

# La evaluación de riesgos por especies acuáticas exóticas invasoras: una visión compartida para Norteamérica\*

Roberto E. Mendoza-Alfaro\*\*, Patricia Koleff-Osorio, Carlos Ramírez-Martínez, Porfirio Álvarez-Torres, Miriam Arroyo-Damián, Carlos Escalera-Gallardo y Araceli Orbe-Mendoza

Hay pocos asuntos ambientales tan bien documentados como el efecto que causan las especies exóticas invasoras. El movimiento de personas, mercancías y medios de transporte en el comercio internacional ha aumentado el riesgo de transferencia de organismos no deseados. La Comisión de Cooperación del Ambiente de Norteamérica (CCA) respondió a este reto con el desarrollo de las “Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras”. En este artículo se presenta una síntesis de dichas directrices y se muestra su uso con el análisis de dos casos reales de invasiones: los peces “cabeza de serpiente” de la familia Channidae y los “peces diablo” de la familia Loricariidae, en los ambientes acuáticos de Canadá, Estados Unidos y México. El resultado de esta guía reúne los requerimientos convenidos y aceptados del comercio internacional y regional, y se ha beneficiado con la evaluación de diferentes organismos.

**Palabras clave:** Análisis de riesgo, especies invasoras, cabezas de serpiente, loricáridos, acuarismo.

## Risk assessment for exotic aquatic invasive species: a shared vision for North America

There are few environmental issues that are as well documented as the impacts of alien invasive species. The movement of people, commodities and their transport media through international commerce has increased the risk of transferring unwanted organisms. The Commission for Environmental Cooperation for North America (CEC) responded to this challenge with the development of the “*Trinational Risk Assessment Guidelines for Aquatic Alien Invasive Species*”. This paper presents a summary of resulting guidelines of international and regional trade conventions and agreements, and shows its use in two real cases of invasive species: armored catfish of the family Loricariidae and snakehead of the family Channidae, in the aquatic environments of Canada, US and México. The result of this guide meets the agreed and accepted international and regional trade requirements, and has benefited from the evaluation of different organisms.

**Key words:** Risk assessment, invasive species, snakeheads, loricarids, aquarium trade.

## Introducción

Entre las amenazas a la biodiversidad y a la conservación de los ecosistemas, así como los servicios ambientales que éstos brindan, las invasiones biológicas y la destrucción del hábitat

representan los factores de riesgo más significativos, más extendidos y de mayor trascendencia (Hopkins, 2001). Las especies exóticas invasoras son aquellos organismos que han sido introducidos a un ecosistema fuera de su área de distribución natural y cuyas características les confieren la capacidad de colonizar, invadir y persistir en ambientes específicos y, en consecuencia, causar daños al ambiente.

El efecto que causan dichas especies exóticas invasoras sobre los ecosistemas es inmenso. Su repercusión va más allá del daño a la biodiversidad; a menudo tales invasiones implican pérdidas económicas cuantiosas y problemas sanitarios severos, por lo que se convierten en una amenaza directa para el bienestar humano.

\* Esta publicación está basada en: Mendoza, R., B. Cudmore, R. Orr., J. Fisher, S. Contreras, W. Courtney, P. Koleff, N. Mandrak, P. Álvarez, M. Arroyo, C. Escalera, A. Guevara, G. Greene, D. Lee, A. Orbe, C. Ramírez y O. Strabidis. 2009. *Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species test cases for the snakeheads (Channidae) and armored catfishes (Loricariidae) in North American inland waters*. Commission for Environmental Cooperation. Montreal. 98p.

\*\* Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria, Aptdo. F-96. San Nicolás de los Garza, 66450, Nuevo León, México. [mendozar787@yahoo.com](mailto:mendozar787@yahoo.com)

La introducción de especies exóticas ha estado asociada con la extinción en 54% de los casos de la fauna acuática nativa mundial (Harrison y Stiassny, 1999), de 70% de los peces de Norteamérica (Lassuy, 1995) y 60% de los peces mexicanos (Contreras-Balderas, 1999). Las especies exóticas pueden afectar a las nativas por medio de diferentes mecanismos, entre los cuales destacan: hibridación, competencia por alimento y espacio, depredación, alteración del hábitat de las especies nativas y su desplazamiento, alteración de la estructura de los niveles tróficos, introducción de parásitos y enfermedades (Goldburg y Triplett, 1997; Bhaskar y Pederson, 2003). Existen algunas especies venenosas (*e.g.* pez león *Pterois volitans*) y varias sumamente territoriales y, por ende, agresivas, lo que altera la estructura de las comunidades al volverse abundantes (Hare y Whitfield, 2003). A esto se puede añadir que la degradación de los ecosistemas provoca que las especies y sus hábitats sean más vulnerables a los efectos de las especies invasoras (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2009).

Una de las acciones más eficaces para enfrentar el grave problema de la introducción de especies exóticas es la prevención (Kolar y Lodge, 2002), dado que resulta más económica y ambientalmente amigable que cualquier medida de remedio aplicada para combatir una introducción (Shine *et al.*, 2000). Las acciones preventivas son diferentes si se trata de introducciones intencionales o accidentales, pero en ambos casos se requiere, necesariamente, que las rutas o vías potenciales para las invasiones sean conocidas y que la identificación de las especies invasoras potenciales pueda ser determinada, ya que gracias a la información generada de las especies es posible conocer en detalle su potencial invasivo, mientras que la identificación de las rutas contribuiría a su regulación. Si bien esto resulta indispensable para proteger los ecosistemas contra las introducciones no intencionales, existe un proceso definido para las intencionales, basado en el análisis de los riesgos potenciales de las especies que se pretende introducir, lo que indicará si ésta sería o no un riesgo. A este respecto, Copp *et al.* (2005) han señalado el análisis de riesgo como una herramienta que permite evaluar la posibilidad de que una especie se convierta en problemática al ser introducida a un nuevo ecosistema, así pues,

estos análisis ayudan a determinar las prioridades de acción dirigidas a evitar el establecimiento de agentes invasores o epidemias (Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, 2007<sup>1</sup>). Sobre el mismo tema, se ha mencionado que los análisis de riesgo facilitan el marco de trabajo para el manejo de especies de peces exóticos durante las importaciones (Peterson y Vieglais, 2001).

### Hacia una visión común

El objetivo de las directrices trinacionales, promovido por la Comisión de Cooperación de América del Norte (CCA), es ofrecer un proceso normalizado con el fin de evaluar los riesgos para la biodiversidad derivados de la introducción de organismos acuáticos exóticos en un nuevo entorno. Estas directrices fueron concebidas para funcionar como un proceso abierto, con contribuciones oportunas y continuas de los expertos científicos y técnicos competentes, y con la finalidad de establecer un marco que permita organizar la información científica y técnica pertinente, en un formato comprensible y útil para los gestores y los tomadores de decisiones. Asimismo, las directrices se formularon de modo que fueran lo suficientemente flexibles y dinámicas para incluir diversos enfoques en la evaluación del potencial invasor de especies acuáticas introducidas, según los recursos disponibles, la accesibilidad de la información biológica y los métodos de análisis de riesgos disponibles en el momento de la evaluación. Por tanto, el proceso dará cabida a toda una gama de metodologías: desde un proceso profesional de evaluación sencillo y rápido, hasta un análisis que requiera una investigación a conciencia y tecnologías avanzadas (*e.g.* modelización del nicho ecológico con algoritmos definidos, taxonomía molecular, etcétera).

La calidad de una evaluación de riesgos depende de la solidez de las bases que se utilicen

---

1. Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. 2007. *Import risk, handbook 2007*. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra, Au. 47p. [http://www.daff.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0011/399341/IRA\\_handbook\\_2007\\_WEB.pdf](http://www.daff.gov.au/_data/assets/pdf_file/0011/399341/IRA_handbook_2007_WEB.pdf)

para justificar acciones correctivas. La función específica es presentar un proceso útil para: evaluar organismos acuáticos exóticos con potencial invasivo y organismos establecidos recientemente, así como el riesgo de la introducción de organismos, en relación con rutas específicas (por ejemplo, aguas de lastre de los barcos, acuicultura, comercio de peces para acuarios, siembra de peces, etcétera).

Ya que las especies invasoras acuáticas representan una amenaza potencial para la biodiversidad por medio del comercio internacional, el grupo de Especies Invasoras de Norteamérica seleccionó como modelo de Análisis de Riesgo, el proceso de revisión desarrollado en 1996 por la Aquatic Nuisance Species Task Force (ANSTF), de Estados Unidos (ANSTF, 1996<sup>2</sup>).

#### *Análisis de Riesgo*

La necesidad de una evaluación de riesgos se inicia, ya sea con la solicitud de abrir una nueva ruta comercial que potencialmente capaz de albergar organismos acuáticos invasores, o bien con la identificación de una ruta de introducción ya existente que pudiese constituir un riesgo significativo. Todas las rutas de introducción que tienen la posibilidad de transportar organismos exóticos potencialmente invasores deben someterse a algún tipo de evaluación de riesgos. Las rutas de introducción con alto potencial de transportar organismos exóticos deben estar sujetas a una evaluación completa y concienzuda sobre los riesgos.

La comunicación abierta y continua entre gestores y asesores en materia de riesgos es importante durante la evaluación de éstos, para asegurar que una vez concluido, el análisis sea relevante para la instrumentación de medidas o regulaciones. La siguiente descripción de las directrices se centra en evaluar el riesgo que corren los organismos exóticos con respecto a una ruta de introducción identificada. En la *figura 1*

se muestra el flujo de la evaluación de riesgos, dividiendo el proceso en tres etapas: inicio, evaluación y gestión de riesgos. En el caso de organismos específicos que requieren una evaluación, pero que no necesariamente están vinculados con una de rutas de introducción, se procede directamente a poner en práctica la “Evaluación de riesgos de organismos”.

#### *Recolección de datos sobre la ruta de introducción*

Se debe recopilar información específica sobre la ruta, por ejemplo, frecuencia de transporte de los organismos, volumen de organismos transportados, etc. Obviamente, la información específica sobre la ruta variará según el “tipo” de vía de introducción (e.g. agua de lastre de los barcos, acuicultura, comercio de organismos acuáticos para acuarios, siembra de peces para pesca deportiva, etc.). De manera general, la siguiente información resulta de utilidad en las evaluaciones de los riesgos que producen los organismos exóticos:

- 1) Origen exacto de los organismos vinculados con la ruta de introducción.
- 2) Cantidad de organismos que viajan dentro de la ruta de introducción.
- 3) Uso o disposición previsto de la ruta de introducción (ANSTF, 1996<sup>2</sup>).
- 4) Mecanismo y la historia de la ruta de introducción.
- 5) Experiencias pasadas y evaluaciones de riesgos anteriores (incluidas las realizadas en otros países) respecto a la ruta o a las rutas de introducción relacionadas.
- 6) Acciones de mitigación disponibles, anteriores y actuales, en relación con la ruta de introducción.

#### *Lista de organismos acuáticos invasores de mayor relevancia*

Otro de los elementos necesarios es el *establecimiento de una lista de organismos exóticos de relevancia*, para lo cual se recomienda el siguiente proceso general:

- Determinar qué organismos se vinculan con la ruta de introducción.
- Determinar cuáles de estos organismos amenazan una evaluación más a fondo, en función

2. ANSTF. 1996. *Generic nonindigenous aquatic organisms risk analysis review process*. Aquatic Nuisance Species Task Force. Risk Assessment & Management Committee. Disponible en: <http://www.anstaskforce.gov/documents.php>. [Consultado el 8 de noviembre, 2010]



Fig. 1. Marco para la evaluación de riesgo.

de sus características de “invasividad” (e.g. historia de invasión en otros países, características biológicas, coincidencia climática, etcétera).

- Elaborar una lista de los organismos de mayor riesgo y señalar, según proceda, confusiones en cuanto a su taxonomía.
- Llevar a cabo evaluaciones de riesgos de organismos a partir de la lista de organismos elaborada en el paso anterior.

Con base en el número de organismos identificados y los recursos disponibles, pudiera ser necesario concentrarse en menos organismos que los identificados en el tercer paso. En tal caso, es deseable que los organismos elegidos para la evaluación de riesgos sean representativos de todos los organismos identificados.

#### *Evaluación de riesgos por los organismos*

Usado para evaluar y determinar el riesgo vinculado con una ruta de introducción, este elemento es el componente más importante del proceso y

de las directrices, y puede ser independiente de la evaluación de rutas si se requiere el análisis de un organismo exótico en particular. En la figura 2 se presenta el modelo en el que se basa la evaluación de riesgos ocasionados por los organismos.

El modelo de evaluación de riesgos se divide en dos componentes principales: probabilidad de establecimiento y consecuencias del establecimiento. Esta división refleja la manera en que se puede evaluar un organismo exótico (por ejemplo, el uso de medidas más restrictivas, para disminuir las probabilidades de que un organismo exótico en particular se establezca cuando sus consecuencias sean mayores). Se trata de un modelo de trabajo que representa una versión simplificada del mundo real. De hecho, los elementos específicos del modelo de evaluación de riesgos no son estáticos ni constantes sino dinámicos, dado que deben mostrar las distintas relaciones temporales y espaciales. Además, los elementos difieren en la forma en que miden los riesgos y no necesariamente son independientes. El peso de los diversos elementos nunca será

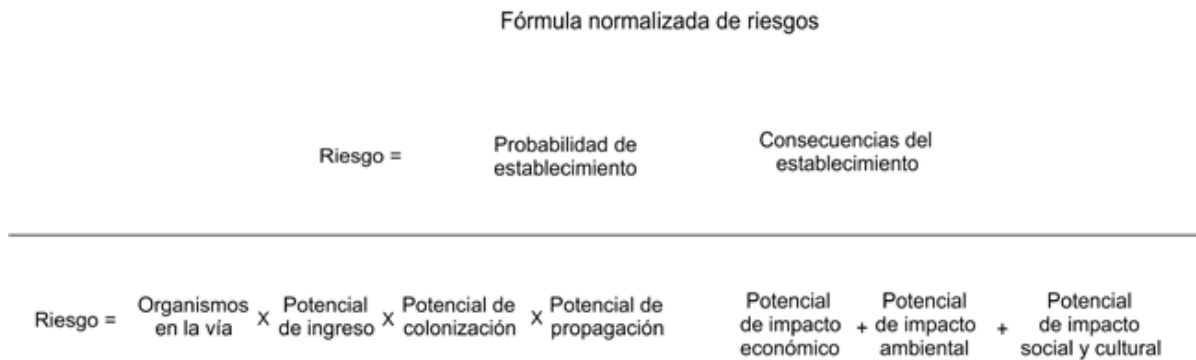


Fig. 2. Modelo de evaluación de los riesgos (Tomado y modificado de Mendoza *et al.*, 2009).

estático porque dependen en gran medida del organismo exótico de que se trate y de su ambiente en el momento de la introducción.

A su vez, los dos componentes principales del modelo de evaluación de riesgos se dividen en siete elementos básicos que sirven para referirse a la información científica, técnica y de otra índole que resulte pertinente para el análisis. Cada uno de estos siete elementos básicos contribuirá a los cálculos de probabilidad o consecuencias del establecimiento. Los elementos individuales se pueden determinar aplicando métodos cuantitativos o cualitativos.

La solidez del análisis reside en que la información recabada por los asesores se puede organizar de acuerdo con estos siete elementos que se describen más adelante. La información reunida dentro de cada elemento deberá contener los datos necesarios para evaluar el riesgo correspondiente a ese elemento.

A continuación se presentan las preguntas específicas y la descripción de cada uno de los elementos del modelo de evaluación de riesgos<sup>3</sup>.

3. Cuando se evalúa un organismo no vinculado con una ruta de introducción, o que ha sido recientemente introducido, la respuesta automática para las dos primeras preguntas del grupo 1 será "alta" (probabilidad alta), porque se da por sentado que se establecerá en el nuevo ambiente o bien éste ya ha ocurrido.

### Elementos del grupo 1: Evaluación de la probabilidad de establecimiento del organismo

#### 1. Organismos acuáticos exóticos vinculados con la ruta de introducción (en el origen)

Cálculo de las probabilidades de que el organismo sea transportado por una ruta de introducción específica. La principal pregunta inherente a este cálculo es: ¿muestra el organismo un claro vínculo temporal o espacial con la ruta de introducción? Por ejemplo, se ha demostrado que la importación de peces de ornato constituye una ruta de introducción viable para especies invasoras en diversos cuerpos de agua dulce del país.

#### 2. Potencial de ingreso

Cálculo de las probabilidades de que el organismo sobreviva en su tránsito. El potencial de ingreso considera la probabilidad de que el organismo en la ruta de introducción ingrese (es decir, sea liberado) en el ambiente de interés por evaluar. Algunos de los aspectos determinantes de este elemento incluyen: la factibilidad de que el organismo sea introducido por medio de la ruta comercial, su capacidad para sobrevivir durante el tránsito, la etapa de ciclo de vida en que se encuentre durante el tránsito, el número de individuos que se espera que estén vinculados con la ruta de introducción, o si su introducción es deliberada (por ejemplo, como agente de control biológico o para siembra de peces).

### 3. *Potencial de colonización*

Cálculo de las probabilidades de que el organismo colonice y establezca ahí una población reproductivamente viable. Algunos de los aspectos que se deben considerar en este análisis son: las posibilidades de que el organismo disponga de recursos alimenticios adecuados, que encuentre factores abióticos y bióticos de resistencia ambiental (*e. g.* temperaturas sub-óptimas o depredadores); el esfuerzo de introducción —número de individuos con probabilidades de ser transportados o dispersados por la ruta de introducción— y la capacidad de reproducirse o hibridarse en el nuevo entorno. En este cálculo cualitativo se debe considerar si los factores ambientales —la calidad del agua, el clima y componentes físicos del hábitat como temperatura, estructura y flujo— se encuentran dentro del umbral de tolerancia ambiental del organismo para permitir la reproducción y el establecimiento de al menos una población.

### 4. *Potencial de propagación*

Cálculo de las probabilidades de que el organismo se propague fuera del área colonizada. Entre las características por considerar de este elemento se cuentan: la capacidad de dispersión natural, la capacidad para aprovechar la actividad humana con propósito de dispersarse, la capacidad para desarrollar con facilidad razas o variedades<sup>4</sup>, así como el área de propagación probable calculada con base en la disponibilidad de condiciones de hábitat adecuadas. Por ejemplo, se pueden usar modelos de distribución potencial, generados por medio de algoritmos tales como el GARP (Generic Attribute Registration Protocol) este Algoritmo Genético para Predicción de Conjuntos de Reglas considera diversas va-

riables climáticas en el área de distribución nativa de un organismo o un taxón, y se aplica esa información para evaluar sitios con condiciones climáticas similares, en las que podría ser posible su propagación en nuevos entornos (Bomford y Glover, 2004; Kolar, 2004; Herborg *et al.*, 2007).

## Elementos del grupo 2: Evaluación de las consecuencias del establecimiento de un organismo

### 1. *Potencial de impacto económico*

Cálculo del impacto económico en caso de que el organismo llegue a establecerse. Entre los aspectos de este elemento de las directrices figuran: la importancia económica de los organismos hospederos; el daño a cultivos o recursos naturales; los efectos para las industrias subsidiarias y las exportaciones; la pérdida de servicios ambientales, y los costos de control directo y manejo.

### 2. *Potencial de impacto ambiental*

Cálculo del impacto ambiental en caso de que el organismo llegue a establecerse. Entre los aspectos considerar destacan: la desestabilización, modificación o degradación del ecosistema; disminución de la biodiversidad nativa a causa de la pérdida o reducción en la calidad de los hábitats preferidos; decremento o eliminación de especies fundamentales, y repercusiones de las acciones de control futuras. Si procede, también se consideran como parte de este elemento los efectos en el entorno humano (*e. g.* aspectos sanitarios o de inocuidad).

### 3. *Influencias sociales y culturales*

Para el cálculo de los efectos en las prácticas sociales y culturales deben considerarse aspectos de la cultura indígena y otras culturas de importancia nacional y regional, así como efectos sociales que no se reflejan fácilmente en el elemento de impacto económico.

Cabe aclarar que los elementos que conforman la “Consecuencia del establecimiento” (Fig. 2), también se pueden usar para registrar los posibles efectos positivos de un organismo

4. De acuerdo con R. Triquet la raza es “un conjunto de individuos que presentan caracteres comunes que los distinguen de otros representantes de su especie y que son genéticamente transmisibles”, mientras que la variedad es “una subdivisión dentro de una raza, cuyos individuos poseen además un carácter transmisible común, que los distingue de los demás individuos de la raza”. *Concepto de raza y variedad*. Disponible en: [www.ironkennel.com.ar](http://www.ironkennel.com.ar) [Consultado el 8 de marzo, 2011]

exótico; por ejemplo, su importancia como agente de control biológico, mascota, especie para pesca deportiva u organismo para investigación científica, o su uso en acuicultura. En el caso de introducciones deliberadas, tales elementos permitirán registrar información útil para determinar la calificación por la que se pueda lograr un equilibrio entre costos, beneficios y riesgos de la introducción de un organismo exótico.

### Resumen del riesgo planteado por los organismos y las rutas de introducción

Las directrices permiten hacer un cálculo de riesgos en tres ámbitos. En el primero se asigna un riesgo estimado para cada uno de los siete elementos que la evaluación de riesgos comprende (calificación de elementos). En el segundo se combinan los cálculos de riesgo de los siete elementos en un indicador del “potencial de riesgo del organismo” (PRO), que representa el riesgo general del organismo evaluado. En el tercero se vinculan los distintos PRO en un “potencial de riesgo de la ruta” (PRR), que representará el riesgo combinado de los organismos invasores asociados con la ruta.

### Componentes de la evaluación final

- Introducción.
- Información sobre la ruta.
- Lista completa de los organismos de preocupación.
- Evaluación de riesgos de organismos individuales.
- Respuesta a preguntas específicas planteadas por los gestores de riesgos.
- Resumen de la metodología aplicada para determinar los PRO y los PRR.
- Resumen y respuestas para los revisores externos.

### Estudios de caso

A continuación se presenta la síntesis de los resultados de dos análisis de riesgo sobre las familias Loricariidae (peces diablo) y Channidae (peces cabeza de serpiente) (Tabla 1), que fueron seleccionados por las importantes repercusiones potenciales para Norteamérica.

Las evaluaciones para ambas familias, considerando los elementos del análisis de riesgo, se muestran en la *tabla 2*.

### Discusión y conclusiones

Las invasiones biológicas se consideran como uno de los principales problemas del siglo XXI y algunos autores se han referido a este fenómeno como la segunda causa de pérdida de biodiversidad (Díaz *et al.*, 2006; Clavero *et al.*, 2009). La introducción de especies exóticas se ha incrementado con el comercio internacional, así como por medio de los diversos procesos que conllevan la globalización y la mejora de los medios de transporte (CONABIO, Aridamérica, GECI y TNC, 2006). Muchas de estas especies exóticas, ante la ausencia de competidores o depredadores se han convertido en invasoras. En México, lamentablemente, los impactos que causan las especies invasoras han pasado inadvertidos en muchos de los casos, debido a que aún no se ha descrito el total de la gran diversidad biológica que posee el país y, por otra parte, debido a la falta de monitoreo continuo e identificación taxonómica precisa.

En el caso particular de las especies acuáticas, Welcomme (1992) menciona que en el ámbito internacional, las especies acuáticas invasoras se propagan sobre todo por medio de la acuicultura, el acuarismo y el agua de lastre. En México, las especies que han sido reportadas como invasoras llegaron principalmente al país por medio del acuarismo, la acuicultura y la pesca. Existe un gran vacío científico en torno a aquellas que pudieran haber llegado por agua de lastre. Para tener una idea del impresionante volumen de peces que entran a México por el acuarismo, baste decir que tan sólo en el año 2004 las importaciones de peces de ornato en México eran de 10 000 956 especímenes, provenientes básicamente de Asia,

**Tabla 1**  
Elementos para la evaluación de riesgos

<i>Componentes</i>	<i>Peces diablo (Loricariidae)</i> <i>Foco del estudio: México y EU</i>	<i>Peces cabeza de serpiente (Channidae)</i> <i>Foco del estudio: Canadá y EU</i>
<i>Características</i>	Originarios del Amazonas. Relación taxonómica con los bagres (Siluriformes), con más de 800 especies conocidas para la familia Loricariidae (Armbruster, 1997). Son capaces de respirar aire atmosférico. Pueden sobrevivir largos periodos fuera del agua. Poseen una armadura de placas óseas y una boca suctorial sub-terminal.	Se conocen 28 especies que habitan zonas tropicales, sub-tropicales y templadas. Son capaces de respirar aire atmosférico. Pueden sobrevivir largos periodos fuera del agua. Resisten las temperaturas bajas (Courtenay y Williams, 2004).
<i>Rutas de introducción</i>	Comercio de peces de ornato. Son muy populares en el acuarismo internacional, conocidos como “limpia-peceras” (Mendoza-Alfaro <i>et al.</i> , 2010).	Principalmente como alimento vivo, aunque algunas especies son muy cotizadas en el acuarismo (USGS, 2004).
<i>Potencial de ingreso</i>	Altamente resistentes al estrés del transporte, en gran medida por su capacidad de respiración aérea. La probabilidad aumenta con su alta demanda y el número importante de variedades importado anualmente (Álvarez-Jasso, 2004; Ramírez y Mendoza, 2009).	Alta probabilidad de llegar vivos a su destino ya que así se requieren para su comercialización como alimento para las comunidades asiáticas. También por la capacidad de estas especies para sobrevivir condiciones hipóxicas (Courtenay y Williams, 2004).
<i>Potencial de colonización</i>	Pueden sobrevivir en una amplia gama de condiciones ambientales, incluyendo amplios intervalos de temperatura, aguas de baja calidad, corrientes fuertes y condiciones de sequía. Gran potencial de fecundidad y cuidado parental (Liang <i>et al.</i> , 2005; Page y Robins, 2006). Altamente territoriales (Hoover <i>et al.</i> , 2004).	Significativo. Algunas especies capaces de sobrevivir en los tres países de Norteamérica, otras sólo en México y EU (Mendoza <i>et al.</i> , 2009).
<i>Potencial de dispersión</i>	La modelización de nicho ecológico (GARP) sugiere que un gran porcentaje de México y EU son vulnerables al establecimiento de los loricáridos (Mendoza <i>et al.</i> , 2009).	Su alta tolerancia ambiental y la modelización indican gran probabilidad de que se puedan establecer en los tres países (Mendoza <i>et al.</i> , 2009).
<i>Impactos ambientales</i>	Existen evidencias de desplazamiento de especies nativas de peces por competencia por el alimento (Cohen, 2008). Se les ha atribuido la muerte masiva de pelícanos (son de particular riesgo para especies en peligro de extinción) (Bunkley-Williams <i>et al.</i> , 1994) y se ha documentado el acoso a manatíes (Nico <i>et al.</i> , 2009). Se les ha asociado con diferentes parásitos, entre otros, dinoflagelados tóxicos y el <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> (Kailola, 2000 <sup>5</sup> ).	Son depredadores voraces, sumamente territoriales, algunas especies pueden alcanzar 1.80 m de longitud, por lo que a menudo desplazan a la ictiofauna nativa y alteran las redes tróficas. Son portadores de diversos parásitos, entre otros, varios mixosporidios (Courtenay y Williams, 2004).
<i>Impactos económicos potenciales</i>	Su comportamiento excavador puede alterar significativamente las condiciones de los lechos de los ríos y lagos, y el efecto de la turbidez afecta la fotosíntesis (Hoover <i>et al.</i> , 2004; Nico <i>et al.</i> , 2009). Existen evidencias de afectación a las redes de los pescadores, y su presencia y abundancia se han asociado con la disminución de especies de valor comercial (Escalera-Barajas, 2005).	Debido a su comportamiento depredador se les ha atribuido la disminución de especies de peces comerciales (Courtenay y Williams, 2004).
<i>Influencias sociales y culturales</i>	Afectación a las pesquerías comerciales y artesanales (Escalera-Barajas, 2005). Afectación a la infraestructura privada y pública (Hoover <i>et al.</i> , 2004). Daños a la salud (heridas) de los humanos.	Daños a la salud de humanos. Hay especies que han atacado al hombre, incluso causándole la muerte. Importante para la religión budista, con implicaciones en su liberación intencional. Gran importancia culinaria (Courtenay y Williams, 2004).

<sup>5</sup> KAILOLA, P.J. 2000. Risk assessment of ten species of ornamental fish under the Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999. Disponible en línea: <http://www.deh.gov.au/biodiversity/trade-use/invitecomment/pubs/ornamental-fish.pdf> [Consultado en marzo, 2006]



**Tabla 2**  
Análisis de riesgo: a) Loricariidae, b) Channidae

<i>Probabilidad de establecimiento</i>	<i>Organismos dentro de la Ruta</i>	<i>Potencial de Introducción</i>	<i>Potencial de Colonización</i>	<i>Potencial de propagación</i>	<i>Resultado</i>
a) Loricariidae	ALTO*	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
b) Channidae	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
<i>Consecuencias del establecimiento</i>	<i>Impactos Económicos</i>	<i>Impactos Ambientales</i>	<i>Impactos Percibidos</i>		
a) Loricariidae	ALTO	ALTO	ALTO		ALTO
b) Channidae	ALTO	ALTO	ALTO		ALTO

\* Los resultados son en función de la información disponible y el grado de certidumbre.

mientras que 1 971 335 individuos eran de Sudamérica (Mendoza-Alfaro *et al.*, 2010). Esto, sin lugar a dudas, constituye no sólo un motivo de preocupación sino un gran reto, ya que para el establecimiento de lineamientos orientados a la constitución de un acuarismo responsable se requieren mecanismos que permitan identificar aquellas especies que representen un riesgo potencial para la biodiversidad nacional. A este respecto, las medidas preventivas tales como el análisis de riesgo, representan con seguridad la mejor opción. Sin embargo, los análisis de riesgos han evolucionado con rapidez, de modo que estas directrices deben ser lo suficientemente flexibles como para dar cabida a metodologías y procesos nuevos a medida que estén disponibles. Por consiguiente, las evaluaciones documentadas en este estudio constituyen un punto de partida, aunque de ninguna manera se proponen regir las acciones nacionales en materia de regulación sobre especies exóticas invasoras, que deberían tomarse en cuenta para el establecimiento de listas negras (organismos no deseados) y blancas (organismos de poca preocupación), como lo exigen las nuevas reformas a la Ley de Vida Silvestre y a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Gaceta Parlamentaria, 2010). La elaboración de listas es una importante herramienta, ya que éstas pueden ser de gran ayuda para establecer acciones para prevenir la entrada de especies exóticas potencialmente invasoras que se pretendan introducir al territorio nacional. De la misma manera, contar con listas de especies evaluadas puede facilitar el funcionamiento de los sistemas de evaluación de riesgo e, igualmente, pueden contribuir a la diferenciación de los riesgos para el otorgamiento de permisos (CONAP, 2004).

### Literatura citada

- AGUIRRE-MUÑOZ, A., R. Mendoza-Alfaro, H. Arredondo-Ponce-Bernal, L. Arriaga-Cabrera, E. Campos-González, S. Contreras-Balderas, M. Elías-Gutiérrez, F.J. Espinosa-García, I. Fernández-Salas, L. Galaviz-Silva, F.J. García de León, D. Lazcano-Villarreal, M. Martínez-Jiménez, M.E. Meave del Castillo, R.A. Medellín, E. Naranjo-García, M.T. Olivera-Carrasco, M. Pérez-Sandi, G. Rodríguez-Almaraz, G. Salgado-Maldonado, A. Samaniego-Herrera, E. Suárez-Morales, H. Vibrans y J.A. Zertuche-González. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. *En: CONABIO Capital Natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio*. México, pp: 277-318.
- ÁLVAREZ-JASSO, M. 2004. La introducción de peces ornamentales en México a través de las importaciones durante el año 2001 y su ordenamiento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 75p.
- ARMBRUSTER, J.W. 1997. Phylogenetic relationships of the suckermouth armored catfishes (Loricariidae) with particular emphasis on the Ancistrinae, Hypostominae, and Neoplecostominae. Tesis de Doctorado. Universidad de Illinois, Champaign-Urbana, Illinois. 409p.
- BHASKAR, R. y J. Pederson. 2003. *Exotic species: An ecological roulette with nature*. MIT Sea Grant College Program, Coastal Resources Fact Sheet, Cambridge. 2p.
- BOMFORD, M. y J. Glover. 2004. *Risk assessment model for the import and keeping of exotic*

- freshwater and estuarine finfish*. Bureau of Rural Sciences for the Department of Environment and Heritage, Gobierno de Australia, Canberra. 125p.
- BUNKLEY-WILLIAMS, L., E.H. Williams Jr., C.G. Lilystrom, I.C. Flores, A.J. Zerbi, C. Aliaume y T.N. Churchill. 1994. The South American sailfin armored catfish, *Liposarcus multiradiatus* (Hancock), a new exotic established in Puerto Rican fresh waters. *Caribbean Journal of Science* 30(1-2): 90-94.
- CLAVERO, M., L. Brotons, P. Pons y D. Sol. 2009. Prominent role of invasive species in avian biodiversity loss. *Biological Conservation* 142: 2043-2049.
- COHEN, K. 2008. Gut content and stable isotope analysis of exotic suckermouth catfishes in San Antonio River, TX: A concern for spring endemics. Master Thesis. Texas State University, San Marcos. 74p.
- CONABIO, Aridamérica, GECI, TNC. 2006. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México. [Versión electrónica] Ciudad de México. Mayo 2006. 41p. + anexos.
- CONAP. 2004. *Especies exóticas con el mayor potencial de riesgo para los recursos naturales nativos (metodología de identificación)*. Unidad Técnica de Especies Exóticas. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Oficina Técnica de Biodiversidad (OTECBIO), Guatemala. 20p.
- CONTRERAS-BALDERAS, S. 1999. Annotated checklist of introduced invasive fishes in México, with examples of some recent introductions. *En: R. Claudi y J.H. Leach (eds.). Nonindigenous freshwater organisms: Vectors, biology, and impacts*. Lewis Publishers, Boca Raton, pp: 35-54.
- COPP, G.H., R. Garthwaite y R.E. Gozlan. 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: a summary of concepts and perspectives on protocols for the UK. *Journal of Applied Ichthyology* 21: 371-373.
- COURTENAY, W.R., Jr. y J.D. Williams. 2004. Snakeheads (Pisces: Channidae) - a biological synopsis and risk assessment. *United States Geological Survey Circular* 1251: 1-143. [http://fisc.er.usgs.gov/Snakehead\\_circ\\_1251/index.html](http://fisc.er.usgs.gov/Snakehead_circ_1251/index.html)
- DÍAZ, S., J. Fargione, F.S. Chapin III y D. Tilman. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *Public Library of Science Biology* 4(8): e277. doi:10.1371/journal.pbio.0040277.
- ESCALERA-BARAJAS, K. 2005. Impacto socio-económico del pleco en la presa "El Infiernillo". Instituto Tecnológico de Jiquilpan, México. 34p.
- GACETA PARLAMENTARIA. 2010. De la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales con proyecto de decreto que reforma y adiciona diversas disposiciones de las leyes generales de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y de Vida Silvestre. <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/61/2010/dic/20101222.html>
- GOLDBURG, R. y T. Triplett. 1997. *Murky waters: Environmental effects of aquaculture in the United States*. The Environmental Defense Fund, Nueva York. 1197p.
- HARE, J.A. y P.E. Whitfield. 2003. An integrated assessment of the introduction of lionfish (*Pterois volitans/miles* complex) to the western Atlantic Ocean. NOAA Technical Memorandum, *National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science* 2: 1-21.
- HARRISON, I.J. y M.L.J. Stiassny. 1999. The quiet crisis: A preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or "missing in action". *En: R.D.E. MacPhee (ed.). Extinctions in near time: causes, contexts, and consequences*. Kluwer Academic/Plenum, Nueva York, pp: 271-332.
- HERBORG, L.M., C.L. Jerde, D.M. Lodge, G.M. Ruiz y H.J. MacIsaac. 2007. Predicting invasion risk using measures of introduction effort and environmental niche models. *Ecological Applications* 17(3): 663-674.
- HOOVER, J.K., J. Killgore y A.F. Cofrancesco. 2004. Suckermouth catfishes: threats to aquatic ecosystems of the United States? *Aquatics Nuisance Species Research Program* 4(1): 1-9.
- HOPKINS, C.C.E. 2001. *Actual and potential effects of introduced marine organisms in Norwegian waters, including Svalbard*. Directorate for

- Nature Management, Oslo. Research Report DN 2001-1. AquaMarine Advisers. 51p.
- KOLAR, C. 2004. Risk assessment and screening for potentially invasive fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38: 391-397.
- KOLAR, C.S. y D.M. Lodge. 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* 298: 1233-1236.
- LASSUY, D.R. 1995. Introduced species as a factor in extinction and endangerment of native fish species. *American Fisheries Society Symposium* 15: 391-396.
- LIANG, S., H. Wu y B. Shieh. 2005. Size structure, reproductive phenology, and sex ratio of an exotic armored catfish (*Liposarcus multiradiatus*) in Kaoping River of Southern Taiwan. *Zoological Studies* 44(2): 252-259.
- MENDOZA, R., B. Cudmore, R. Orr., J. Fisher, S. Contreras, W. Courtney, P. Koleff, N. Mandrak, P. Álvarez, M. Arroyo, C. Escalera, A. Guevara, G. Greene, D. Lee, A. Orbe, C. Ramírez y O. Strabidis. 2009. *Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species test cases for the snakeheads (Channidae) and armored catfishes (Loricariidae) in North American inland waters*. Commission for Environmental Cooperation. Montreal. 98p.
- MENDOZA-ALFARO, R., C. Ramírez-Martínez, S. Contreras-Balderas, P. Koleff-Osorio y P. Álvarez-Torres. 2010. Aquarium trade as a pathway for the introduction of invasive species into México. *En: F. De Carlo y A. Bassano (eds.). Aquaculture: Types, economic impacts, and environmental impacts*. Nova Science, Nueva York, pp: 209-224.
- NICO, L., H.L. Jelks y T. Tuten. 2009. Non-native suckermouth armored catfishes in Florida: description of nest burrows and burrow colonies with assessment of shoreline conditions. *Aquatic Nuisance Species Research Program Bulletin* 9(1): 1- 30.
- PAGE, L.M. y R.H. Robins. 2006. Identification of sailfin catfishes (Teleostei: Loricariidae) in Southern Asia. *The Raffles Bulletin of Zoology* 54(2): 455-457.
- PETERSON, A.T. y D.A. Vieglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: a new approach from bioinformatics attacks a pressing problem. *BioScience* 51(5): 363-371.
- RAMÍREZ, C. y R. Mendoza. 2009. El acuarismo como un vector de especies acuáticas invasivas en México. Recuadro 4.10. *En: V. Cervantes, J. Carabias y V. Arriaga. Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental, en Capital natural de México*. Vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, México, pp: 155-226.
- SHINE, C., N. Williams y L. Gündling. 2000. *A guide to designing legal and institutional frameworks on alien invasive species*. UICN, Gland. Environmental Policy and Law Paper No. 40. 130p.
- USGS. 2004. Non-indigenous aquatic species database-northern snakehead (*Channa argus*). United States Geological Survey. [www.nas.er.usgs.gov](http://www.nas.er.usgs.gov)
- WELCOMME, R.L. 1992. A history of international introductions of inland aquatic species ICES. *Marine Science Symposium* 194: 3-14.

Recibido: 15 de noviembre de 2010.

Aceptado: 20 de junio de 2011.

