualquier especie, subespecie o categoría infraespecífica que ha sido introducida accidental o intencionalmente fuera de su distribución natural actual o pasada, incluyendo sus gametos, semillas, huevos o propágulos) con capacidad de colonizar, invadir y persistir, y cuya introducción y dispersión amenace a la diversidad biológica, causando daños al ambiente, a la economía y a la salud humana (Convención para la Diversidad Biológica [CDB], el Programa Global sobre Especies Invasoras [GISP, por sus siglas en inglés] y la *Non-Indigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act, 1990, EUA: DOF, 2016*).

Las especies invasoras desplazan a las especies nativas de flora y fauna por competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat, alteración de la estructura de los niveles tróficos y sus condiciones biofísicas (Hiremath y Sundaram, 2005, Sesay *et al.*, 2024). Además, tienen un elevado potencial para afectar negativamente una serie de acciones de restauración ecológica, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Chornesky *et al.*, 2005). Las especies invasoras adaptadas al fuego (tulares y carrizos) contribuyen a modificar los regímenes naturales de fuego, provocando incendios catastróficos, que a su vez afectan a la biodiversidad (Matthew *et al.*, 2004).

En ocasiones, las especies invasoras se hibridan con especies nativas, alterando así el *pool* genético original de las poblaciones nativas (Mooney y Cleland, 2001). Es por esta razón que la conservación de la biodiversidad en un país debe considerar con alta prioridad la prevención, la detección temprana, el manejo, el control, la erradicación, la concienciación pública, la regulación, la legislación y la investigación de las especies invasoras.

Desafortunadamente, los impactos de las introducciones varían con la geografía, tiempo y especies, lo cual, en combinación con la falta de conocimiento sobre su establecimiento en los ecosistemas acuáticos, hace que las





Infestación de diversas plantas acuáticas en Laguna Seca, Morelos

predicciones de los efectos reales sean muy difíciles de determinar. En general, el número de invasiones está subestimado, ya que aquellas registradas siempre se asocian con megainvasiones (un gran número o una gran abundancia de especies) y con especies invasoras que son notorias por causar daños ecológicos o económicos. A esto se puede agregar que la falta de registros de especies invasoras es consecuencia de la falta de datos biológicos, biogeográficos y de sistemática (incluyendo la taxonomía). De aquí que las especies invasoras puedan generar impactos ambientales de gran magnitud, cuyas consecuencias económicas se manifestarán más tarde, o bien su abundancia se incrementará hasta que se alteren las condiciones ambientales.

En México se han identificado 675 especies exóticas invasoras, de las cuales 27 son plantas. De acuerdo con Martínez y Gómez (2022), de un total de 42 plantas acuáticas detectadas en México, diez son exóticas invasoras, 28 son nativas con comportamiento invasivo y cuatro son nativas sin reporte de invasividad. Especies tales como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y el carrizo gigante (*Arundo donax*) fueron introducidas desde hace más de cien años en México, provocando graves problemas de índole económica, ecológica y de salud. Dentro de los problemas económicos ocasionados por estas 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 las fallas de operación en obras hidráulicas (Gopal, 1987). Dentro de los problemas ecológicos se

ha documentado que la acumulación de grandes cantidades de plantas acuáticas provoca el estancamiento de agua, lo cual disminuye el oxígeno disuelto y, por consiguiente, ocasiona la muerte de especies acuáticas nativas (Barret y Forno, 1982). Con respecto a los problemas de salud, las plantas acuáticas invasoras modifican y 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). 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 puedan ejercer un control de plagas y enfermedades han tenido como consecuencia un crecimiento explosivo de estas plantas, llegando a cubrir por completo los cuerpos de agua del país.

Países como Australia o los Estados Unidos de Norteamérica invierten anualmente grandes cantidades de recursos para mitigar los impactos causados por las especies invasoras en todo su territorio, incluyendo sus costas y mares (Carlton, 2001), destacando la necesidad de una estrecha coordinación de todas las agencias y dependencias de gobierno, así como universidades y organizaciones civiles, para lograr una estrecha coordinación en sus acciones y poder efectuar con eficacia el control y manejo de las especies invasoras. Sin embargo, en México, las acciones contra especies invasoras son casi nulas, y muy pocas acciones de control se han ejercido para aquellas especies que afectan a la biodiversidad terrestre, marina o dulceacuícola del país.

ANTECEDENTES

Dada su capacidad técnica y científica, aunada a su infraestructura, en 1993, el IMTA fue designado por decreto presidencial para establecer el Programa de Control de Malezas Acuáticas (Procma) en todo el país. El Procma inició sus actividades controlando 485 hectáreas en la cuenca del río Ayutla, Jalisco, extendiendo las acciones en 18,000 hectáreas, en un total de treinta cuerpos de agua, seis ríos, 200 km de canales y 300 km de drenes, distribuidos en 12 estados del país, siendo el lirio acuático la principal especie controlada en estos sitios. La meta establecida por el Procma, dentro del Plan Hidráulico 1995-2000, para limpiar 40,000 hectáreas, se cumplió en los tiempos establecidos, entregando a los usuarios los cuerpos de agua libres de malezas (principalmente de lirio acuático).

Sin embargo, a pesar de haber entregado programas de mantenimiento para cada cuerpo de agua atendido, la falta de recursos, seguimiento y compromiso ocasionó que pocos años después los embalses se cubrieran de nuevo con plantas acuáticas, lo cual persiste hasta la fecha (Gutiérrez, *et al.*, 1996; Gutiérrez, *et al.*, 2007).

Debido a la problemática que siguen ocasionando las plantas acuáticas invasoras en México, en 2008, diversas instituciones nacionales realizaron el 1er Inventario de Especies Invasoras con Alto Impacto a la Biodiversidad; el cual comprendió ochocientas especies invasoras, que incluyen 665 plantas, 77 peces, 10 anfibios y reptiles, 30 aves y 6 mamíferos (IMTA, The Nature Conservancy, Conabio, Aridamérica, GECI, 2007). Atendiendo este tema, el Gobierno federal publica en 2016 en el *Diario Oficial de la Federación* el Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México (07/12/2016).



Infestación de diversas plantas acuáticas en diques en Sinaloa



Los intentos realizados para el control de plantas acuáticas invasoras, ya sea en forma manual, mecánica o química, solo han tenido resultados temporales a un costo elevado, pues las semillas de estas especies, cuya viabilidad va desde los 14 (lirio acuático) a los cien años (tulares) se depositan en los sedimentos, y constituyen la fuente de futuras reinfestaciones (Gopal, 1987). Se han empleado diversas técnicas para controlar estas especies (lirio acuático, principalmente). El uso de herbicidas, particularmente, ha tenido consecuencias desastrosas, tanto para la salud humana como para el medio ambiente, pues se ha demostrado que es altamente tóxico. Evidencias científicas de herbicidas que afectan a la salud y al medio ambiente han sido documentadas por Steinrücken y Amrhein, 1980; Perkins et al., 2000 y Soso *et al.*, 2007, quienes establecieron el peligro de su uso en cultivos agrícolas, así como para el control de malezas en los bordes de ríos y lagos. Actualmente, la presencia del herbicida glifosato en aguas superficiales es un fenómeno global y la exposición a este puede ocurrir en cualquier sistema acuático, por lo que se puede producir una mayor toxicidad en todos los organismos acuáticos afectados, desde microorganismos, algas y plantas, hasta invertebrados

y vertebrados, esto debido a sus propiedades tanto ácidas como básicas y a su alta solubilidad en agua (Szandra Klatyik *et al.*, 2023).

Por otro lado, el promedio de vida de un herbicida es de 55 días a tres años. Este tiempo de vida depende de múltiples factores, por lo que es de esperar que al menos durante una parte de este periodo, el herbicida afecte la biota del sitio donde se aplique. Al respecto, Benbrook (1991) detectó cambios morfológicos en hongos de las especies *Fusarium oxysporum* y *Rhizobium sp.* (organismos que confieren fertilidad a los suelos) después de 24 h de aplicación de glifosato. Antoniou *et al.*, (2012) y Paz *et al.*, (2007) reportan el efecto teratogénico en el desarrollo embrionario en humanos expuestos a aplicaciones de glifosato. Por otra parte, Tood et al., (2006) y Zelaya et al., (2007) reportan la resistencia que desarrollan las malezas al glifosato, extendiendo la resistencia a otras especies. Es decir, no solo ya no controla la maleza si no que las demás malezas se hacen resistentes al herbicida. Lo anterior denota los riesgos que se presentan en el ambiente y los cuerpos de agua por el uso del control químico, con la consiguiente afectación a la fauna y flora nativa del ecosistema acuático.



Remoción de lirio acuático en laguna de Yuriria, Guanajuato

En relación al control mecánico, en la década de los 90 se recomendaba la trituración de plantas flotantes, como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), ya que se recuperaba el espejo de agua en un tiempo corto. Sin embargo, poco después se detectó que el uso de esta maquinaria dejaba numerosos fragmentos viables, lo que ocasionaba una rápida reinfestación. Aunado a esto, se determinó que la descomposición del material triturado tenía graves efectos en la calidad del agua, tales como niveles bajos de oxígeno disuelto, disminución de la transparencia y aumento de la concentración de ortofosfatos, nitratos (320 %) y nitritos (450 %), así como de amonio, esta última a niveles letales, trayendo como consecuencia una disminución de fitoplancton y aparición de cianobacterias (Mangas-Ramírez y Elías Gutierrez, 2004). Dado el deterioro casi irreversible al ecosistema, actualmente no se recomienda el uso de esta maquinaria. Más aún, en el caso de plantas flotantes, como el lirio acuático, el 95 % de la planta es agua, por lo que el uso de cosechadoras como medio de control es sumamente costoso, pues lo que se saca es agua, solo el 5 % del peso total es material vegetal, el cual se extrae a un costo muy alto.

Numerosos estudios han demostrado que, por su capacidad reproductiva, facilidad de dispersión, requerimiento de nutrientes y resistencia a condiciones ambientales adversas, las plantas acuáticas invasoras requieren del uso combinado de diversos agentes de estrés, un solo factor no es suficiente para lograr un manejo sustentable (Harley, 1990). En este sentido, el uso de agentes de control biológico, como parte de un manejo integrado, es una alternativa a implementar. La experiencia internacional (Jayanth, 1987) y nacional (Martínez y Gómez, 2007) ha demostrado que el uso de insectos y patógenos específicos de cada especie ha ayudado a mantener una baja infestación, siempre y cuando estos se apliquen como parte de un programa de control integral de la maleza.

El estrés biótico que producen los insectos en las plantas lo generan tanto los adultos que se

alimentan del follaje como las larvas que se alimentan del tejido esponjoso de tallos, cavando túneles. Estas heridas son la entrada de numerosos fitopatógenos facultativos o específicos que contribuyen al deterioro de las plantas (Venter *et al.*, 2013). Tal deterioro equivale a reducir el peso de la plantas en más de un 70 %, con lo que el costo de extracción de este material vegetal se reduce considerablemente. Asimismo, se ha observado que el uso de insectos herbívoros reduce significativamente la producción de flores y, por consecuencia, de semillas (Center *et al.*, 2005). Luego entonces, el *stock* de semillas que se encuentra en los sedimentos se reduce considerablemente, lo que contribuye a la reducción de nuevas infestaciones. El estrés biótico producido por los insectos es un componente clave en el control integrado de plantas acuáticas invasoras. Cabe remarcar que el uso de insectos por sí solo no es suficiente para reducir la tasa de reproducción y crecimiento de plantas que poseen una gran plasticidad genética, como es el caso del lirio acuático.

Actualmente México cuenta con un laboratorio de desarrollo de bioherbicidas, el cual está certificado por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad (Senasica). En esta unidad se reproducen insectos específicos para cada planta que se desee controlar. Los procedimientos seguidos para la producción masiva de las colonias de insectos están basados en métodos estándar validados y protocolizados ante el sistema de gestión de calidad (GC) del Laboratorio de Calidad del Agua de acuerdo con los requisitos establecidos en la norma ISO 9001: 2015 y la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2018, lo que permite asegurar que los insectos producidos estén sanos y aptos para reproducirse (Martínez, 2020).

Es importante señalar que el uso de insectos como agentes de biocontrol está limitado a la calidad del agua donde se deseen realizar acciones de control. Si las concentraciones de contaminantes, tales como metales pesados, compuestos volátiles (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno), dióxido de azufre, cianuros, cianofitas, arsénico





Infestación de lirio acuático en presa
El Oro, Estado de México

o cualquier compuesto de azufre son demasiado elevadas, o si la turbidez de la columna de agua como resultado de altas concentraciones de materia orgánica es excesiva, el ciclo de vida de los insectos se verá directamente afectado, por lo que no se recomienda su uso en tales casos (Mukarugwiro *et al.*, 2023, Solomon *et al.*, 2014)

Aunado al uso de insectos se ha estudiado el uso de diversos microorganismos, tales como hongos, bacterias o virus, como un estrés biótico que actúe en sinergia con los insectos. Al respecto, el IMTA investigó qué microorganismos causan enfermedades en plantas acuáticas invasoras, detectando qué hongos nativos de México tienen la capacidad de deteriorar las plantas reduciendo su biomasa y actuando en sinergia con el daño provocado por los insectos (Martínez y Charudattan, 1998). Estos hongos han sido evaluados tanto en su eficacia como agentes de control de maleza (Martínez, 2004) como en su especificidad (Martínez y Gutiérrez, 2001) e inocuidad para el ser humano y los organismos de la columna de agua (Martínez y Sandoval, 2008). En este sentido, una de las estrategias en el control biológico de malezas es el “aumento de enemigos naturales”, es decir, que si en el sitio donde se desea hacer un control se observan insectos o patógenos que afecten en cierta medida a la especie, estos serán cultivados de forma masiva para poder liberarlos a manera de incrementar su población en el campo y de esta forma integrar este efecto a diversas acciones que permitan un efecto sinérgico y sustentable (DeBach, 1977). Una vez que las plantas estén afectadas por este tipo de estrés biótico (reduciendo su peso en menos del 50 %)

se recomienda el uso de bandas recolectoras que rápidamente saquen las plantas, recuperando eficientemente, y a un costo menor, el espejo de agua (Martínez y Gómez, 2007; Martínez *et al.*, 2018).

Por otro lado, es importante señalar que el uso de agentes de control biológico está regulado por la autoridad nacional (Senasica) e internacional (*North American Plant Protection Organization*), por lo que la autorización para el uso de estos agentes solo puede ser otorgada a aquellas instituciones que cuenten con instalaciones adecuadas para la cuarentena, cultivo y cría masiva de los agentes de biocontrol, cuyas instalaciones cuenten con un sistema de aseguramiento de calidad y cuyo personal tenga capacitación especializada en el tema. En este sentido, México cuenta con el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, localizado en Tecomán, Colima (dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader]), con la Sociedad Mexicana de Control Biológico y con un laboratorio de desarrollo de bioherbicidas (único en México) acreditado ante la Senasica. Dicho laboratorio se ubica en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Es importante señalar que el uso de agentes de control biológico (cuando las condiciones lo permiten) es un componente clave en el control integral de plantas invasoras, en el que maquinaria especializada, barreras contenedoras, condiciones climáticas, etapa fenológica y estudio de factores de susceptibilidad de cada especie pueden asegurar un manejo eficaz.



Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en la laguna de las Ilusiones, Tabasco

En algunas ocasiones se ha sugerido la utilización de plantas invasoras como mecanismo de control; sin embargo, es necesario señalar que en el caso de plantas flotantes (como el lirio acuático) y sumergidas (como la lechuga de agua), el 95 % del peso es agua (Gopal, 1987) y solo 5 % de la planta se considera material de posible uso. Para demostrar el costo/beneficio del uso de estas plantas, se debe tener en cuenta el costo que representa la extracción de la maleza en el cuerpo de agua, su traslado a un sitio de depósito y el secado; esto en caso de que se contemple utilizar toda la planta, de lo contrario habría que añadir el costo de cortar las raíces, que son a las que menor uso se les ha dado. Debido a los altos costos que representa la extracción (en el caso de uso del lirio acuático), ninguno de los más de 500 reportes para su utilización (alimento para animales, generación de energía, producción de ladrillos, etc.) ha demostrado un costo/beneficio ni económico ni ecológico (Gopal, 1987).

Al respecto, se debería tomar en cuenta la calidad del agua de donde se extraen las plantas para darles un uso. Si se trata de un embalse que rebasa los límites permisibles para contaminantes, incluidos patógenos, el uso de este material debería ser restringido, sobre todo para el uso relacionado con alimentación animal, así como para un uso medicinal o como composta. Aunado a esto, se debe tener en cuenta el artículo 18 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), la cual define como residuo: “desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo” (como el lirio acuático que se extrae del cuerpo de agua), por lo que en caso de que se pretenda usar una planta acuática se deben aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos (Artículo 1º fracción I de la Ley para la Prevención y Gestión integral de Residuos).

Particularmente, el uso de plantas acuáticas flotantes para la generación de energía se debería reconsiderar, debido a que la inversión que se necesita para poner en marcha un biorreactor no representa un beneficio, pues esto equivaldría a mantener las infestaciones de donde se obtiene la materia prima para generar energía. Dado que muchas de estas especies ya han sido declaradas como un grave problema que afecta la disponibilidad de agua, los recursos deberían ser destinados a establecer programas eficientes y permanentes de control y no en incentivar su uso (Gopal, 1987).

Por otro lado, en México no existían datos del grado de infestación de los cuerpos de agua por plantas acuáticas, ni de qué especies acuáticas son las que están reduciendo la disposición del recurso, por lo que, en 2019, el IMTA realizó un mapeo en 11 de las principales cuencas hidrológicas del país, identificando cada una de las especies que se encuentran infestando el espejo de agua y el grado de infestación, lo que permitió establecer una relación de los regímenes hídricos en la cuenca y su influencia en la distribución de especies ya presentes y aquellas que se pueden convertir en un problema, ya sean nativas o exóticas (Martínez Jiménez y Gómez Balandra, 2022).

En dicho estudio, un total de 42 especies fueron detectadas, de las cuales 11 se clasificaron como no nativas e invasoras, 27 como nativas con comportamiento invasivo (tulares, *Phragmites*) y 4 como nativas sin impacto aún reportado. La especie que se detectó en la mayoría de los cuerpos de agua del país fue el lirio acuático. Cabe remarcar que estas especies se encuentran clasificadas dentro de las cien especies más dañinas del mundo (*Global Invasive Species Database*, 2020).

Es importante remarcar que la proliferación de malezas acuáticas es originada por los problemas de contaminación a nivel de cuenca, por lo

que para su control, además de lo ya descrito, es imprescindible realizar acciones de saneamiento en las fuentes puntuales y difusas de contaminación, y así disminuir el aporte de nutrientes en los cuerpos de agua.

Otro esfuerzo de control de plantas invasoras lo encabezó el IMTA, en colaboración con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El objetivo fue establecer un programa de control integrado del carrizo gigante (*Arundo donax*) en la cuenca del río Bravo. Para esto se utilizaron dos agentes de control biológico: una avispa (*Tetramesa romana*) y una escama (*Rizaspidotus donacis*) en combinación con control mecánico (Golsby *et al.*, 2010, 2015; Martínez *et al.*, 2017). El proyecto duró diez años, y el IMTA fue reconocido por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, con un *Certificate of Appreciation* por el éxito que se tuvo en el control de esta especie que ponía en peligro la disponibilidad de agua en ambas riberas del río.

Los altos costos, tanto económicos como ecológicos, que ha conllevado el control de plantas acuáticas en México y en el mundo hacen indispensable implementar métodos de control, tanto económica como ambientalmente sostenibles. En este sentido, el IMTA es una institución que desde hace más de treinta años ha estudiado la problemática que representan las plantas acuáticas invasoras y ha establecido programas exitosos de control (Gutiérrez, *et al.* 1996; Gutiérrez, *et al.*, 2007; Martínez, 2007, 2018). Además, cuenta con infraestructura y personal altamente capacitado que desarrolla paquetes tecnológicos que comprenden manuales, cursos de capacitación y videos que coadyuvan a resolver la problemática que se presenta año con año en todos los cuerpos de agua del país.

Finalmente, y para el caso particular del lirio acuático, es importante citar la frase de Gopal (1987): “Los países en desarrollo no deberían de estimular la propagación del lirio acuático 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.



Infestación de lirio acuático en Lago de Chapala, Jalisco



Especies prioritarias de alto impacto que afectan al recurso agua

De acuerdo con el estudio realizado por el IMTA (Martínez y Balandra, 2022), las siguientes especies fueron catalogadas como prioritarias (aunque la lista no es limitativa) por su alto impacto en la reducción de la disponibilidad del recurso agua en todas las cuencas de México. Asimismo, estas especies cuentan con los atributos suficientes para ser consideradas con el calificativo de “invasoras” con base en la definición del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el Programa Global sobre Especies Invasoras (GISP, por sus siglas en inglés), la *Non-Indigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act* (Ley de Prevención y Control de Especies Acuáticas No Indígenas), 1990 (EUA), la Global Invasive Species Database (Base de Datos Global de Especies Invasoras), la *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) y la *Red List of Threatened Species* (Lista Roja de Especies Amenazadas).

Por otro parte, algunas de estas especies de plantas acuáticas están consideradas entre las cien especies más invasoras del mundo (IUCN). En el caso del lirio acuático se reporta un valor de invasividad de 0.76 (categoría de riesgo muy alto) de acuerdo con el método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México (DOF, 07/12/2016).

1. Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)
2. Tulares (*Typha dominguensis* y *T. latifolia*, *Schoenoplectus acutus*)
3. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)
4. Pino salado (*Tamarix ramosissima*)
5. Helecho de agua (*Salvinia molesta*)
6. Carrizo gigante (*Arundo donax*)
7. Carrizo (*Phragmites australis*)
8. Hidrila (*Hydrilla verticillata*)



Eichhornia Crassipes



Typha latifolia



Typha domingensis



Schoenoplectus acutus



Pistia stratiotes



Tamarix ramosissima



Salvinia molesta



Arundo donax



Phragmites australis



Hydrilla verticillata

ACCIONES

La presente Estrategia comprende cuatro ejes principales, los cuales se enmarcan dentro de los tres objetivos que contiene la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras, publicada en 2010:

1. **Prevenir, detectar y reducir el riesgo**
2. **Establecer programas de control y erradicación**
3. **Informar oportunamente a la sociedad**

La estrategia se implementará en colaboración y coordinación con el Gobierno federal (Semarnat, IMTA, Conabio, Conagua), los gobiernos estatales y municipales, las secretarías del medio ambiente estatales y las comisiones estatales del agua.



EJE 1 - Desarrollar capacidades técnicas para la toma de decisiones que garanticen el control de plantas acuáticas invasoras en base a fundamentos científicos.

- **OBJETIVO:** Detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de plantas acuáticas invasoras.
- **META:** Atender los cuerpos de agua de las tres cuencas prioritarias comprendidas en el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Nacional de Restauración Ambiental 2025–2030 (Atoyac, Lerma-Santiago y Tula).
 - » Mantener actualizada la lista de plantas acuáticas exóticas o nativas con comportamiento invasivo. Esta lista se comparará o actualizará con lo reportado por la Conabio.
 - » Identificar las vías de introducción de las especies invasoras (nativas o exóticas) para establecer acciones preventivas de control.
 - » Establecer protocolos de alerta temprana y respuesta rápida que eviten el establecimiento y dispersión de especies invasoras, ya sean exótica o nativas.
 - » Establecer programas de prevención, control y mantenimiento específicos para cada especie y cada cuerpo de agua, lo cual contribuye con la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción 2030, cuyo objetivo es eliminar o reducir al mínimo las especies exóticas invasoras y mitigar sus efectos.
 - » En colaboración con los gobiernos estatales y municipales, establecer programas de monitoreo y mantenimiento permanentes.

- » Implementar el uso de imágenes satelitales de las misiones Sentinel del programa Copernicus de la Unión Europea para dar seguimiento a posibles infestaciones o acciones de control. Con base en esta plataforma y el monitoreo realizado por Martínez y Gómez en 2022, el IMTA establecerá una red de monitoreo digital para determinar el grado de infestación por plantas acuáticas en embalses y ríos de las principales cuencas hidrográficas del país. Dada la capacidad de duplicación exponencial de biomasa de la mayoría de las especies, cuando la imagen de satélite indique que el embalse está al 5 % de infestación, se emitirá una alerta temprana. La alerta se enviará al municipio correspondiente (previamente capacitado por el IMTA), quien deberá dar una respuesta inmediata para establecer las acciones que controlen la infestación con base en la implementación oportuna de los protocolos de control que el IMTA diseñará para cada cuerpo de agua. Esto contribuye con la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción 2030 en las acciones clave tendientes a identificar y gestionar las vías de introducción e impedir nuevas introducciones y el establecimiento de potenciales invasiones.
- » El IMTA diseñará programas de control a nivel de cuenca específicos para cada especie y cada cuerpo de agua. Los programas deberán incluir análisis de calidad de agua antes, durante y después de las acciones de control, así como herramientas de participación social para la integración de la comunidad al proyecto de control. Esto contribuye con la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción 2030 en la Meta 22: Desarrollar planes de acción estatales o regionales alineados a la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras, logrando su adopción en 32 estados o regiones.
- » Cada programa de control deberá de contar con recursos federales y estatales para la adquisición de equipos, contratación de personal, suministro de insumos, capacitación de personal y cualquier otro gasto que se requiera. El IMTA proporcionará la lista de insumos requeridos, con costos aproximados y especificaciones técnicas para su adquisición, y elaborará los términos de referencia para las licitaciones de los insumos.
- » Dado que la época ideal para el control de estas especies es en invierno (disminución de reproducción asexual y sexual), es indispensable que todos los equipos e insumos estén disponibles en el cuerpo de agua a más tardar en septiembre. Si se realizan acciones aisladas, se corre el riesgo de aumentar el problema y desperdiciar recursos.
- » Una vez recuperado el espejo de agua, el IMTA elaborará un manual de mantenimiento, el cual incluirá aquellas especies que pueden convertirse en invasoras y a las cuales habrá que darles seguimiento tanto en inspecciones en campo como mediante imágenes de satélite.

EJE 2 - Establecer acciones coordinadas estatales y municipales para atender la problemática de las plantas acuáticas invasoras

- **OBJETIVO:** Establecer programas de manejo integrado de plantas acuáticas invasoras
- **META:** Atender por lo menos dos cuerpos de agua de cada una de las tres cuencas prioritarias comprendidas en el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Nacional de Restauración Ambiental 2025–2030.



EJE 3 - Promover la divulgación y la concientización de la sociedad en la problemática que ocasionan las plantas acuáticas invasoras

- **OBJETIVO:** Promover la divulgación y concientización de la sociedad en la problemática que representan las plantas acuáticas invasoras.
- **META:** Cada proyecto de manejo integrado que se realice, deberá incluir un mecanismo de comunicación y participación social.
 - » Promover talleres estatales y municipales sobre el tema de plantas acuáticas invasoras. El IMTA capacitará en el tema.
 - » Promover talleres de capacitación a los municipios en las técnicas de prevención y control de plantas acuáticas invasoras. Con apoyo federal y estatal, el IMTA capacitará en el tema.
 - » Implementar mecanismos de comunicación y participación ciudadana para que la sociedad civil se integre a los programas de prevención y control. Con apoyo federal y estatal, el IMTA capacitará en el tema.
 - » Incentivar campañas de concientización sobre la problemática de especies invasoras en televisión, radio, terminales aéreas y terrestres de transporte, etc. Con apoyo federal y estatal, el IMTA capacitará en el tema. Esto contribuye con la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción 2030 en la meta 23: Asegurar que los 32 estados de la República Mexicana realicen campañas permanentes de difusión sobre dichas especies y sus impactos, alcanzando el 100 % de cobertura hacia 2030.

EJE 4 - Garantizar mecanismos de financiamiento que aseguren la implementación de los programas de control y mantenimiento de los cuerpos de agua y que estos se conserven libres de plantas acuáticas invasoras

- **OBJETIVO:** Establecer la coordinación entre los tres poderes de gobierno y con la sociedad para asegurar un control permanente de plantas acuáticas invasoras.
- **META:** En 2030 se habrán puesto en marcha las acciones de control y mantenimiento de plantas acuáticas invasoras en las cuencas prioritarias: Atoyac, Lerma-Santiago y Tula, y en las cuencas hidrológicas afectadas por plantas acuáticas invasoras.
 - » Identificar cuáles son las atribuciones y responsabilidades en los tres poderes gubernamentales. El presupuesto de egresos de la Federación deberá de destinar recursos etiquetados para acciones de control de plantas acuáticas invasoras. Estos recursos se deberán otorgar directamente a los gobiernos estatales.
 - » Promover que las políticas de desarrollo federales, estatales y municipales incluyan el tema de plantas acuáticas invasoras y destinen recursos etiquetados para establecer programas de control y monitoreo cada año.

LITERATURA CITADA

Antoniou, MEM Habib, CV Howard, RC Jennings, C Leifert, RO Nodari, CJ Robinson and J Fagan. (2012). Teratogenic Effects of Glyphosate-Based Herbicides: Divergence of Regulatory Decisions from Scientific Evidence. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. S4:006. DOI: [10.4172/2161-0525.S4-006](https://doi.org/10.4172/2161-0525.S4-006)

Barret S. C. H. y I. W. Forno. 1982. Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach (water hyacinth). *Aquatic Bot.*, 13: 299-306.

Benbrook, CM. (1991). What we know, don't know and need to know about pesticide residues in food: In: Tweedy BG, Dishburger HJ, Ballantine LG, McCarthy J, editors. *Pesticide residues and food safety: a harvest of viewpoints*. Washington DC: American Chemical Society.

Carlton, J. T. 2001. *Introduced Species in U.S. Coastal Waters: Environmental Impacts and Management Priorities*. Pew Oceans Commission, Arlington, Virginia. 28 pp

Center Ted D., Thai K. Van, F. Allen Dray Jr., Steven J. Franks, M. Teresa Rebelo, Paul D. Pratt, Min B. Rayamajhi. (2005). Herbivory alters competitive interactions between two invasive aquatic plants. *Biological control*. 173-185

Conabio, Aridamérica, GECEI, The Nature Conservancy, IMTA. 2007. *March-Mit y Martínez Jiménez*. ED 2007. *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México*.

Chornesky, E.A., Bartuska, A.M., Aplet, G.H., Britton, Cummingscarlson, J., Davis, F., Eskow, J., Gordon, D., Gottschalk, K.W., Haack, R.A., Hansen, A.J., Mack, R., Rahel, F., Shannon, M.A., Wainger, L.A. and B. Wigley, 2005. *Science Priorities for Reducing the Threat of Invasive Species to Sustainable Forestry*. *BioScience*. April 2005 / Vol. 55 No. 4: 335-348.

DeBach, P. (1977). *Biological control by natural enemies*, 2nd. Cambridge: Cambridge University Press. 399p.

Diario Oficial de la Federación. 2016. Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México. 07/12/2016.

Goolsby J. Patrick J. Moran, Alexis E. Racelis, Kenneth R. Summy, Maricela Martínez Jimenez, Ronald D. Lacewell. P. 2015 Impact of the biological control agent *Tetramesa romana* (Hymenoptera: Eurytomidae) on *Arundo donax* (Poaceae: Arundinoideae) along the Rio Grande River in Texas. *Biocontrol Science and Technology*, 26(1), 47-60. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.107498>

Goolsby, John & Kirk, Alan & Moran, Patrick & Racelis, Alex & Adamczyk, John & Mendoza, Elena & Marcos-García, M^a & Martínez Jiménez, Maricela & Summy, Kenneth & Ciomperlik, Matthew & Sands, D. 2010. Establishment of the Armored Scale, *Rhizaspidiotus donacis*, a Biological Control Agent of *Arundo donax*.

Gopal, B. 1987. *Water Hyacinth, Aquatic Plant*. Elsevier Science Publishers, B. V. Amsterdam, The Netherlands. 471 p

Gutiérrez E, Huerto R, Saldaña P, Arreguín F. 1996. Strategies for waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) control in Mexico. *Hydrobiologia*. 340- 181-186.

Gutiérrez E, Arreguín F, Huerto R, Saldaña P. 2007. Aquatic Weed Control. *International Journal of Water Resources Development* 10: 291-312, <https://doi.org/10.1080/07900629408722631>

Harley, K.L.S., (1990). The role of biocontrol control in the management of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Biocontrol News Inform*. 11(1):11-22.



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.

Hiremath, A.J. and B. Sundaram, 2005. The Fire-Lantana Cycle Hypothesis in Indian Forests. *Conservation and Society*. Vol. 3, No. 1: 26 – 42.

IMTA, The Nature Conservancy, Conabio, Aridamérica, GECI, 2007. Especies Invasoras de Alto Impacto a la Biodiversidad. Prioridades en México. Jiutepec, Morelos. 74 p. IMTA Repositorio.

Jayanth, K.P. (1987). Biological control of water hyacinth in India. Indian Institute of Horticultural Research. 40pp.

Leung, B., D.M. Lodge, D. Finnoff, et al. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 269:2407-2413. Lever, C. 1985. Naturalized mammals of the world.

Mangas-Ramírez y Elias Gutierrez. 2004. Effect of mechanical removal of water hyacinth (*Ecrassipes*) on the water quality and biological communities in a Mexican reservoir. *Ecosystem Health and Management*. 161-168

Martínez Jimenez M. and Charudattan R. (1998). Survey and Evaluation of Mexican Native Fungi for Potential Biocontrol of Water hyacinth. *J. Aquatic Plant Management*. 36:145-148.

Martínez Jiménez M. and Gutiérrez López E. (2001). Host range of *Cercospora piaropi* and *Acremonium zonatum*, microbial herbicides candidates for water hyacinth. *Phytoparasitica* 29(2):175-177.

Martínez Jiménez M., Gutiérrez López E., Huerto Delgadillo R., and Ruiz-Franco E. (2001). Importation, rearing, release and establishment of *Neochetina bruchi* (*Coleoptera curculionidae*) for the biological control of water hyacinth in Mexico. *J. Aquatic Plant Management*. 39:140-143a.

Martínez Jiménez M. (2004). Progress on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Management. En: Addendum to Weed Management for Developing Countries. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. 159-165.

Martínez Jiménez M. and Gómez Balandra Ma. A. (2007). Integrated control of water hyacinth in México by using insects and plant pathogens. *Crop Protection*. 26:1234-1238

Martínez Jiménez M. and Sandoval Villasana A.M. (2008). Evaluation of toxicity of *Cercospora piaropi* in a mycoherbicide formulation by using bacterial bioluminescence and the Ames mutagenicity tests. *Mycopathologia*, 167(4):203-208.

Martínez Jiménez M, John A. Goolsby, Alex E. Racelis, A. Perez de Leon and David Negrete Arroyo. 2017. Introduction, Establishment, and Dispersal in Mexico of the Wasp *Tetramesa romana*, a Biological Control Agent of the Giant Reed. *Southwestern Entomologist*. Vol. 42, NO. 2. 427-434

Martínez Jiménez M, Eduardo Demi Castellanos, María de la Torre Castañeda, Nayeli del Rosario Guzmán Rosales, Alfonso Delgado Briseño, Carlos Alberto Jiménez Garma. (2018). Establecimiento de un programa de control biológico de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la laguna de Zapotlán, Jalisco. *Memorias del XLI Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Puerto Vallarta, Jalisco.

Martínez Jiménez M. Sistema de gestión para la Calidad en la producción masiva de enemigos naturales de plantas acuáticas invasoras. 2020. En: *Fundamento y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades*. Biblioteca Básica de Agricultura. 485-490.

Martínez Jiménez M, Gómez and Balandra MA. 2022 Geographic distribution and the invasive scope of aquatic plants in México. *BioInvasions Records* 11(1): 1-12, <https://doi.org/10.3391/bir.2022.11.1.01> Martínez Jiménez y Gómez Balandra 2022

Matthew L. Brooks, Carla M. D'Antonio, David M. Richardson, James B. Grace, Jon E. Keeley, Joseph M. DiTomaso, Richard J. Hobbs, Mike Pellant, David Pyke, Effects of Invasive Alien Plants on Fire Regimes. 2004 *BioScience*, Volume 54, Issue 7, July 2004, Pages 677–688. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0677:EOIAPQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0677:EOIAPQ]2.0.CO;2)

Mooney, H. A and E. E. Cleland, 2001. The evolutionary impact of invasive species. *PNAS*. Vol. 98 No. 10: 5446–5451.

Mukarugwiro J.A, Newete S:W, Nsanganwimana F., Byrne M.J. 2023. Water turbidity affects the establishment of *Neochetina eichhorniae* (Warner) (Coleoptera: Curculionidae): Implications for biological control of water hyacinth. *Environmental Research*. Volume 237, Part 1, 116946. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116946>

Paz y Miño, C, Sánchez, M., Arévalo, M., Muñoz, M., Wittte, T., Oleas de la Carrera, G., and Leone, P. (2007). Evaluation of DNA damage in an Ecuadorian population exposed to glyphosate. *Genetics and Molecular Biology*. 30 (2):456-460.

Perkins PJ, Boermans HJ & Stephenson G.R. Toxicity of glyphosate and triclopyr using the frog embryo teratogenesis assay – *Xenopus*. (2000). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19:940-945.

Solomon W. Newete, Barend F.N. Erasmus, Isabel M. Weiersbye, Marcus J. Byrne. 2014. The effect of water pollution on biological control of water hyacinth. *Biological Control*. Volume 79. Pages 101-109. ISSN 1049-9644. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.08.006>.

Sesay, Richard Sesay, Fatmata Azizi, Mohammad Imran Rahmani, Bahirullah. (2024). Invasive Species and Biodiversity: Mechanisms, Impacts, and Strategic Management for Ecological Preservation. *Asian Journal of Environment & Ecology*. 23. 82-95. 10.9734/ajee/2024/v23i9600.

Soso AB, Barcellos LJ, Ranzani-Paiva MJ, Kreutz LC, Quevedo RM, Anziliero D, Lima M, Silva LB, Ritter F, Bedin AC, Finco JA. (2007) Chronic exposure to sub-lethal concentration of a glyphosate-based herbicide alters hormone profiles and affects reproduction of female Jundiá (*Rhamdia quelen*). *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 23:308-13.

Steinrücken HC, Amrhein N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvyl-shikimic acid-3-phosphate synthase. (1980) *Biochem Biophys Res Commun* 94:1207–1212.

Szandra Klatyik, Gergely Simon, Marianna Olah, Eszter Takacs, Robin Mesnage, Michael N. Antoniou. Johann G. Zaller and Andras Szekacs. (2024). Aquatic ecotoxicity of glyphosate, its formulations, and co-formulants: evidence from 2010 to 2023. *Environmental Sciences Europe* (2024) 36:22. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00849-1>

Todd Funke, Huijong Han, Martha L. Healy-Fried, Markus Fischer, and Ernst Schonbrunn. (2006). Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. *PNAS*. 103 (35): 13010-13015.

Venter N, Martin P. Hill, Sarah-Leigh Hutchinson, Brad S. Ripley. 2013. Weevil borne microbes contribute as much to the reduction of photosynthesis in water hyacinth as does herbivory. *Biological Control*, Volume 64, Issue 2, Pages 138-142, ISSN 1049-9644,

Vitousek, P.M., D'Antonio CM, Loope LL. and Westbrooks R., 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84: 468–478.

Zelaya, I.A., Owen, M. D. & VanGessel M.J. (2007). Transfer of the resistance to the glyphosate in hybridization trials in *Conyza* (Asteraceae) *American Journal of Botany*. 94 (4):660-673.



Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA