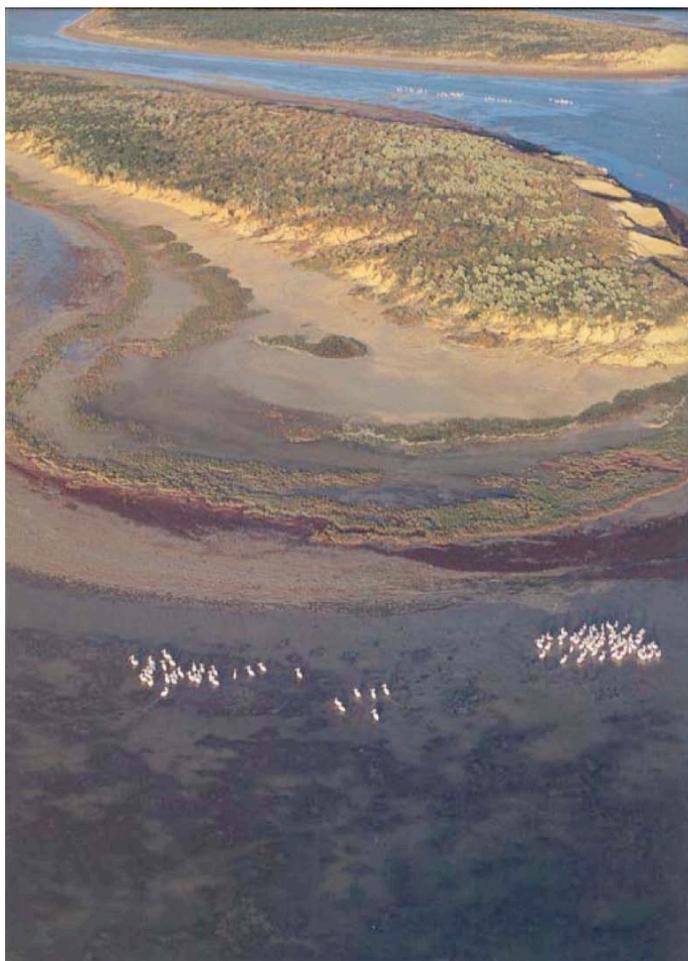


Especies acuáticas invasoras

en la región ecológica

Río Bravo/Laguna Madre



Por Roberto Mendoza, Nelson Arreaga,
Juanita Hernández, Verónica Segovia,
Ivonne Jasso y Daniela Pérez

Portada:
Vista aérea de la zona estuarina Laguna Madre,
ecosistema hipersalino único en su género y el más
importante humedal de América del Norte.
Fotografía: Patricio Robles Gil.

El presente informe fue elaborado por Roberto Mendoza, Nelson Arreaga, Juanita Hernández, Verónica Segovia, Ivonne Jasso y Daniela Pérez, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por encargo del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte. La información que contiene es responsabilidad de sus autores o de las fuentes citadas y no necesariamente refleja la posición de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción total o parcial del documento, en cualquier forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro, sin que sea necesario obtener autorización especial por parte del Secretariado de la CCA, siempre y cuando se cite debidamente la fuente. La CCA apreciará que se le envíe una copia de cualquier publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada”, de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2011

Particularidades de la publicación

Tipo: informe de antecedentes

Fecha: octubre de 2011

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:

Revisión final de las Partes: 17 de febrero a 17 de marzo de 2011
QA10.26

Available in English

Si desea obtener mayor información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase:

Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques ouest, bureau 200

Montreal (Quebec), Canadá H2Y 1N9

t 514.350.4300 f 514.350.4372

info@cec.org / www.cec.org

Índice

Lista de gráficas	iii
Lista de cuadros.....	v
Resumen ejecutivo	1
Introducción	3
Antecedentes	4
Importancia de la región 11	5
Laguna Madre.....	15
Geografía.....	15
Origen, desarrollo y geología	17
Población.....	17
Clima.....	17
Ciclos del agua.....	18
Hidrografía.....	18
Circulación y corrientes.....	19
Huracanes.....	21
Provincia biótica tamaulipeca	23
Legado de los ranchos	23
El ecosistema.....	24
Pastizales marinos	24
Llanuras expuestas por las mareas de viento.....	27
Islas barrera.....	27
Aves	28
Peces y pesca.....	29
Problemas de conservación	31
Amenazas	34
Destrucción indirecta de objetivos de conservación.....	35
<i>Eutrofización</i>	35
<i>Atenuación de la luz</i>	35
<i>Química alterada del agua (la salinidad en particular)</i>	35
<i>Régimen hidrológico alterado del agua dulce</i>	36
<i>Régimen alterado del flujo de agua salada</i>	36
<i>Régimen alterado de los sedimentos</i>	36
Destrucción directa de objetivos de conservación.....	36
<i>Desarrollo costero incompatible</i>	36
<i>Dragado</i>	37
<i>Uso recreativo inapropiado</i>	38
<i>Especies invasoras</i>	38
<i>Sobrepesca</i>	39
<i>Flujo de sustancias tóxicas y contaminantes</i>	39
<i>Calentamiento global</i>	41

Río Bravo	42
División del río y la cuenca	45
Ecorregiones y clima	45
Biodiversidad	46
Factores de impacto	49
<i>Contaminación química</i>	50
<i>Microorganismos</i>	54
<i>Especies invasoras (contaminación biológica)</i>	55
<i>Embalses</i>	60
<i>Sobreextracción del agua</i>	66
<i>Salinización</i>	69
Efectos acumulativos	71
Efectos del cambio climático	75
Especies invasoras en la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre	77
Rutas	79
<i>Rutas no intencionales</i>	80
<i>Rutas intencionales</i>	85
Iniciativas regionales y nacionales	86
Metodología	89
Especies exóticas e invasoras en la región ecológica LM-DRB	89
Modelización del nicho ecológico	89
<i>Registros de incidencia</i>	89
<i>Métodos de modelización</i>	90
<i>Variables ambientales y elaboración de modelos</i>	92
Análisis de rutas	93
Evaluación de la invasividad de las especies	100
Resultados	103
Especies totales	103
Plantas	103
Peces	108
Anfibios y reptiles	112
Invertebrados	115
Otros	119
Mamíferos	121
Conjunto	121
Especies con calificación SIS crítica	124
Análisis	134
Conclusión	137
Referencias bibliográficas	138

Lista de gráficas

Gráfica 1.	Las 14 regiones ecológicamente más importantes y amenazadas de América del Norte (CCA)	5
Gráfica 2.	Mapa de la ecorregión 11.....	6
Gráfica 3.	Imagen de satélite de la Laguna Madre.....	7
Gráfica 4.	Sitios Ramsar en México.....	9
Gráfica 5.	Regiones hidrológicas prioritarias en México.....	10
Gráfica 6.	Regiones marinas prioritarias de México	10
Gráfica 7.	Sitios costeros, de las márgenes continentales y de altamar, prioritarios para la conservación en México	11
Gráfica 8.	Regiones terrestres prioritarias de México	12
Gráfica 9.	Ruta migratoria de aves del Misisipi.....	13
Gráfica 10.	Ruta migratoria de aves del centro de América del Norte	13
Gráfica 11.	La Laguna Madre de Texas y Tamaulipas.....	15
Gráfica 12.	Municipios comprendidos en el área natural protegida Laguna Madre de Tamaulipas.....	16
Gráfica 13.	Corrientes en el golfo de México.....	20
Gráfica 14.	Corrientes en el golfo de México, por trimestre	20
Gráfica 15.	Imagen del huracán <i>Katrina</i>	22
Gráfica 16.	Distribución de pastos marinos en la Laguna Madre de Tamaulipas	25
Gráfica 17.	Isla barrera en la Laguna Madre de Tamaulipas.....	27
Gráfica 18.	Áreas naturales protegidas costeras, federales y estatales, de México	32
Gráfica 19.	Áreas naturales protegidas en las lagunas Madre de Tamaulipas y Texas.....	33
Gráfica 20.	Mapa del río Bravo	42
Gráfica 21.	Cuerpos de agua binacionales en la cuenca del río Bravo.....	43
Gráfica 22.	Cuenca del río Bravo.....	44
Gráfica 23.	Especies de peces de agua dulce por ecorregión	47
Gráfica 24.	Localización del arroyo Colorado.....	54
Gráfica 25.	El Río Bravo aguas arriba de Brownsville, Texas.....	58
Gráfica 26.	Infestaciones de jacinto de agua e hidrilla en el río Bravo cerca de Brownsville, Texas.....	59
Gráfica 27.	Mapa de la cuenca del río Bravo que ilustra canales y embalses, tierras e instalaciones federales e indígenas, principales áreas metropolitanas y fronteras estatales	61
Gráfica 28.	Presas a lo largo del río Bravo en México.....	63
Gráfica 29.	Sedimentación del banco de arena en la desembocadura del río Bravo	64
Gráfica 30.	Presiones mundiales sobre el agua	67
Gráfica 31.	Caudal promedio del río Bravo por década	69
Gráfica 32.	Área del río Bravo con zonas de agricultura de riego y cuencas de aluvión y concentraciones de cloruro en el río.....	70

Gráfica 33. Modelos de sensibilidad al cambio climático con dos escenarios de emisiones.....	75
Gráfica 34. Geografía mundial de la amenaza inherente para la biodiversidad	76
Gráfica 35. Factores que afectan la biodiversidad en el río Bravo.....	76
Gráfica 36. Principales rutas y orígenes de las infestaciones de especies invasoras en el ambiente marino	78
Gráfica 37. Embarcaciones extranjeras y nacionales que hacen escala en puertos de Estados Unidos y sus protectorados.....	79
Gráfica 38. Tráfico porcentual de arribos del extranjero por costa, 1999-2001.....	81
Gráfica 39. Proporción de agua de lastre descargada por región costera y estrategia de gestión	82
Gráfica 40. Modelización del nicho ecológico y distribución geográfica de las especies	90
Gráfica 41. Categorización de rutas y subrutas.....	95
Gráfica 42. Rutas relacionadas con el transporte	96
Gráfica 43. Rutas de la industria de recursos biológicos.....	97
Gráfica 44. Rutas diversas	98
Gráfica 45. Número de especies exóticas (por grupo) presentes en la región 11	104
Gráfica 46. Fuentes de las plantas invasoras, por continente o región	104
Gráfica 47. Rutas relacionadas con las plantas invasoras presentes en la región 11	105
Gráfica 48. Importancia de las rutas de introducción de plantas por región fuente	106
Gráfica 49. Fuentes de las plantas invasoras, por ambiente acuático	108
Gráfica 50. Presencia de especies exóticas, por estado.....	108
Gráfica 51. Fuentes de los peces invasores exóticos, por continente	109
Gráfica 52. Rutas relacionadas con las especies de peces invasoras presentes en la región 11	109
Gráfica 53. Importancia de las rutas de introducción de peces, por región fuente.....	110
Gráfica 54. Fuentes de los peces invasores, por ambiente acuático	112
Gráfica 55. Presencia de especies exóticas, por estado.....	112
Gráfica 56. Fuentes de los anfibios y reptiles invasores en la región 11.....	113
Gráfica 57. Rutas relacionadas con las especies de anfibios y reptiles presentes en la región 11	113
Gráfica 58. Importancia de las rutas de anfibios y reptiles, por región fuente.....	114
Gráfica 59. Fuentes de los anfibios y reptiles invasores, por ambiente acuático	115
Gráfica 60. Presencia de especies exóticas, por estado.....	115
Gráfica 61. Fuentes de los invertebrados invasores, por continente	116
Gráfica 62. Rutas relacionadas con las especies de invertebrados presentes en la región 11	116
Gráfica 63. Importancia de las rutas de invertebrados, por región fuente.....	117
Gráfica 64. Fuentes de los invertebrados invasores, por ambiente acuático	118
Gráfica 65. Presencia de especies exóticas, por estado.....	119
Gráfica 66. Fuentes de introducción de microorganismos, por continente	119

Gráfica 67. Rutas relacionadas con la introducción de microorganismos en la región 11	120
Gráfica 68. Importancia de las rutas de introducción de microorganismos, por región fuente.....	120
Gráfica 69. Presencia de especies exóticas, por estado.....	121
Gráfica 70. Origen por continente o región del conjunto de taxones presentes en la región 11 o estados vecinos.....	122
Gráfica 71. Origen por continente o región del conjunto de especies acuáticas exóticas presentes en el golfo de México y el Atlántico Sur.....	122
Gráfica 72. Importancia de las rutas de introducción para todos los taxones de las especies exóticas en la región 11	123
Gráfica 73. Importancia de las rutas de introducción para el conjunto de taxones de las especies acuáticas exóticas presentes en el golfo de México y el Atlántico Sur.....	123
Gráfica 74. Fuentes de todas las especies exóticas, por ambiente acuático	124
Gráfica 75. Clasificación de las especies con calificación SIS crítica.....	125
Gráfica 76. Especies con calificación SIS “crítica”, por hábitat	126
Gráfica 77. Especies con calificación SIS “crítica”, por grupo y por hábitat	126
Gráfica 78. Importancia de las rutas, por grupo de especies con SIS crítica.....	128

Lista de cuadros

Cuadro 1. Estado y hábitat preferido de las especies de peces recolectadas en el río Bravo y sus afluentes.....	56
Cuadro 2. Especies exóticas registradas por Edwards y Contreras Balderas, 1991	57
Cuadro 3. Índices de presión sobre el agua	67

Los autores agradecen la valiosa colaboración prestada por Itzia Sandoval, del programa sobre biodiversidad de la CCA, en la preparación de la versión final para publicación de este documento.

Resumen ejecutivo

El presente informe se encomendó con la intención de revisar y evaluar los datos disponibles sobre invasiones biológicas (o, cuando se tuvo información, sus posibles efectos a futuro) en la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre. Este esfuerzo forma parte de una estrategia integral para contribuir a gestionar y proteger ecosistemas clave de América del Norte (regiones prioritarias para la conservación, RPC) de las repercusiones potencialmente nocivas de las especies invasoras, cuyo impacto en la biodiversidad y la integridad ecológica es apenas superado por la destrucción o modificación directa del hábitat.

La Laguna Madre de Texas y Tamaulipas es el único sistema lagunar costero e hiperhalino de América del Norte y es reconocido como el más extenso de los siete ecosistemas hiperhalinos conocidos del mundo. También es Reserva de la Biósfera de la Unesco y sitio RAMSAR. Específicamente, esta región comprende diversos ecosistemas subtropicales y costeros como manglares, dunas y humedales, que son hábitat de numerosas especies, incluidas tortugas y aves costeras endémicas. Además, la zona es crítica por ser corredor natural de aves acuáticas migratorias.

En la elaboración de este informe se emplearon diversos métodos analíticos: búsqueda extensa en fuentes de información revisadas por pares (NAS-USGS, Conabio, Conanp, GSMFC-GSARP-AIS, ISSG), planes de gestión oficiales y otras fuentes especializadas de información sobre especies invasoras de la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre, que geográficamente incluye los estados de Louisiana y Texas, en Estados Unidos, y el estado de Tamaulipas, en México. Todas las especies registradas se recopilaron en una base de datos y se clasificaron en seis grupos: plantas, invertebrados, peces, anfibios, reptiles y otros (virus, bacterias, protozoarios y hongos). Una vez integrada esta lista se preparó una ficha informativa de cada especie con los datos necesarios para hacer un análisis de rutas.

Los hallazgos indican la existencia de 373 especies exóticas (100 plantas, 85 invertebrados, 162 peces, 10 anfibios, cuatro reptiles, un mamífero, un hongo, dos protozoarios, cuatro bacterias y cuatro virus) presentes o registradas en estados vecinos a la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre, de las cuales 94 se consideran especies con impacto crítico.

De estas 94, a la fecha seis se encuentran sólo en México y 65 sólo en Estados Unidos; sólo dos son posibles especies invasoras registradas en estados vecinos a la región. Asimismo, 28 de las cien especies invasoras más dañinas incluidas en la lista de la UICN se encuentran en la región. Las fichas informativas comprenden evaluaciones más detalladas de cada especie.

De igual modo, el informe resalta que la mayor parte de las especies exóticas son trasplantes de la zona costera del Atlántico y que sus principales rutas de introducción se derivan de la pesca deportiva, la acuicultura, el agua de lastre, el comercio de especies para acuarios, el uso como carnada y los efectos del transporte costero. Sin embargo, la mayoría de las especies identificadas provienen de otros continentes; Asia es la fuente más importante de plantas exóticas.

Un problema común al abordar la cuestión de las especies invasoras es la falta de información biológica y ecológica suficiente que apoye el proceso de toma de decisiones para evitar o reducir los efectos en la biodiversidad. Es aquí donde tienen cabida enfoques metodológicos novedosos y promisorios como los desarrollados por la informática de la biodiversidad, ya que permiten generar información nueva a partir de recursos, productos de conocimiento y propuestas de política provenientes de diversas fuentes de datos.

El informe recomienda que para proteger los ecosistemas nativos de la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre es preciso aplicar acciones no sólo preventivas —como el Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés) y el análisis de riesgo— sino también bilaterales (Estados Unidos y México) coordinadas de control y erradicación de las especies que en este estudio se consideran críticas.

Introducción

Desde el punto de vista ecológico, América del Norte es un mosaico. Sus ecosistemas diversos y altamente productivos guardan recursos naturales valiosos y poseen características naturales únicas de importancia mundial y gran individualidad. Sin embargo, haciendo a un lado su riqueza ecológica, América del Norte se enfrenta a numerosos problemas ambientales (CCA, 1997), en su mayoría complejos, que trascienden las fronteras y son compartidos por las naciones. En particular, la región fronteriza entre Estados Unidos y México abarca diversos hábitats físicos únicos en términos de diversidad de recursos hídricos, minerales y biológicos. La región está interconectada por los lazos económicos, políticos y sociales de su herencia binacional, pero por desgracia el acelerado crecimiento demográfico y los cambios en el uso del suelo han hecho que los diversos y frágiles ecosistemas de la zona fronteriza sobrepasen los niveles de sustentabilidad.

Los problemas ambientales de preocupación particular comprenden:

- contaminantes en aguas subterráneas y superficiales y microorganismos derivados de actividades agrícolas, municipales, mineras e industriales;
- contaminación transportada por el aire proveniente de la quema de combustibles fósiles y otras actividades, y
- agentes patógenos, sustancias farmacéuticas, hormonas y otros contaminantes liberados en aguas residuales humanas y animales tratadas y sin tratar (USGS, 2004, 2007).

Un grave problema ambiental que apenas comienza a considerarse en el ámbito bilateral es la presencia de *especies invasoras*¹ en los ecosistemas compartidos. De hecho, a las especies introducidas se les considera una amenaza más grave para la biodiversidad nativa que la contaminación, la explotación y las enfermedades combinadas (Simberloff, 2000). Las

¹ El Plan Nacional de Gestión de Especies Invasoras (*National Invasive Species Management Plan*, NISMP) de Estados Unidos define el término *especie invasora* como aquella “que no es nativa del ecosistema en consideración y cuya introducción ocasiona o es probable que ocasione daño a la economía, al medio ambiente o a la salud humana” (ISAC, 2006).

especies invasoras exóticas son la segunda causa de disminución de la biodiversidad en todo el mundo, después de la destrucción del hábitat (Krasny, 2003), y la introducción de miles de especies no autóctonas a Estados Unidos y México se debe a las actividades humanas, tanto intencionales como no intencionales. Los organismos no autóctonos se definen por lo general como cualquier especie o material biológico viable (esporas de microorganismos, semillas y fragmentos de plantas, etcétera) que ingresa a un ecosistema que no forma parte de su área de distribución histórica, incluidos organismos transferidos de un país a otro. En ocasiones estos organismos no autóctonos se vuelven invasores y dañan el medio ambiente, la economía y la salud humana. Plantas y animales invasores nocivos han provocado daños multimillonarios al ambiente, los negocios y los consumidores de ambos países (Pimentel *et al.*, 2005; Aguirre y Mendoza, 2009). Las especies no autóctonas se introducen a través de numerosas rutas de dispersión (acuicultura, comercio de especies para acuarios, descarga de agua de lastre, repoblamiento de peces, etcétera).

El riesgo que corren las comunidades naturales, los servicios ecológicos que prestan y el uso sustentable de los recursos naturales vivos han llevado a la ciudadanía de América del Norte a buscar nuevos medios para proteger la riqueza de la vida de la región. Es importante reconocer el efecto en cascada o de onda de la pérdida de biodiversidad en las especies, los ecosistemas y la economía, que primero se deja sentir en la localidad, después en el país y por último en la región (CCA, 2003a). Por lo antes señalado, es de capital importancia la creación de una base de datos que reúna los efectos y las amenazas que representan las especies acuáticas invasoras en la región.

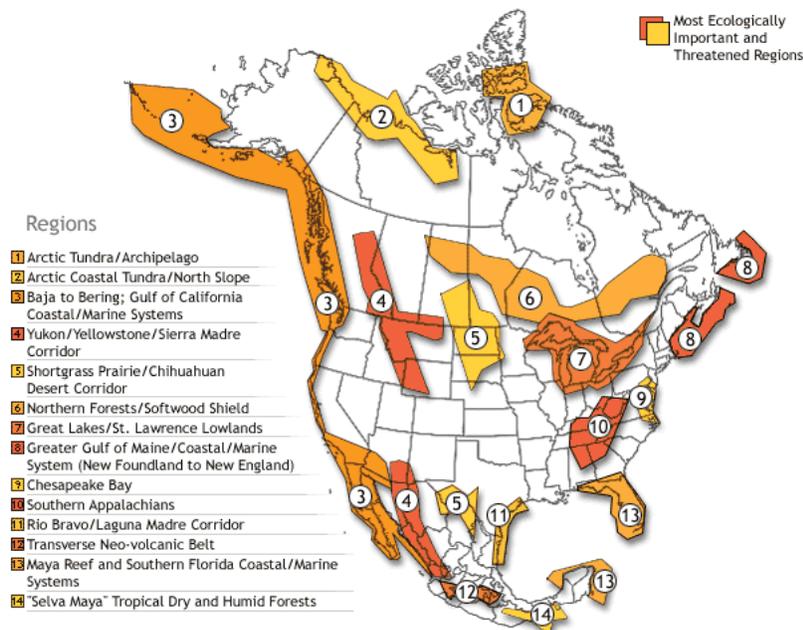
El presente estudio concuerda con una de las metas específicas del *Plan Estratégico de Cooperación para la Conservación de la Biodiversidad de América del Norte* de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA): "Promover las respuestas conjuntas a las amenazas enfrentadas por los ecosistemas, hábitats y especies de América del Norte" y tiene como tema central el análisis para la identificación de las especies acuáticas invasoras existentes y sus rutas. Se espera que la información generada por este proyecto contribuya a resolver los problemas que entrañan las especies invasoras mediante la aplicación de estrategias comunes en la región y, por tanto, a evitar invasiones futuras y el daño consecuente a los ecosistemas y las economías de los países.

Antecedentes

Una de las etapas fundamentales del Plan Estratégico de Cooperación para la Conservación de la Biodiversidad de América del Norte de la CCA fue la determinación de regiones importantes para la conservación de la

biodiversidad. Con este propósito la CCA organizó en 2000 un taller en que se identificaron 14 regiones de importancia fundamental en los que América del Norte debe concentrar su atención, con base en el significado regional biológico y ecológico y los altos grados de amenaza.

Gráfica 1. Las 14 regiones ecológicamente más importantes y amenazadas de América del Norte (CCA)



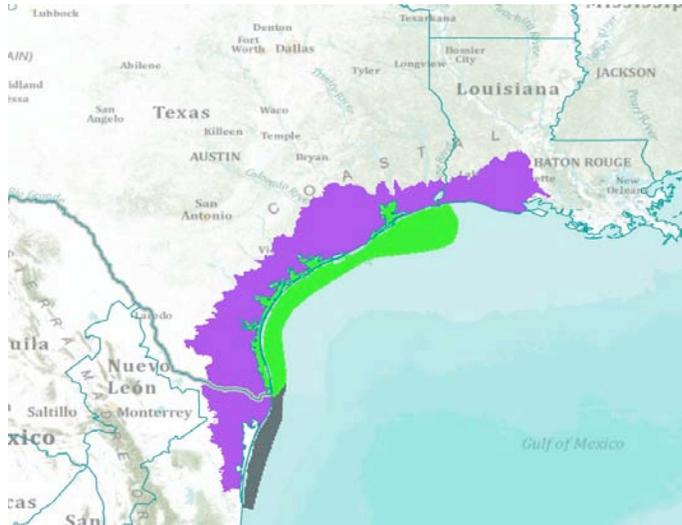
The Nature Conservancy (TNC) había participado en otras ocasiones con la CCA en la elaboración de criterios y sistemas para evaluar las amenazas representadas por las especies invasoras para las 14 regiones prioritarias para la conservación (RPC) de la CCA (Burgiel y March, 2008). El 18 de junio de 2009 se celebró una reunión en la que participaron diferentes dependencias gubernamentales y miembros del grupo asesor de especies invasoras de México con objeto de seleccionar una región que México pudiera remitir a los miembros del Grupo de Trabajo sobre Conservación de la Biodiversidad (GTCB). Al hacerse la revisión y calificación de los criterios del informe de TNC, la región más destacada para ser objeto de acción fue el corredor Río Bravo-Laguna Madre (región 11).

Importancia de la región 11

En las 14 regiones prioritarias para la conservación de la CCA, el corredor Río Bravo-Laguna Madre (región 11) no se refiere en exclusiva a la Laguna Madre, sino al corredor de una ecorregión, el corredor Laguna Madre y delta del río Bravo, que comprende ambientes tanto terrestres como de agua dulce.

Las obras de consulta sobre la zona son numerosas (más de 1,300 según Tunell y el Proyecto de Inventario de Recursos Transfronterizos [*Transboundary Resource Inventory Project*]); de entre ellas se consultaron libros y artículos² seleccionados en el curso de la compilación del siguiente resumen.

Gráfica 2. Mapa de la ecorregión 11



La Laguna Madre de Texas y Tamaulipas es el único sistema lagunar costero e hiperhalino de América del Norte y el más grande del mundo. Con una extensión de 455 km de costa en el sur de Texas y el noreste de México, la laguna se divide en dos cuerpos de agua separados por 75 km del delta del río Bravo. Cada laguna tiene una longitud aproximada de 185 km y está dividida en subunidades; las lagunas Madre superior e inferior de Texas están separadas por los islotes que emergen durante la bajamar, en tanto que a las porciones norte y sur de la Laguna Madre de Tamaulipas las separan llanuras expuestas por la bajamar —o llanuras mareales— en El Carrizal. Ambos sistemas lagunares están protegidos al este por barreras y penínsulas, y sus costas hacia el continente colindan con extensos ranchos ganaderos, tierras agrícolas y matorrales de la provincia biótica tamaulipeca. La laguna en sí mide apenas ocho kilómetros en su punto más ancho y tiene una profundidad promedio de menos de un metro. Dada su poca profundidad, el agua se evapora con mucha rapidez y se generan condiciones hiperhalinas que crean un área de cría de primera para peces, camarón y moluscos.

² Gunter, 1967; Hildebrand, 1969; Conner *et al.*, 1989; TWDB y TPWD, 1992; Conabio, 2000; The Nature Conservancy of Texas, 2001; Tunnell y Judd, 2001; Pronatura-UAT-Conanp, 2002; Tunell *et al.*, 2002; Evaluación Alianza para el Campo, 2006; Barraza y Calnan, 2006; Onuf, 2007; Pronatura Noreste, 2009, y TNC-Pronatura-Conanp, 2009.

Gráfica 3. Imagen de satélite de la Laguna Madre



Fuente: SNIB-Conabio, 2009.

La Laguna Madre es un complejo mosaico de hábitats, por ejemplo, aguas abiertas y bahías de poca profundidad, lagunas, lechos de pastos marinos, llanuras de lodo y mareales, dunas costeras, islas, pastizales de inundación estacional, manglares, matorrales espinosos, mezquitales y comunidades tolerantes a la sal, dominadas por la espartina del golfo.

La Laguna Madre (véase la gráfica 3) es perfecto ejemplo de un recurso compartido. Se trata de una unidad ecosistémica fácilmente identificable por los sectores interesados en ambos lados de la frontera como fuente de riqueza económica y ecológica de la región (Barraza y Calnan, 2006). Más aún, la importancia de la ecorregión Río Bravo-

Laguna Madre se basa en los vínculos entre áreas prioritarias para la conservación (áreas protegidas nacionales, sitios GAP marinos y terrestres, hábitats críticos) y corredores biológicos.

Este vasto paisaje de estuarios, playas, bahías poco profundas, lagunas, pantanos salinos, pastizales, matorrales espinosos, robledales y pequeños bosques de palmas nativas que en conjunto forman la Laguna Madre es uno de los tesoros naturales más bellos y de mayor diversidad biológica de América: un sitio especial, una región con una enorme variedad de recursos naturales, algunos abundantes, otros raros y frágiles (The Nature Conservancy of Texas, 2001).

La laguna, que se extiende 277 millas a lo largo del litoral en el sur de Texas y el noreste de México, es reconocida por sus vastas praderas de pastos marinos, enorme población de aves en invernación y terrenos de abundante pesca.

Desde el ángulo de la biodiversidad, la ecorregión Río Bravo-Laguna Madre se distingue de las demás áreas por las razones que se enumeran enseguida.

- Constituye el más grande de los siete ecosistemas hipersalinos conocidos del mundo, con importantes pantanos y ciénagas intermareales que alcanzan las 50,800 hectáreas y una considerable riqueza de humedales (DOF, 2005).
- La Laguna Madre es una *reserva de la biosfera de la red El Hombre y la Biosfera (MAB) de la Unesco*.³ Esta región en particular tiene gran variedad de bosques tropicales y costeros, incluidos manglares. El mosaico de sus ecosistemas tan diversos incluye dunas y humedales que son hábitat de muchas especies, como tortugas endémicas y aves playeras. La importancia de esta zona como corredor biogeográfico natural y posible zona de transición se aprecia al comparar el elevado porcentaje (59 por ciento) de aves acuáticas migratorias en los registros de la diversidad de aves del área con el porcentaje de especies residentes (38 por ciento). Además, las zonas intermareales y las playas son hábitat muy importante de aves costeras. El área se localiza en la ruta de migración del golfo, la más importante de la región para aves rapaces. Ya se aplican dos planes de gestión ecológica para mitigar el deterioro causado por el impacto del hombre en los recursos naturales⁴ (Unesco, 2009).
- La región fue designada sitio Ramsar⁵ 1362 (véase la gráfica 4) (Ramsar, 2009).
- Forma parte del territorio considerado por la Ley de Conservación de Humedales de América del Norte (*North American Wetlands Conservation Act*)⁶ (Conanp, 2006).

³ El Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) de la Unesco se estableció en 1977 con el fin de favorecer un enfoque interdisciplinario para la investigación, la formación y las comunicaciones en materia de conservación de los ecosistemas y el uso racional de los recursos naturales. Las reservas de la biosfera son áreas protegidas locales que buscan mantener una relación equilibrada y sostenible entre el hombre y la naturaleza. La Red Mundial de Reservas de la Biosfera es una lista de estas reservas, diseminadas en países de todas las regiones del mundo.

⁴ Pronatura Noreste, A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y The Nature Conservancy, *Plan de Conservación para la Laguna Madre y su área de influencia*, Tamaulipas, México, 2008; The Nature Conservancy, NOAA, Texas Coastal Management Program, *Conservation Plan for the Texas Portion of the Laguna Madre*, 2001.

⁵ La Convención sobre Humedales de Importancia Internacional, llamada Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

⁶ Esta ley fue aprobada para apoyar actividades emprendidas al amparo del Plan de Manejo de las Aves Acuáticas de América del Norte (*North American Waterfowl Management Plan*), acuerdo internacional que provee una estrategia para la protección a largo plazo de humedales y hábitats asociados de tierras altas requeridos por las aves acuáticas y otras aves migratorias en América del Norte.

Gráfica 4 Sitios Ramsar en México



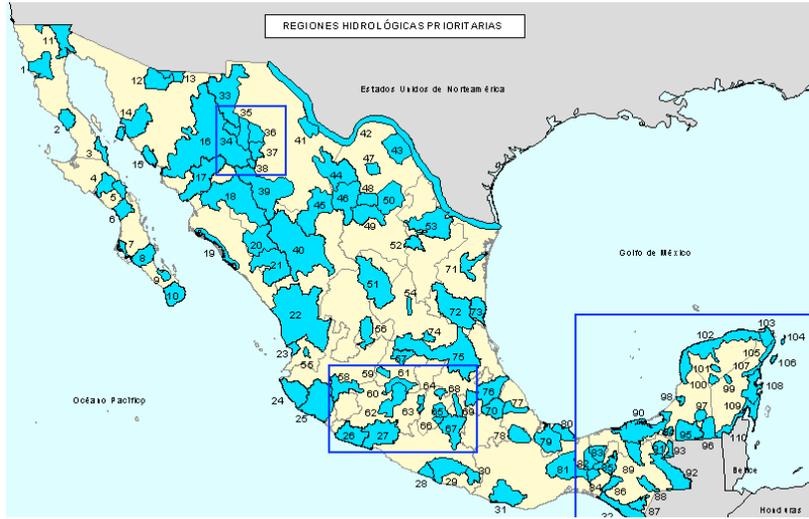
Fuente: Conanp, 2009.

- Parte de la zona se considera región hidrológica prioritaria⁷ (véase la gráfica 5).
- La zona se considera región marina prioritaria de México (véase la gráfica 6).
- La región es un sitio costero y de margen continental prioritario para la conservación de la biodiversidad en México (véase la gráfica 7).

Su alcance se amplió para incluir la conservación de todos los hábitats y aves asociadas a ecosistemas de humedales.

⁷ La identificación de las Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de México corrió a cargo de expertos de universidades, institutos de investigación e instituciones privadas y gubernamentales, así como ONG (Conabio, Conanp, FMCN, Pronatura, Cipamex, CCA, David and Lucile Packard Foundation, WWF, USAID, TNC, BirdLife International y otros).

Gráfica 5. Regiones hidrológicas prioritarias en México



Fuente: Arriaga Cabrera *et al.*, 2009.

Gráfica 6. Regiones marinas prioritarias de México

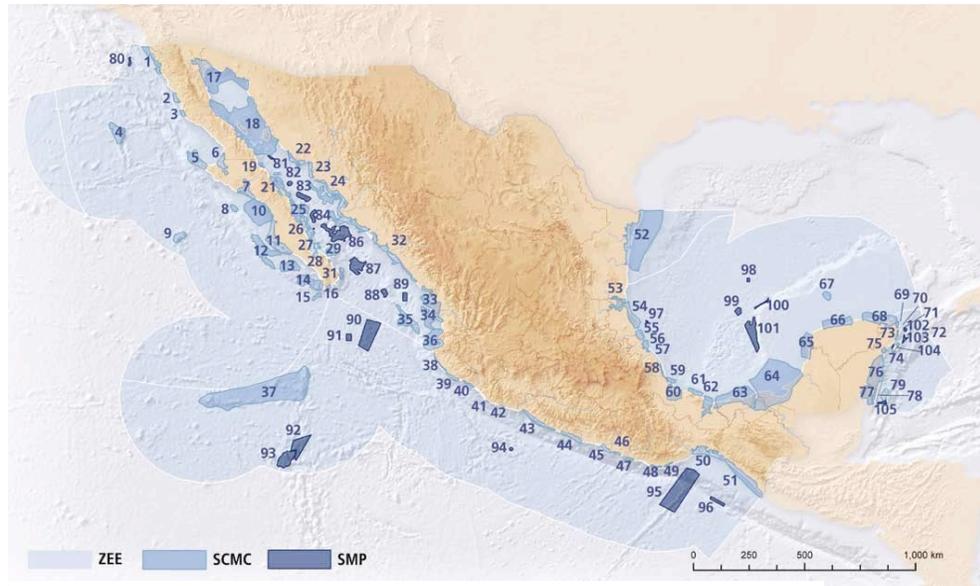


Fuente: Arriaga Cabrera *et al.*, 2009.

- La rica diversidad biológica que posee la región de la Laguna Madre de Tamaulipas se debe a su ubicación, ya que se encuentra entre dos de las principales regiones biogeográficas del mundo que atraviesan México: la Neártica (en América del Norte) y la Neotropical (Centroamérica y América del Sur). Recibe drenaje de dos importantes regiones hidrológicas, la cuenca del río Bravo y la cuenca de los ríos San Fernando-Soto La Marina, y tiene la influencia hidrológica de dos provincias marinas, la Carolineana y la Caribeña, lo que da origen a

diversos tipos de climas y regímenes de precipitación y humedad, además de que constituye el límite norte de la vegetación tropical, como manglares y selvas tropicales (DOF, 2005).

Gráfica 7. Sitios costeros, de las márgenes continentales y de altamar, prioritarios para la conservación en México



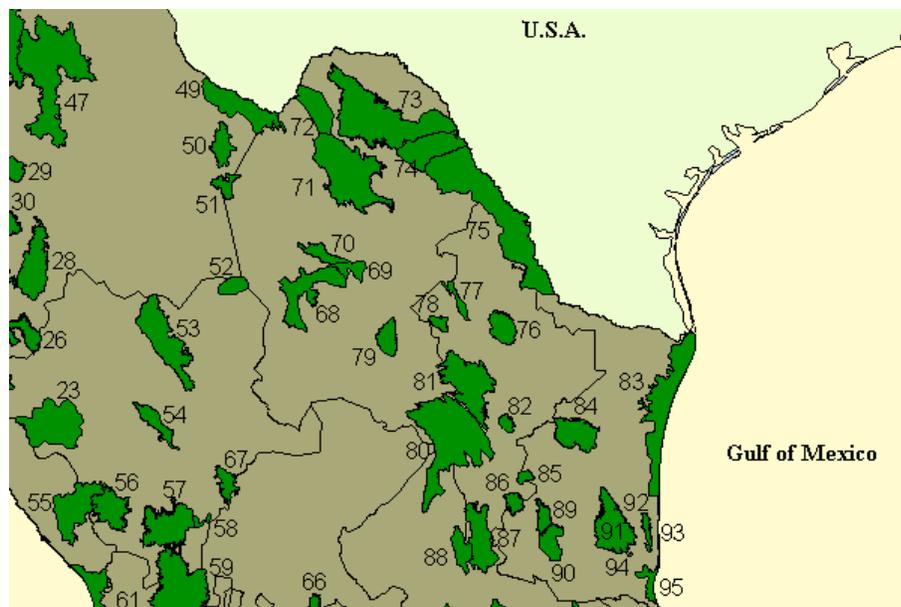
Fuente: Conabio-Conanp-TNC-Pronatura, 2007.

- Existen cuatro especies de mangle en esta región: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), que se encuentran sujetas a protección especial conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, las cuales proporcionan refugio en las primeras etapas de desarrollo a diversas especies de crustáceos y peces de importancia económica, así como a especies de aves para la anidación en la época de reproducción (DOF, 2005).
- Se ha considerado que la productividad primaria de las ciénegas inundadas es semejante a la de los pastos marinos, lo que permite que se desarrollen comunidades de invertebrados bénticos que transforman la productividad primaria en biomasa animal, indispensable para los consumidores secundarios, como cangrejos, peces y aves (DOF, 2005).
- La región es sitio de desove de la tortuga lora (*Lepidochelys kempii*), especie en peligro de extinción. En este caso, las especies invasoras son

de particular preocupación, ya que pueden destruir los huevos de las tortugas marinas o dañar a las crías recién nacidas.

- Se ha considerado que la productividad primaria de las ciénegas inundadas es semejante a la de los pastos marinos, lo que permite que se desarrollen comunidades de invertebrados bénticos que transforman la productividad primaria en biomasa animal, indispensable para los consumidores secundarios, como cangrejos, peces y aves (DOF, 2005).
- El pez mosquito (*Gambusia affinis*) y la carpita del Bravo (*Notropis jemezanus*) son dos especies de peces en peligro de extinción que habitan la región (Carrera, 2004) y pueden ser desplazadas o ser objeto de las prácticas predatorias de los peces exóticos introducidos.
- La zona posee también importantes áreas de vegetación terrestre endémica como el matorral tamaulipeco, con registros de ébano endémico (*Phitecellobium ebano*) (DOF, 2005). Matorrales desérticos de mezquite (*Prosopis glandulosa*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y chaparro amargoso de Texas (*Castela tortuosa*), entre otros, son las especies de vegetación terrestre más representativas (Ramsar, 2009).
- El área es considerada región terrestre prioritaria (véase la gráfica 8), dada su importancia como corredor biológico y porque constituye una zona de transición de la fauna neártica vinculada a los humedales.

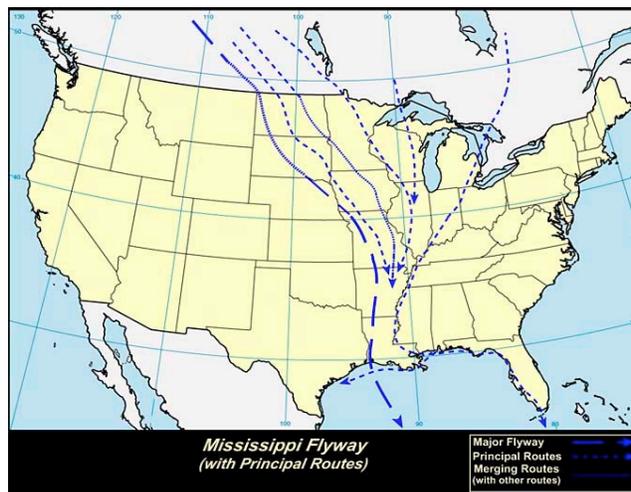
Gráfica 8. Regiones terrestres prioritarias de México



Fuente: Arriaga Cabrera et al., 2009.

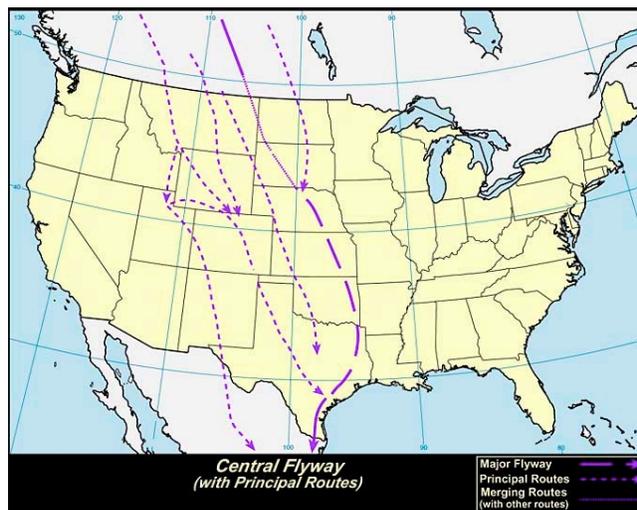
La región constituye una de las rutas migratorias de aves más importantes (la del Misisipi y la del centro de América del Norte) (véanse las gráficas 9 y 10) (DOF, 2005; BirdNature, 2009). De hecho es un sitio en que confluye la migración de más de 450 especies de aves acuáticas, semiacuáticas y terrestres, donde invierna 15 por ciento del total de las aves migratorias que llegan a México provenientes de Canadá y Estados Unidos, con lugares de refugio, alimentación y anidación permanente para 144 especies de aves residentes, de las cuales 2.7 por ciento son endémicas de México (DOF, 2005).

Gráfica 9. Ruta migratoria de aves del Misisipi



Fuente: North American Migration Flyways, <<http://www.birdnature.com/flyways.html>>.

Gráfica 10. Ruta migratoria de aves del centro de América del Norte



Fuente: North American Migration Flyways, <<http://www.birdnature.com/flyways.html>>.

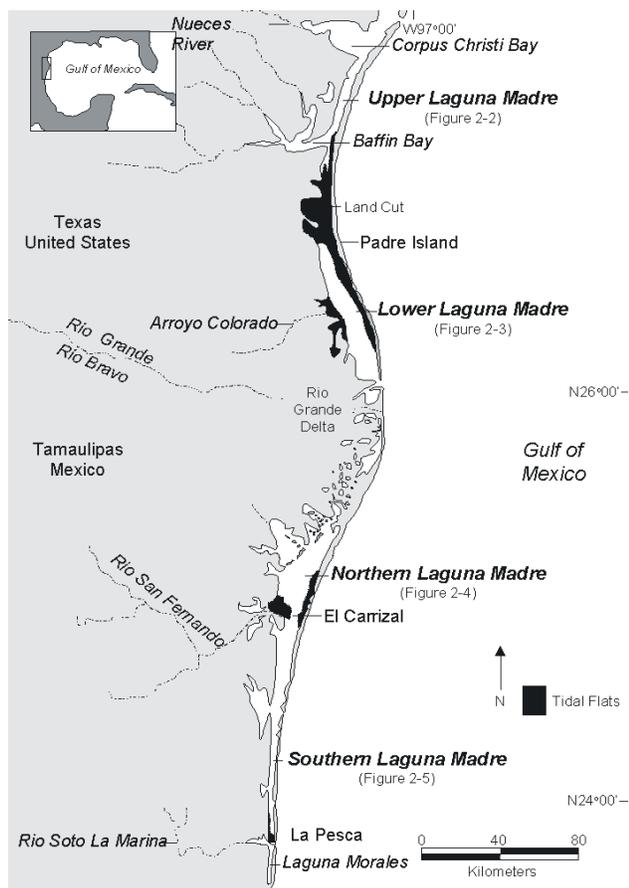
- En virtud de todo esto, Ducks Unlimited (Ramsar, 2009) ha catalogado la zona como el humedal de más alta prioridad (de 28) para las aves migratorias en México, y también como Área de Importancia para la Conservación de las Aves, AICA (Conanp, 2006).
- Diversas especies de aves habitan la región. La laguna alberga a 26 especies de anseriformes (68.42 por ciento de las especies de este orden distribuidas en México), entre las cuales figura un número significativo de patos de cabeza roja (*Aythya americana*) —con una población promedio de 245,000 individuos (36 por ciento de la población mundial)— y concentraciones de importancia mundial de patos tepalcate (*Oxyura jamaicensis*). La Laguna Madre también posee casi 50 por ciento de las garzas rojas (*Egretta rufescens*) que migran a México y la única colonia reproductora de pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*) en ambientes costeros de México. Además, proporciona un sitio para la congregación de 100,000 aves playeras que representan la mayor concentración del país, así como patos y gansos en el extremo sur de su rango de distribución (Pérez Arteaga *et al.*, 2002; DOF, 2005; Conanp, 2006).
- La zona también constituye un hábitat crítico para la distribución del chorlo chiflador (*Charadrius melodus*), en peligro de extinción (NOM-059), pues 6 por ciento de la población total pasa el invierno en puntos específicos de la barra costera de la Laguna Madre (Conanp, 2006).
- Desde 2000, cinco zonas ubicadas en la región (Refugio Nacional de Vida Silvestre Laguna Atascosa, Reserva de la Isla del Padre Sur, Rancho Rincón de Anacahuítas, Ribera Nacional Isla del Padre y el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo) se han reconocido como Sitios de Importancia Internacional por la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP, 2009).
- La ecorregión Río Bravo-Laguna Madre tiene vínculos estrechos con otras RPC de la CCA, como la región 13 (“Arrecife maya y sistemas costeros y marinos del sur de Florida”). El Departamento del Interior de Estados Unidos y la Semarnat, la dependencia mexicana responsable de la conservación del medio ambiente y los recursos naturales, identificaron la Laguna Madre como “zona prioritaria sensible” para los proyectos de protección y conservación de los recursos naturales (Good Neighbor Environmental Board, 1998).
- Además de estas características más conocidas de la Laguna Madre, hay otros rasgos relevantes y únicos, como las llanuras expuestas por las mareas de viento y las dunas de arcilla, que son las más extensas de América del Norte; la única cepa de ostiones adaptados a alta salinidad de América del Norte y, en Texas, la única costa rocosa natural, el único arrecife de serpúlidos y las únicas formaciones de oolitos (carbonato de calcio) y de cristal de yeso.

Laguna Madre

Geografía

La Laguna Madre está dividida naturalmente en dos segmentos por una extensión de 20 km de arena y marismas que rara vez se inundan (véase la gráfica 11). La Laguna Madre superior se extiende 80 km al norte, desde las llanuras hasta su punto limítrofe en la esquina sureste de la bahía de Corpus Christi, y presenta una anchura de entre 3 y 6 km, mientras que la Laguna Madre inferior se extiende 95 km al sur, desde las llanuras hasta a 5 km de la frontera mexicana, con un ancho que fluctúa entre 3 y 12 kilómetros.

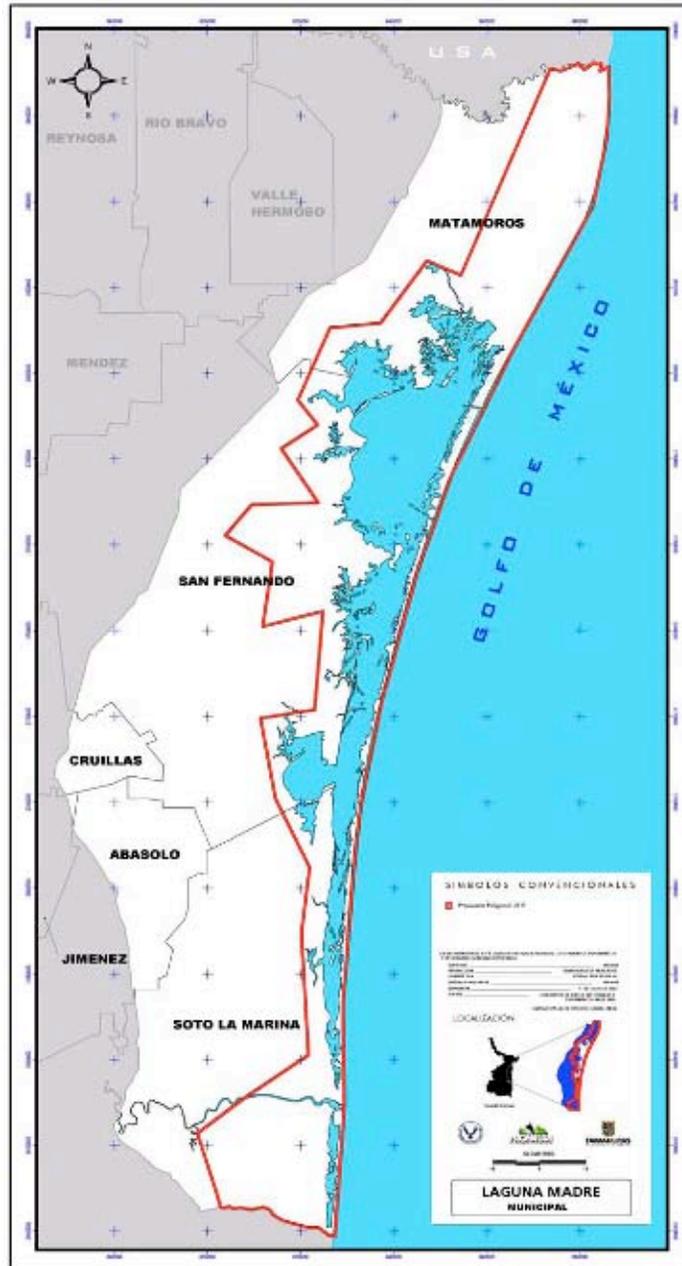
Gráfica 11. La Laguna Madre de Texas y Tamaulipas



Fuente: Tunnell y Judd, 2002.

La Laguna Madre de Tamaulipas se ubica en la planicie costera del golfo de México (véase la gráfica 12), 120 km al oeste de Ciudad Victoria, la capital del estado. Se ubica en la región Neártica en la provincia de la costa nororiental. De norte a sur, la Laguna Madre es paralela a la línea de la costa y está delimitada por una barra arenosa de 223 km de longitud y presenta una anchura aproximada de 3 km en la parte sur y 30 km en la norte.

Gráfica 12. Municipios comprendidos en el área natural protegida Laguna Madre de Tamaulipas



Fuente: Pronatura, UAT, Conanp, 2002.

El ecosistema Laguna Madre comprende una superficie aproximada de 2,028 km² de hábitats diversos que se extienden 185 km a lo largo de la costa norte de Tamaulipas. En esta área protegida están el delta del río Bravo en el extremo norte de la laguna y laguna Morales en su extremo sur, lo que arroja un total de 485,647 hectáreas y sus islas barrera.

Origen, desarrollo y geología

Según la datación con radiocarbono, la Laguna Madre empezó a formarse hace unos 4,500 o 5,000 años cuando disminuyó la subida del nivel del mar posglacial y las barras de arena mar adentro (como la isla del Padre) comenzaron a formarse; la laguna se cerró hace de 2,500 a 2,800 años. Las condiciones de alta salinidad al parecer se desarrollaron primero en la bahía de Baffin hace unos 4,300-5,000 años.

El delta del río Bravo dividió la Laguna Madre de Texas y Tamaulipas en dos sistemas durante el Pleistoceno tardío y principios del Holoceno. La laguna posee importantes características geológicas o biogeológicas, como extensas llanuras expuestas por las mareas de viento y dunas de arcilla, roca de playa (coquina) muy localizada, arrecifes de serpúlidos y oolitos (carbonato de calcio) precipitados geoquímicamente, así como cristales y rosetas de yeso.

Población

Cinco condados con una población de 637,228 habitantes circundan la laguna de Texas y 499,784 personas de tres municipios residen alrededor de la laguna de Tamaulipas. Los centros de población a lo largo de las costas de la Laguna Madre incluyen seis ciudades y poblados en Texas con 277,631 personas; en Tamaulipas hay 34 ciudades y pueblos con una población de 9,738 habitantes que viven en las orillas y 1,354 más que radican en las islas de la laguna.

Clima

El clima de la región se clasifica como estepa semiárida o subtropical (también como clima de tipo subhúmedo a semiárido subtropical de la costa este), con variabilidad extrema en la precipitación y la evapotranspiración, que es dos o tres veces más alta que la precipitación. Vientos persistentes del sureste predominan durante la mayor parte del año, interrumpidos por fuertes vientos del norte durante el invierno; la humedad y las temperaturas son altas y tormentas tropicales o huracanes pueden causar cambios importantes en el sistema.

El clima del área de la Laguna Madre es variado y pertenece a dos grupos climáticos principales (de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García): la parte norte de la laguna se clasifica como clima (A)Cx', templado semicálido subhúmedo con lluvias escasas durante todo el año. La parte central se clasifica como clima BS1(h')hw, árido, semiárido muy cálido y cálido con lluvias en verano. La parte sur es de clima (A)C(wo), templado, semicálido con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvias en invierno de entre 5 y 10.2 por ciento. La precipitación promedio anual es de 682 milímetros.

Ciclos del agua

La salinidad extrema de más de 100 ppt por lo general registrada en ambos sistemas se ha moderado en las últimas décadas a consecuencia de los cambios experimentados en la circulación del agua (en Texas, el Canal Intracostero del Golfo [GIWW] en 1949 y el Paso Mansfield en 1962 y, en Tamaulipas, cuatro pasos dragados, con muros de contención, que conectan el golfo con la laguna, en los años setenta).

Antes de los años setenta, la aportación de agua de los huracanes provocaba ciclos de marcados altibajos en la pesca, en los que una gran producción pesquera alternaba con aguas salobres, casi estériles. El ciclo incluía una laguna muy productiva durante varios años luego de un huracán húmedo, pero después, conforme se iban cerrando los pasos de las islas barrera, la laguna se cerraba por completo y se hacía cada vez más salina, registrándose una pérdida gradual de recursos pesqueros y de biodiversidad. Durante las sequías prolongadas, o periodos largos entre huracanes, la laguna empezaba a secarse, el nivel del agua disminuía y la salinidad se incrementaba por la evaporación. Cuando la salinidad alcanzaba 150 ppt, sólo había artemia (camarón de salmuera). La mayor salinidad registrada fue de 295 ppt, nivel en cual la sal se precipitaba a lo largo de la línea costera y en el fondo de la laguna. Ocurría entonces que algún huracán abría los pasos del golfo y drenaba el sistema con agua de lluvia, dando lugar al reinicio del ciclo. Los huracanes de mayor intensidad de 1909, 1933 y 1967 demostraron este ciclo en Tamaulipas, y es probable que un ciclo similar haya existido en Texas antes de la canalización de ese sistema (el GIWW quedó terminado en 1949 y el paso Mansfield en 1962).

Hidrografía

No hay ríos que drenen hacia la laguna en Texas, y en Tamaulipas sólo uno, el San Fernando (también conocido como río Conchos), desemboca en la laguna. Además de este escaso aporte de agua dulce, la hidrografía de la Laguna Madre se caracteriza por una elevada evaporación, estrecho prisma

de mareas y escasa profundidad, todo lo cual favorece su hipersalinidad característica.

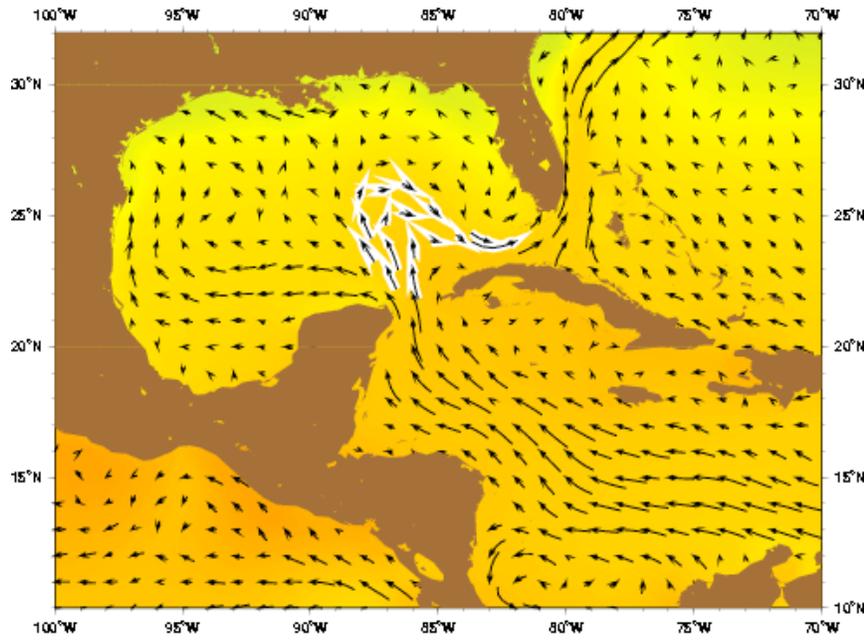
Las altas salinidades se han moderado debido a las alteraciones hidrológicas inducidas por el hombre en ambos sistemas. Antes de la terminación del Canal Intracostero del Golfo (GIWW) en 1949, una extensión de 20 km de arena y llanuras lodosas emergentes habían dividido la laguna en cuencas separadas, que se conectaban sólo cuando el agua subía demasiado. Hoy día el GIWW conecta de manera permanente las aguas de las lagunas Madre superior e inferior. Esta conexión hidrológica, junto con las corrientes producidas por los vientos prevalecientes orientados a lo largo del eje longitudinal de la laguna, mejoraron la circulación entre las cuencas y con el golfo de México y moderaron el grado de hipersalinidad de las aguas de la laguna. Desde que se concluyó el canal, la salinidad nunca se eleva muy por arriba de 50 ppt.

Circulación y corrientes

El agua de la corriente de Yucatán y la corriente de Florida ingresa al golfo a través del canal de Yucatán, circula en el sentido de las manecillas del reloj como la corriente del Lazo en torno al golfo de México (véase la gráfica 13) y sale por el estrecho de Florida, para formar finalmente la corriente del Golfo. Porciones de la corriente del Lazo con frecuencia se rompen y forman remolinos o giros que afectan los patrones regionales de la corriente. En entornos cercanos a la costa, con frecuencia se crean corrientes más pequeñas, producto de las mareas o del viento (Gore, 1992). La corriente del Lazo es variable en posición. Algunas veces está casi en línea directa con la corriente de Florida y la bifurcación en el flujo ocasiona una recirculación permanente en el sentido de las manecillas del reloj conocida como vórtice cubano. Este rasgo puede ayudar a la corriente del Lazo a iniciar su expansión. Otras veces, la corriente del Lazo penetra en el golfo de México formando un flujo intenso en el sentido de las manecillas del reloj, alcanzando latitudes de hasta 29.1 N. En ocasiones, esta corriente llega a alcanzar el delta del río Misisipi o la plataforma continental de Florida. La corriente del Lazo retoma su configuración directa reduciendo poco a poco su extensión para formar un anillo grande y cálido que se propaga hacia el oeste a velocidades de 2 a 5 km diarios. La extensión de 900 km en la posición de la corriente del Lazo evoca la posición tan variable en la región de la extensión de la corriente del golfo (Gyory *et al.*, 2009).

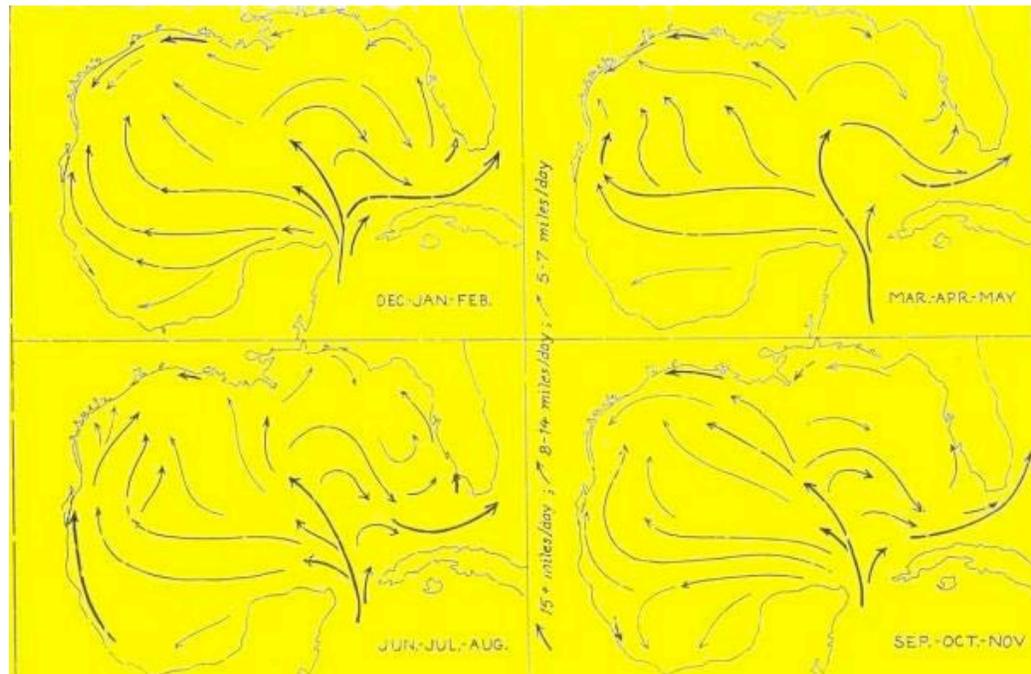
La corriente del Lazo alimenta la corriente de Florida que transporta grandes cantidades de calor hacia el polo, fluye en superficie llevando aguas de origen tropical al golfo de México y es alimentada por la corriente del Caribe y la corriente de Yucatán (Gyory *et al.*, 2009).

Gráfica 13 Corrientes en el golfo de México



Fuente: Heppeth, 1953.

Gráfica 14 Corrientes en el golfo de México, por trimestre



Fuente: Heppeth, 1953.

El curso dominante de las corrientes costeras internas es hacia el oeste y el sur, o en sentido contrario a las manecillas del reloj, en la parte noroeste del golfo por lo menos hasta Big Shell en la isla del Padre, donde parece haber una convergencia con una corriente hacia el norte a lo largo de la orilla. Si las corrientes del golfo de México en conjunto se resumen por trimestres, se observan diferencias estacionales (véase la gráfica 14), más pronunciadas en la parte noreste. Las corrientes a unas cuantas millas de la costa de Texas toman dirección norte durante el trimestre de verano, y este rumbo norte también es evidente en el trimestre de primavera. En ocasiones, las redes de arrastre de las embarcaciones de pesca comercial experimentan diferencias pronunciadas en las corrientes superficiales y del fondo en las aguas poco profundas cercanas a la orilla, en especial durante los meses de verano; las direcciones inversas de las corrientes superficiales y del fondo dificultan este tipo de pesca (Heppeth, 1953).

Huracanes

La literatura disponible indica que, en general, los huracanes no causan perjuicios a largo plazo a los sistemas costeros no modificados y las más de las veces producen beneficios netos a lo largo de la costa del golfo de Estados Unidos. Es cierto que los huracanes en principio suelen causar erosión, pero también es cierto que a menudo generan una gran afluencia de sedimentos inorgánicos, creando nuevos humedales y contribuyendo a la conservación de los ya existentes. La formación de depósitos de inundación tiene efectos desastrosos en los lugares donde ha habido desarrollo cultural, pero en zonas naturales, como en el caso de la Laguna Madre, estos depósitos forman parte del ciclo natural del desarrollo de la línea costera y contribuyen a la diversidad y productividad de los hábitats. La precipitación pluvial durante perturbaciones tropicales es responsable de gran parte de la precipitación total a lo largo del golfo norte. El efecto inmediato de los huracanes puede ser la disminución de las poblaciones de algunas especies, pero éstas suelen recobrase con rapidez. En general, los huracanes periódicos parecen incrementar la productividad de los sistemas naturales, pero con frecuencia tienen efectos graves y duraderos en los humedales que han sido modificados por la acción del hombre, como en el caso de embalses parciales o completos.

Desde 1900, 40 huracanes fuertes han cruzado la costa del golfo (desde Texas hasta el asa de la Florida); siete fueron de categoría cuatro (1900, 1919, 1915 (2), 1932, 1957 y 1961). Los huracanes *Frederic* (1979) y *Katrina* (2005) casi alcanzaron la categoría cuatro al tocar tierra y sólo uno de categoría cinco —el *Camille*, en 1969— ha azotado la costa del golfo. Ha habido dos periodos significativos de incremento en la actividad de los ciclones tropicales en los estados del golfo. El primero de 1900 a 1920,

cuando once grandes huracanes cruzaron la costa del golfo, y el segundo de 1960 a 1980, con diez huracanes fuertes.

Los huracanes que golpean los estados del golfo suelen acercarse a la región a través del noroeste del mar Caribe y algunos de los mayores y más intensos se originan a miles de kilómetros en las profundidades del Atlántico tropical. Muchas tormentas que afectan a los estados del golfo también se desarrollan en el propio golfo de México. Los huracanes que azotan la costa atlántica de Florida a veces cruzan toda la península hasta llegar a uno de los estados del golfo. Cuando ello ocurre, los blancos preferidos son Louisiana o Texas. El huracán *Andrew* de 1992 es un ejemplo reciente (US Hurricanes Information, 2009)

El *Galveston* de 1900, el *Camille* de 1969 y el *Katrina* de 2005 (véase la gráfica 15) son los tres ciclones tropicales más devastadores que han azotado la costa del golfo en los últimos 110 años.

Gráfica 15. Imagen del huracán *Katrina*



Provincia biótica tamaulipeca

Esta provincia exhibe mayor diversidad de fauna que cualquier otra del estado de Texas y es importante como ruta de dispersión de especies tropicales que se desplazan en dirección norte y de especies de bosques templados y pastizales que se desplazan hacia el sur. Sin embargo, a pesar del valor de su biodiversidad, la provincia biótica tamaulipeca ha sufrido graves perturbaciones de origen antropogénico; por ejemplo, desde los años veinte más de 95 por ciento de los matorrales nativos originales del valle bajo del río Bravo han sido clareados y convertidos en terrenos agrícolas y urbanos.

Legado de los ranchos

Enormes ranchos del sur de Texas, como el King y el Kenedy, han protegido la línea costera sobre la margen continental de la laguna (y por tanto a la Laguna Madre), al no permitir el acceso ni proyectos de urbanización; en Tamaulipas existen condiciones similares, como en el caso del Rancho Rincón de Anacahuítas.

El ecosistema

La Laguna Madre se caracteriza por ser un estuario negativo o laguna hipersalina. Las alteraciones hidrológicas en la circulación del agua (dragado de canales y pasos) han cambiado el ecosistema: de excesivamente hipersalino (con más de 100 ppt) a hipersalino moderado (40- 80 ppt).

A diferencia de otros sistemas acuáticos, la base predominante de la cadena alimentaria de la laguna es la vegetación acuática sumergida (pastos marinos y algas), más que el fitoplancton.

En Texas el ecosistema está dominado por el hábitat de pastos marinos en la laguna y los llanos expuestos por las mareas de viento a lo largo de la costa. Sin embargo, en Tamaulipas el fondo desnudo predomina sobre los pastizales marinos en la laguna, y los llanos expuestos por las mareas de viento predominan sobre la costa con vegetación emergente, aunque no tan comúnmente como en Texas.

Al parecer, la biodiversidad acuática de la Laguna Madre es de apenas 35 a 45 por ciento en comparación con la de los estuarios normales o positivos al norte. La Laguna Madre superior y la bahía de Baffin tienen 938 especies, y 706 la Laguna Madre de Tamaulipas, frente a 2,043 especies en el área de la curva costera de Texas (con tres estuarios). No obstante, la laguna tamaulipeca está menos estudiada y podría ser más diversa de lo que se conoce dada su mayor abundancia de especies tropicales.

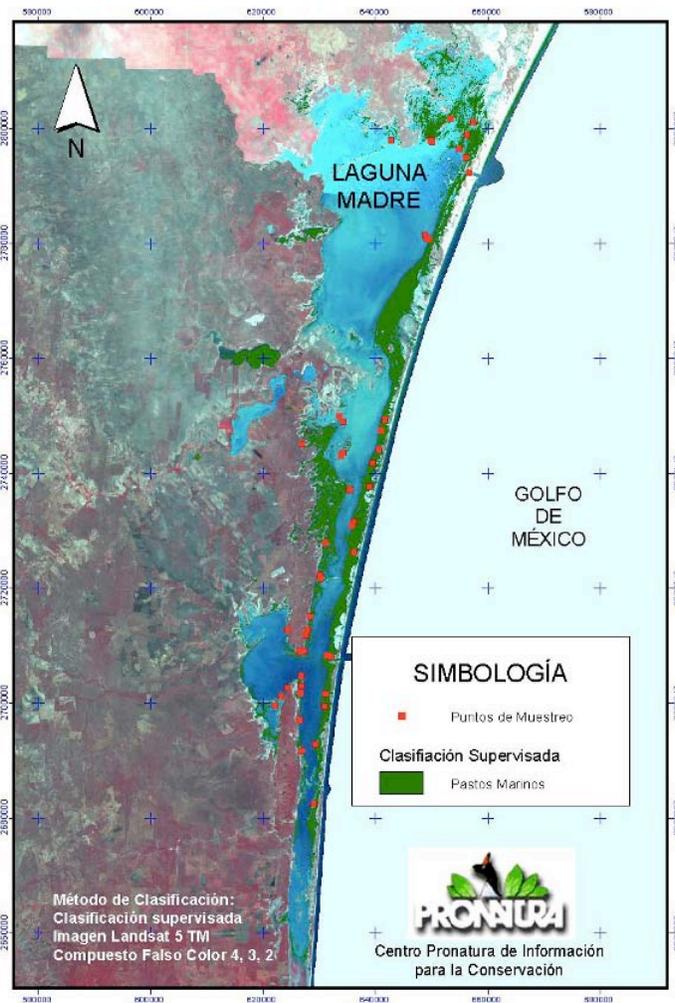
Pastizales marinos

Son varias las circunstancias que se conjugan para que la Laguna Madre, cuya profundidad promedio es de un metro, sea un ambiente propicio para los pastos marinos. Aunque la cuenca cartografiada de la laguna mide 15 veces más que su superficie de agua, la tierra circundante es tan llana y la precipitación tan escasa que la mayor parte de la cuenca en realidad no contribuye a la laguna, lo que provoca poca afluencia de nutrientes o partículas suspendidas y que las aguas de la laguna se conserven generalmente límpidas.

Entre las especies de pastos marinos autóctonos predomina el zacate de hojas delgadas (*Halodule beaudettei*), con menores cantidades de rupia

rostrada (*Ruppia maritima*), hierba estrella (*Halophila engelmannii*), hierba de tortuga (*Thalassia testudinum*) y hierba del manatí (*Cymodocea filiformis*). Esta última especie no se encuentra en la Laguna Madre de Tamaulipas, pero en su lugar está presente el pasto marino del género *Syringodium*. Con todo, la distribución de las especies en toda la región es muy dinámica y ocurren frecuentes cambios de composición (véase la gráfica 16).

Gráfica 16. Distribución de pastos marinos en la Laguna Madre de Tamaulipas



Fuente: Pronatura-UAT-Conanp, 2002.

Las zonas de pastizales marinos constituyen hábitats en extremo valiosos porque proveen de una estructura compleja a la columna de agua y los sedimentos. La importancia de esta estructura radica en que proporciona áreas de crianza, refugio y fondos ricos para el forrajeo de una amplia variedad de peces e invertebrados estuarinos, incluidas especies de

importancia comercial y recreativa. Los pastos marinos, como los pastizales de zacate de hojas delgadas de Texas y Tamaulipas, también constituyen un hábitat esencial para el forrajeo de aves migratorias en invierno. Por ejemplo, se estima que 77 por ciento de la población del pato de cabeza roja de América del Norte invierna en la Laguna Madre. Durante el invierno, el principal alimento de estas aves (>80 por ciento de su dieta) son los rizomas de zacate de hojas delgadas (Custer *et al.*, 1997).

El hecho de que la distribución de los pastizales marinos de Texas se concentre en la Laguna Madre (79 por ciento) obedece a diversos factores geográficos y climáticos. El aumento de la cobertura y el cambio en la composición de las especies ocurridos en la Laguna Madre de Texas durante los últimos 30 años se deben a la moderación de la salinidad, resultante de la construcción del GIWW y el paso Mansfield. De mediados de la década de 1960 a 1998, el área del fondo cubierta de vegetación disminuyó 2,856 ha (4 por ciento) en la laguna en conjunto. La yerba de tortuga pasó de estar apenas presente a dominar 11 por ciento del fondo de la laguna, en tanto que la hierba de manatí primero aumentó de 6 a 17 por ciento para después retroceder a 14 por ciento. Todos estos incrementos fueron a costa del zacate de hojas delgadas, que cubría 64 por ciento del fondo de la laguna en los primeros reconocimientos, pero había disminuido a 40 por ciento para 1998. Entre 1965 y 1974 desapareció la vegetación del fondo de un área de 118 km². A raíz de la observación de que la ausencia de vegetación del fondo podía estar relacionada con el GIWW y las partes contiguas naturalmente profundas de la laguna, se sugirió que la turbidez provocada por el dragado de mantenimiento del canal disminuía la luz y que quizá a eso se debía la pérdida de pastos marinos.

Llanuras expuestas por las mareas de viento

Estas llanuras cubren más de 1,440 km² de terreno adyacente a la Laguna Madre de Texas y Tamaulipas y ocupan un área de 917 km² de línea costera en la Laguna Madre de Texas y 508 km² en la de Tamaulipas. En muchas áreas, las dunas de arcilla forman una zona de transición continental entre las llanuras expuestas por las mareas de viento y la tierra firme. Las inundaciones y la exposición de estas llanuras son impredecibles, ya que son causadas por el viento, más que por las mareas astronómicas. Las llanuras expuestas por las mareas de viento son mucho más productivas de lo que parecen: convierten la biomasa vegetal en biomasa animal donde el agua se encuentra con la tierra, realizando la misma función que los pantanales en los climas menos áridos. En la Laguna Madre representan la mayor expansión continua del hábitat de invernación adecuado para las aves costeras entre las zonas de reproducción en el norte y los más distantes cuarteles de invierno en América del Sur. Son vitales para varias especies de aves protegidas por

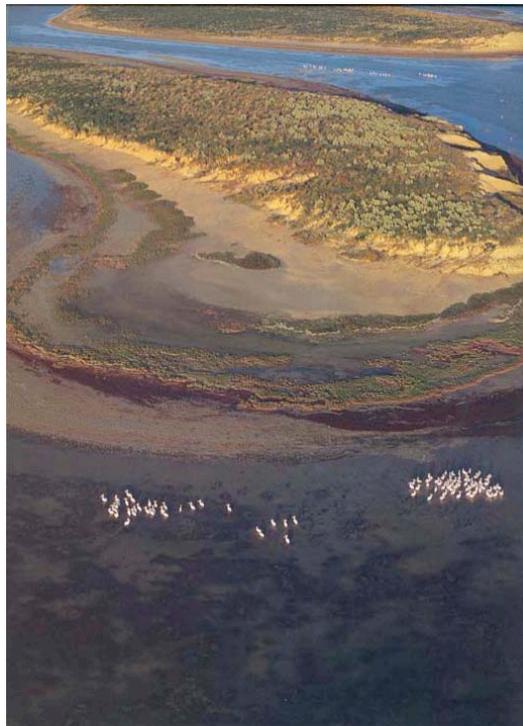
el gobierno federal, incluido el chorlo chiflador. Las graves pérdidas de superficie de estas llanuras desde los años cincuenta se deben en gran medida al aumento mundial en el nivel del mar, pero los impactos humanos también han contribuido.

Islas barrera

Hay más de 200 islas naturales en la Laguna Madre de Tamaulipas y menos de diez en la de Texas (Tunnell *et al.*, 2002), aunque hay cientos de islas creadas como producto de los dragados.

Las islas barrera son formaciones dinámicas que protegen a la Laguna Madre y proveen de hábitat a especies residentes y migratorias, como el halcón peregrino y el chorlo chiflador y de las nieves (véase la gráfica 17).

Gráfica 17. Isla barrera en la Laguna Madre de Tamaulipas



Fuente: Cantú *et al.*, 2005.

Son dos las islas barrera que protegen la Laguna Madre de Texas: la isla del Padre, que se extiende a todo lo largo de la Laguna y es la isla barrera más larga del mundo, y la isla Brazos (ahora una península). En Tamaulipas hay una península, barra el Conchillal, y tres islas barrera, barra Los Americanos, barra Jesús María y barra Soto la Marina, que protegen la laguna mexicana. Las playas de estas islas son hábitat de anidación de las tortugas lora, de carey, caguama y verde, que gozan de protección

federal. Las dunas de las islas son fundamentales para proteger el suelo continental de tormentas y huracanes.

La zonificación vegetal es similar en las islas barrera de Texas y Tamaulipas, aunque las áreas cubiertas de vegetación son menos extensas en la parte sur. Las islas barrera del sur de Texas y la costa norte de Tamaulipas tienen forma alargada y suelen ser más anchas en el extremo norte. Albergan

diversos tipos de hábitat, determinados por factores como la elevación, las fuerzas físicas y la geomorfología del contiguo golfo de México y las lagunas. Las zonas fisiográficas extienden la longitud de las islas e incluyen la zona intermareal (zona de rompimiento de las olas), la zona supramareal (desde la línea de marea alta hasta las dunas), dunas costeras, llanuras cubiertas de vegetación con estanques y marismas y llanuras expuestas por las mareas de viento con dunas en la parte posterior de las islas y marismas costeros en algunos lugares. El hábitat de la zona intermareal, las llanuras expuestas por las mareas de viento y las marismas costeras resienten más los efectos de las fuerzas hidrológicas y eólicas que las dunas terrestres y las llanuras con vegetación. Los estanques y las marismas de las llanuras cubiertas de vegetación son un componente integral de la relación ecológica de los sistemas de las islas barrera.

Al norte de El Mezquital se inicia un perfil de islas único que se extiende hacia el sur hasta el paso Boca Ciega, donde dunas bajas (ubicadas frente al mar delante de las dunas costeras) cubiertas de verdolagas (*Sesuvium portulacastrum*) prevalecen en casi toda la isla, extendiéndose de uno a tres kilómetros de ancho. Cerca del lado de sotavento de la península de la isla se alcanzan dunas extensas y sin vegetación de 13 a 15 m de alto, cubiertas de arbustos (principalmente mezquite) y pastos, como el pasto aguja (*Spartina spartinae*). La vegetación de las dunas costeras de Texas disminuye en dirección norte a sur porque los índices de precipitación promedio son menores. Las dunas bajas suelen tener vegetación extendida de poca altura que recoge la arena que sube hacia el frente de la playa (Smith, 2002).

Pasos tanto naturales como artificiales que atraviesan las islas barrera permiten el intercambio favorecido por las mareas entre el golfo de México y las lagunas. Hay dos pasos con muros de contención en Texas: el paso Mansfield y el paso Brazos Santiago, que conectan a la laguna con el golfo de México, y cuatro en Tamaulipas: El Mezquital, Boca Ciega, Boca El Catán y Boca de Santa Isabel.

Aves

La Laguna Madre de Texas y Tamaulipas alberga algunos de los complejos de humedales más grandes y sin alterar del hemisferio occidental y es una de las áreas costeras más significativas para la vida de las aves acuáticas en toda la costa del golfo de México; de ahí que forme parte de la Red de Reservas de Aves Costeras del Hemisferio Occidental. Enormes bandadas de aves costeras migratorias utilizan en invierno las llanuras expuestas por las mareas de viento y las playas de las barreras; en menor número, otras hacen uso de hábitats emergentes como los pasos de desborde y los humedales costeros.

Varias especies de aves acuáticas coloniales habitan la Laguna Madre: 23 especies de garzas reales, airones, ibis, pelícanos, golondrinas de mar, gaviotas y ralladores; 12 especies de estas aves se identificaron en sitios de anidación del noreste de México. La única colonia importante del pelícano blanco americano se encuentra en la Laguna Madre superior de Texas; en la de Tamaulipas hay una de menor tamaño. La Laguna Madre alberga la mayor concentración de garcetas rojizas del mundo; es sitio de anidación de aves costeras como el chorlo picogruoso y el chorlo nevado —que también corren tras pequeñas presas en las llanuras mareales que la rodean— y además es sitio de invernación de un alto porcentaje de las poblaciones amenazadas de chorlo chiflador. Los pastizales y las islas barrera de la región están entre las áreas de reposo de otoño y primavera más importantes del mundo del halcón peregrino. La Laguna Madre es el destino primario del pato de cabeza roja en invierno, ya que, como se dijo, se calcula que casi 80 por ciento de la población de América del Norte utiliza los pastizales de zacate de hojas delgadas y otros hábitats de las lagunas, así como estanques costeros cercanos tierra adentro en Texas y Tamaulipas. La disminución del flujo de agua hacia el delta del río Bravo redujo a su vez los hábitats de humedal disponibles. Las condiciones climatológicas extremas del norte de Tamaulipas determinan la cantidad y calidad del hábitat para la avifauna acuática. De 1945 a 1951 una prolongada sequía limitó el ingreso de agua dulce hacia las bahías y lagunas costeras y redujo los niveles de los estanques dulceacuícolas; aunque la precipitación de 1952 fue alta, el año siguiente fue muy seco. El caudal del río Bravo era escaso y muchas cuencas donde solían invernar las aves acuáticas se secaron. En 1954 aumentó la precipitación pluvial y el hábitat presentó una ligera mejoría. En 1955 varios meses de lluvia incrementaron la disponibilidad de hábitat y cientos de humedales del río Bravo se llenaron de agua dulce. Ese año la población de patos se elevó a 30,000 individuos, frente a apenas 2,500 en 1954 (Smith, 2002). Estos cambios en la precipitación y la disponibilidad de hábitat continúan hasta la fecha.

Peces y pesca

La diversidad de peces parece ser más grande en la Laguna Madre de Tamaulipas, con 122 especies frente a 79 en la Laguna Madre superior y 67 en la inferior (la laguna de Tamaulipas tiene más especies tropicales; la Laguna Madre inferior en Texas necesita más investigación). El Programa de Recursos Marinos de los Estuarios de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica reconoció el valor ecológico, comercial o recreativo de 37 de las 44 especies de peces e invertebrados encontradas en la Laguna Madre de Texas, y su importancia como especies indicadoras de deterioro ambiental.

La Laguna Madre superior es el lugar principal de desove del tambor (*Pogonias chromis*) a lo largo de la costa de Texas. Además, justo al sur de la bahía de Baffin, Penascal Point provee de hábitat crítico a los blenios *Labrisomus nuchipinnis* y *Hypleurochylus geminatus*, así como al pargo prieto (*Lutjanus griseus*). Entre los recursos pesqueros primarios de la Laguna Madre están el tambor rojo, el tambor negro, la trucha pinta y el camarón; desde siempre, la actividad pesquera en Texas ha tenido importancia no sólo comercial, sino también recreativa. La captura promedio anual de peces y crustáceos, tanto deportiva como comercial, se calcula en 3.3 millones de kg (12 por ciento de crustáceos). Con este nivel de actividad pesquera, el impacto económico anual total se estima en 40 millones de dólares. La Laguna Madre constituye alrededor de 20 por ciento de las aguas costeras protegidas de Texas, pero siempre ha contribuido con entre 40 y 51 por ciento de la pesca comercial del estado (Onuf, 2007).

Como se afirmó en el apartado sobre ciclos del agua, en Tamaulipas, la pesca pasaba por ciclos de marcados altibajos debido a la aportación de agua de los huracanes, pero ahora el dragado de los canales de comunicación con el golfo la han vuelto más estable.

La Laguna Madre de Tamaulipas se divide en dos unidades hidrográficas por las llanuras de lodo poco profundas fuera de la desembocadura del río San Fernando. La parte norte es normalmente una poza salobre, pero de manera intermitente al diluirse el ambiente por las escorrentías del río Bravo el entorno se vuelve muy productivo y se vuelve a poblar de peces que cruzan por los pasos reabiertos de las islas barrera. El tambor negro (*Pogonias cromis*) es la principal especie comercial. La parte sur exhibe salinidades más variables y tiene desde aguas casi dulces hasta una serie de pozas salobres, pero normalmente es hipersalina. Había extensas praderas de pasto *Diplanthera wrightii* habitadas por abundantes poblaciones de camarón palemónido y juveniles de camarones peneidos. Las estadísticas de captura de varios años muestran la importancia de la trucha de mar (*Cynoscion nebulosus*) y la corvina roja (*Sciaenops ocellatus*).

En los meses de invierno estas aguas albergaban una población abundante de camarón de salmuera (*Artemia salina*). Los huracanes reabrían los pasos y producían lluvias torrenciales, reduciendo las salinidades a niveles más bajos y permitiendo la repoblación de especies de peces e invertebrados provenientes del mar. Los grandes huracanes de 1909, 1933 y 1967 demostraron este ciclo en Tamaulipas y es posible que un ciclo similar haya existido en Texas antes de la canalización de ese sistema (el GIWW se terminó en 1949 y el paso Mansfield en 1962) (Tunnell *et al.*, 2002).

Los peces que ingresan a las áreas supersalinas son especies estuarinas eurihalinas, que al parecer se adaptan con más facilidad a las condiciones

hipersalinas que los peces que habitan en las salinidades más estables del agua de mar. En ocasiones se crean condiciones extremas en que las salinidades alcanzan el equivalente aproximado a 100 ppt y todos los animales mueren. Cuando esto sucede, las poblaciones se reestablecen a partir de las aguas estuarinas cercanas. La captura de peces y camarón en la Laguna Madre de Tamaulipas fue muy significativa a principios de los años noventa (hasta 20,000 toneladas métricas) y actualmente se calcula en 41,000 toneladas, con un valor aproximado de 786 millones de pesos (unos 60 millones de dólares estadounidenses de 2009).

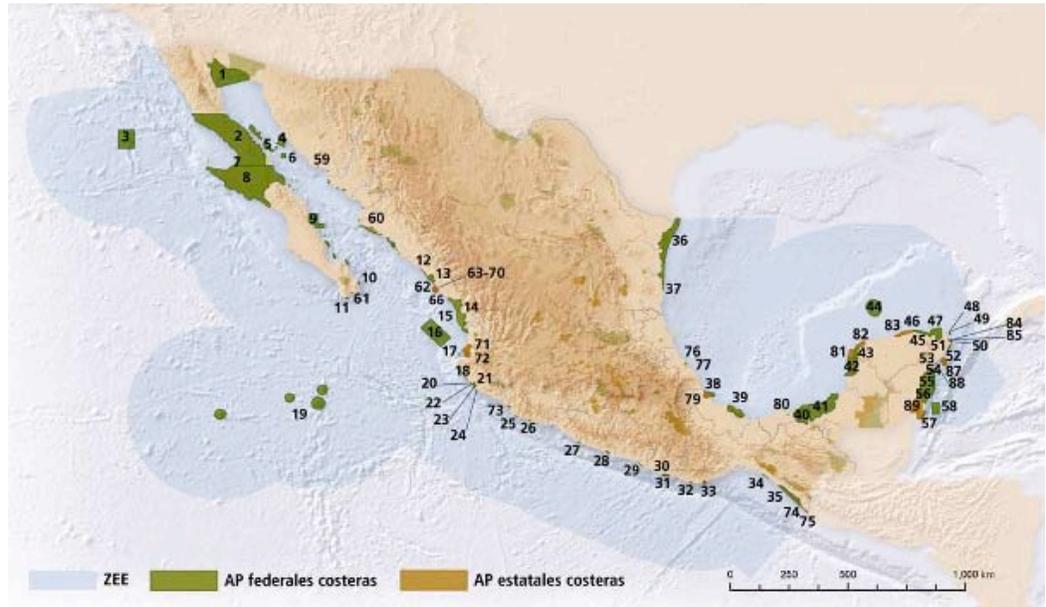
Problemas de conservación

Los aspectos críticos de preocupación que requieren atención (y en algunos casos la reciben) son la calidad del agua del arroyo Colorado —que deposita fuertes cantidades de plaguicidas agrícolas y otros contaminantes ambientales en la Laguna Madre inferior— y el drenaje de riego del valle bajo del río Bravo. Otros problemas importantes son la eliminación del material producto de los dragados, la pérdida de hábitat provocada por el desarrollo de las islas barrera, la marea café y sus repercusiones en los pastizales marinos en Texas, así como los efectos de los habitantes de las islas, los contaminantes agrícolas, y el manejo y la protección del suelo en Tamaulipas. Como consecuencia, más de 60 por ciento de la flora y la fauna nativas han desaparecido de esa región.

Entre los problemas o preocupaciones antropogénicas están los efectos de la colonización de las islas, la canalización, la eliminación del material de dragado, los pasos artificiales, los contaminantes, los impactos sísmicos, la destrucción parcial de los pastizales marinos, y la basura y otros desechos. Los derrames de aceite de las lanchas, las descargas del lado mexicano del río Bravo y la extracción de hidrocarburos son las amenazas derivadas de la gran cantidad de actividades comerciales que se llevan a cabo en la Laguna Madre. La liberación accidental y deliberada de camarón exótico o los efluentes de las granjas camaronícolas comerciales también son preocupantes.

En 2005 México declaró toda la Laguna Madre de Tamaulipas como área natural protegida (ANP) (véase la gráfica 18). Esta declaratoria es un hito en la conservación de un estuario tan productivo y diverso como éste. Aunque es cierto que la designación por sí sola no salvaguardará a la laguna de todos los problemas que la aquejan, sí muestra el compromiso del gobierno mexicano con las prácticas de manejo ambientalmente adecuadas.

Gráfica 18. Áreas naturales protegidas costeras, federales y estatales, de México



Fuente: Conabio-Conanp-TNC-Pronatura, 2007.

Desde 1998, el Programa de Bahías y Estuarios de la Curva Costera (*Coastal Bend Bays and Estuaries Program, CBBEP*) es una herramienta complementaria del Programa de Gestión de Zonas Costeras de Texas (*Texas Coastal Management Program*) para la protección y gestión de la Laguna Madre superior tejana. El CBBEP se creó después de que al sistema de bahías de la curva costera se le designó estuario de importancia nacional y parte del Programa Nacional de Estuarios; sin embargo, no cubre toda la Laguna Madre. Además del CBBEP, la Ribera Nacional Isla del Padre, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Laguna Atascosa y los ranchos particulares a lo largo de la costa han contribuido a la protección de la laguna.

El hecho de que México designara a la Laguna Madre como ANP es clara muestra de que el concepto de sustentabilidad no significa que un área protegida deba ser un santuario, sino un área en donde las actividades humanas estén en equilibrio con la protección de los recursos naturales para garantizar su viabilidad mutua a largo plazo (véase la gráfica 19).

Gráfica 19. Áreas naturales protegidas en las lagunas Madre de Tamaulipas y Texas



Fuente: Barraza y Calnan, 2006.

Amenazas

Los estuarios y hábitats costeros poco profundos de la región ecológica del golfo de México son ricos y productivos porque reciben aportes de fuentes terrestres, marítimas y de agua dulce, aunque también son objeto de diversos factores de presión que afectan a todos estos ambientes. Un factor de presión es algo que daña o degrada el tamaño, la condición o el entorno de un objetivo de conservación y que, por tanto, reduce su viabilidad. Considerando esta riqueza ecológica, resulta fundamental evitar que los factores de presión deterioren los ecosistemas al punto de rebasar el umbral en que los cambios indeseados se vuelvan irreversibles. La preocupación que provoca el incremento de las actividades humanas se ha centrado en la salud a largo plazo de la Laguna Madre, ya que este ecosistema único está amenazado por presiones del crecimiento poblacional, problemas de contaminación y dragado.

Estas amenazas se intensifican con otras presiones, como los efectos de la agricultura, la ganadería, la acuicultura, la pesca y la eutrofización, así como las consecuencias del desarrollo regional, la creciente probabilidad de introducción de especies exóticas en escala regional a causa del intenso comercio con otras regiones y las sinergias con otras amenazas. Las principales fuentes de presión en el lado mexicano de la Laguna Madre provienen de la sobrepesca, mientras que por el lado de Texas provienen sobre todo de la eutrofización y la contaminación que recibe del arroyo Colorado, que arrastra descargas agrícolas, municipales y de la acuicultura del camarón. La destrucción directa e indirecta de objetivos de conservación en el lado de Texas se debe al dragado del canal Intracostero y al uso de vehículos todo-terreno (VTT) en dunas y llanuras mareales.

A continuación se listan algunos factores de presión comunes, con ejemplos de sus fuentes (Beck *et al.*, 2000).

Destrucción indirecta de objetivos de conservación

Eutrofización

La eutrofización, es decir, el suministro excesivo de nutrientes (en particular nitrógeno y fósforo), puede tener su origen en muchas fuentes, aunque en la mayoría de los sitios alrededor del golfo de México el principal origen de procesos de eutrofización es la agricultura, con aportes secundarios de fuentes municipales y la acuicultura. La eutrofización puede tener efectos ecológicos penetrantes en sistemas costeros someros y estuarinos; por ejemplo, menor claridad del agua, pérdida de hábitat acuático, floraciones algales (tóxicas y no tóxicas) y disminución del oxígeno disuelto (hipoxia); además, generalmente favorece el crecimiento de algas unicelulares y algas pequeñas a costa de las especies macrofitas (por ejemplo, pastos marinos y marismas) y cuando las aguas se vuelven hipóxicas pocos animales que necesitan oxígeno sobreviven.

Atenuación de la luz

La distribución de especies macrofitas sumergidas (pastizales marinos y pastos de agua dulce) está estrechamente vinculada a la disponibilidad de luz. Al haber menos luz, disminuye la densidad de las hojas de los lechos de pastos (se adelgazan) y a la larga se puede perder todo el lecho. Las floraciones de algas asociadas a las mareas caféas son fuente importante de este factor de presión. El origen de estas mareas es una incógnita, pero es bien sabido que prosperan cuando hay exceso de nutrientes. El desarrollo costero incompatible puede incrementar la turbidez del agua debido a la escorrentía directa por las superficies endurecidas y la escorrentía indirecta de las aguas residuales municipales. La pesca de arrastre y el tránsito pesado de las embarcaciones en aguas someras puede suspender los sedimentos del fondo, reduciendo también la disponibilidad de luz. A menor escala, los desembarcaderos pueden atenuar la luz que llega a los pastos que se encuentran debajo y alrededor de ellos.

Química alterada del agua (la salinidad en particular)

Muchas especies costeras son eurihalinas, es decir, tolerantes a salinidades muy variables. Aún así, los cambios a largo plazo en el medio y en la variación de la salinidad afectan la distribución y la abundancia de estas especies, como lo muestra con toda claridad el cambio dinámico en las distribuciones de ostiones y marismas salinos a medida que el agua salada invade la tierra firme en esta costa.

Régimen hidrológico alterado del agua dulce

Las alteraciones en el flujo de agua dulce (generalmente causadas por la desviación del mismo) modifican las características básicas de los estuarios porque alteran el intercambio dinámico entre el agua dulce y la salada. Los cambios en el volumen y los tiempos de entrada del agua dulce afectan muchos procesos ecológicos importantes que controlan la abundancia de numerosas especies y hábitats objetivo. Los factores de cambio son presas, bordos, canalización y extracción excesiva de aguas superficiales y subterráneas.

Régimen alterado del flujo de agua salada

Los cambios en el flujo de agua salada afectan, sobre todo, la energía mareomotriz y del oleaje, así como el transporte de sedimentos. En muchos lugares los litorales se están blindando con rompeolas y estructuras similares que desvían la energía del oleaje y erosionan los hábitats de sedimentos blandos adyacentes (como las marismas). Rompeolas y espigones afectan el transporte costero de sedimentos: alteran los movimientos de las islas barrera y ocasionan la acumulación de sedimentos en algunas áreas y la pérdida de ellos en otras.

Régimen alterado de los sedimentos

Un problema grave en varias zonas de la costa norte del golfo de México son las modificaciones realizadas en los ríos, en particular la construcción de represas y la canalización, que han reducido de modo sustancial el suministro de los sedimentos necesarios para el desarrollo de las marismas costeras. Gran parte de la costa de Louisiana se está hundiendo por la compactación gradual de los viejos sedimentos ribereños. Este hundimiento se equilibraría normalmente con la acumulación de nuevos sedimentos producidos por el río, pero los sedimentos que se reciben del río Misisipi han disminuido 80 por ciento en relación con los niveles históricos.

Destrucción directa de objetivos de conservación

Muchas fuentes contribuyen a la destrucción directa de objetivos de conservación: desarrollo costero incompatible, dragado, uso recreativo inapropiado, especies invasoras, sobrepesca.

Desarrollo costero incompatible

El desarrollo costero incompatible (casas mal diseñadas, puertos, muelles, rompeolas, campos de golf y marinas) afecta de manera directa y grave los hábitats y las especies. También contribuye a la destrucción indirecta de objetivos por ser fuente de algunos de los otros factores de presión

identificados en este apartado (régimen alterado del flujo, sedimentación, disponibilidad de luz o fuente de nutrientes).

Dragado

El dragado también puede La eliminación de especies y comunidades bénticas submareales. destruir directa e indirectamente tanto hábitats como organismos.

En las pasadas dos décadas ha crecido la preocupación por los efectos de las dragas y los avíos de pesca remolcados, como las redes de arrastre, en hábitats y organismos bénticos. La razón es que los hábitats bénticos dan refugio a peces jóvenes y a la fauna asociada, fuente importante de alimento para los peces que viven en el fondo (Lokkeborg, 2005).

Las artes de arrastre con portalones, arrastre de varas y rastras para ostiones incorporan en su diseño principios de captura que pueden tener diversos efectos físicos en el fondo marino, en algunos casos muy notables, como ocurre con los surcos (de hasta 20 cm de profundidad) que dejan los portalones de arrastre, mientras que otras partes dejan marcas apenas perceptibles. Las artes de arrastre de varas y las rastras para ostiones aplanan la topografía irregular del fondo, eliminando así accidentes naturales como ondulaciones, montículos de bioturbación y tubos de fauna.

Los efectos biológicos más graves del arrastre con portalones se han registrado en los hábitats de fondos duros con estructuras verticales, en los que se ha demostrado la disminución considerable de la abundancia de organismos sésiles de gran tamaño, como esponjas y corales, a consecuencia del paso de las artes de fondo. El arrastre experimental en fondos blandos de zonas pesqueras de alta mar (frente a la costa) redujo la abundancia de algunas especies. Se han estudiado los efectos de la pesca de arrastre de camarones en fondos blandos de lodos y arcillas; aunque los estudios no han demostrado efectos claros y coherentes, la pronunciada variabilidad temporal en estos hábitats podría estar enmascarando los posibles cambios. No se han estudiado las consecuencias a largo plazo del arrastre de varas y las rastras para camarón, pero varios estudios demuestran inequívocos efectos a corto plazo.

El dragado para el canal Intracostero del golfo y otros canales marítimos de menor envergadura es causa importante de la pérdida de pastos marinos en la laguna. Se sabe que el dragado incrementa la turbidez del agua y la eutrofización de las aguas costeras, así como el intercambio de agua con el golfo de México. Sin embargo, continúa el debate en torno al impacto de los regímenes de flujo alterados en la salinidad de la laguna. Preocupa a los expertos en la materia que la disminución constante de la salinidad pueda

representar un peligro biológico y comercial para importantes zonas de cría de peces y moluscos. Además, la eliminación inapropiada del material producido por los dragados reduce la circulación del agua en las llanuras mareales y con el tiempo puede llevar a la posible pérdida de las mismas (TNC, NOAA, TCMP, 2001).

Los posibles efectos del dragado y la eliminación del material que produce en general se resumen a continuación.

- La eliminación de especies y comunidades bénticas submareales.
- El aumento a corto plazo del nivel de sedimentos suspendidos puede producir cambios en la calidad del agua con efectos tanto positivos como negativos en la flora y la fauna marinas: mayor turbidez y posible liberación de materia orgánica, nutrientes o contaminantes, dependiendo de la naturaleza del material en la zona de dragado.
- El asentamiento de estos sedimentos suspendidos puede sofocar o ahogar comunidades submareales o comunidades intermareales contiguas.
- Según la naturaleza del material de dragado, la perturbación resultante en el lecho marino puede producir cambios en la composición química del agua; por ejemplo, muchas sustancias tóxicas como metales pesados y contaminantes orgánicos tienden a adherirse a las partículas sólidas y depositarse en los sedimentos. Algunos de estos contaminantes son muy persistentes en el sedimento y otros pueden cambiar su estado de oxidación mientras están enterrados, lo que altera su solubilidad. En caso de perturbación de los sedimentos, los contaminantes pueden liberarse y salir a la columna de agua afectando la vida marina.

Uso recreativo inapropiado

El uso recreativo inapropiado también puede ser un problema. Las hélices de las embarcaciones recreativas causan los extensos surcos que quedan en los pastos marinos y que afectan a casi todos los hábitats de pastos marinos someros del norte del golfo de México. En lugares donde queda poco pasto, como el canal del Misisipi, hasta las marcas que dejan las anclas pueden representar un problema grave. Los vehículos todo terreno pueden desestabilizar las dunas (en particular si se les opera en la cima de las mismas) y degradar las llanuras expuestas por las mareas de viento.

Especies invasoras

Las especies invasoras también pueden destruir directamente a los organismos nativos competidores por medio de mecanismos como competencia por el sustrato y por la comida o herbivorismo, así como

depredación de las especies nativas o hibridación con ellas e interrupción de numerosos procesos de los ecosistemas.

Por fortuna, a la fecha son relativamente pocas las especies invasoras que causan graves problemas en el norte del golfo de México en comparación con la mayoría de las regiones (aunque existe la posibilidad de que aumente el número de especies problemáticas). Los hábitats de pastos de agua dulce sumergidos sufren las invasiones de macrofitos introducidos como la mienrama de agua (*Myriophyllum spicatum*) que suele ganar a las especies nativas la batalla por el espacio. La nutria, que fue liberada primero por accidente y después de manera intencional en los años treinta y cuya captura para aprovechar su piel dejó de ser redituable en los ochenta, se alimenta de las plantas de las marismas e interrumpe el sustrato.

Sobrepesca

La sobrepesca puede alterar de modo considerable la abundancia de población y de hábitats. La pesca con redes de arrastre (en particular de camarón) puede afectar directa y considerablemente los objetivos de conservación como resultado de la captura incidental (lo que ocurre, por ejemplo, con las tortugas) y del deterioro de hábitats que produce. La pérdida de ciertas especies como los moluscos puede, a su vez, tener efectos sistémicos en la claridad del agua.

Flujo de sustancias tóxicas y contaminantes

En general, el grado de presión de estos factores provenientes de fuentes puntuales ha disminuido, pero los aportes de fuentes no puntuales (como sistemas sépticos y escurrimiento de aguas pluviales) están en aumento (DeBlieu *et al.*, 2005).

La contaminación de fuentes no puntuales se debe por lo general a escorrentía, precipitación, deposición atmosférica, filtración o modificación hidrológica. La contaminación por escorrentía se presenta cada vez que la lluvia o la nieve derretida corre por el suelo arrastrando contaminantes a su paso. Esta situación ocurre en granjas y otros sitios agrícolas, donde el agua arrastra fertilizantes, plaguicidas y sedimentos de las tierras de cultivo o de pastoreo, y también durante las operaciones forestales (en particular a lo largo de las brechas de tala), cuando el agua arrastra sedimentos junto con los nutrientes y materiales asociados de los suelos que ya no tienen suficiente vegetación viva para retener la tierra en su lugar.

Legislación y tecnología han permitido mejorar el control de la contaminación de fuentes puntuales: cualquier tipo de conducción discernible, confinada y discreta, como tubos, zanjas, canales, túneles, conductos, pozos, fisuras discretas, contenedores, material rodante, operación concentrada de

alimentación animal o embarcaciones u otras naves flotantes, de las que se descarguen o se puedan descargar contaminantes. Más aún, durante los últimos 29 años las acciones de control de la contaminación del agua se han centrado sobre todo en ciertas descargas de aguas de proceso realizadas por establecimientos como fábricas y plantas de tratamiento de aguas negras, y han puesto en segundo lugar las fuentes poco precisas. En contraste, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*, EPA) ahora considera la contaminación de todas las fuentes poco precisas, incluida la de las aguas pluviales urbanas, como la fuente de contaminación más importante de las aguas de dicho país (US EPA, 1997). Según la clasificación de la EPA, la escorrentía urbana y las descargas de aguas pluviales y negras son la segunda fuente de deterioro de la calidad del agua de los estuarios y la cuarta de los lagos de Estados Unidos (US EPA, 1993).

A pesar de que la escorrentía contaminada de fuentes agrícolas puede ser una fuente de contaminación del agua todavía más importante que la escorrentía urbana, esta última sigue siendo una fuente contaminante crítica, en particular de las aguas cercanas a centros de población. Muchas ciudades de la región ecológica de la Laguna Madre (entre ellas Matamoros y Corpus Christi) han crecido considerablemente durante las últimas décadas y a medida que la actividad humana se incrementa en cierta zona, aumentan también las cantidades de material de desecho depositadas en el suelo y en los sistemas de drenaje.

El problema de la contaminación por aguas pluviales tiene dos componentes principales: mayores volumen y velocidad de la escorrentía superficial y mayor concentración de contaminantes en ésta. Ambos componentes están directamente relacionados con el desarrollo en zonas urbanas y en proceso de urbanización. En conjunto, estos componentes causan cambios en la hidrología y la calidad del agua que a su vez provocan diversos problemas, como pérdida de hábitats, más inundaciones, menor diversidad biológica acuática y más sedimentación y erosión, así como efectos en nuestra salud, la economía y el bienestar social. La razón principal de que el agua de lluvia siga siendo un factor tan importante en la contaminación hídrica es que en la mayoría de los casos el agua de lluvia no recibe tratamiento antes de ingresar en los cuerpos de agua. Los sistemas de alcantarillado simplemente colectan la escorrentía urbana (aguas pluviales y negras) y la descargan directamente en el río, lago o bahía más cercano. Cabe señalar que ciertos estudios han demostrado que las aguas pluviales por sí solas pueden estar casi tan contaminadas como las mezclas de aguas pluviales y negras.

El efluente de sistemas sépticos con fallas o sin mantenimiento adecuado puede subir a la superficie y contaminar aún más las aguas pluviales (US EPA, 1993). Tales sistemas son fuentes importantes de agentes patógenos y

nutrientes, sobre todo nitrógeno, que no se remueven con eficacia de la corriente de desechos. El motivo más frecuente del cierre de playas y lechos de moluscos es el ingreso de efluentes de sistemas sépticos a los cuerpos de agua. Por ejemplo, un estudio determinó que 74 por ciento del nitrógeno que ingresaba al estuario Buttermilk Bay en Massachusetts tenía su origen en sistemas sépticos. Las aguas pluviales pueden contener coliformes fecales y niveles elevados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) si la ubicación, el diseño, la instalación o el mantenimiento del sistema no son los adecuados.

Calentamiento global

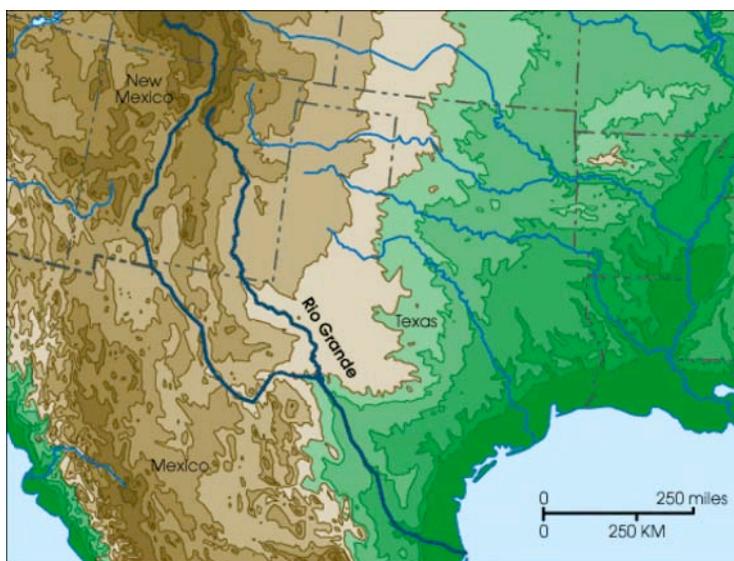
El calentamiento global va a agudizar estas presiones humanas en la Laguna Madre, a veces mejorando la situación y en otros casos empeorándola. Por ejemplo, si el futuro cambio climático trae consigo una temporada de abundancia prolongada y más intensa para la región, la confiabilidad de la precipitación y la humedad del suelo podrían mejorar. En periodos de abundancia, el suelo retiene la precipitación y la escorrentía y, de esta manera, la vida silvestre y las plantas nativas incrementan su productividad y la salinidad de la laguna será moderada. Sin embargo, si en el futuro la precipitación disminuye, incluso una reducción relativamente pequeña en la humedad podría generar mayor desertificación. El ingreso de menos agua dulce a los estuarios empeoraría las pérdidas que ya se sufren en los humedales costeros de todo tipo en Texas. En el largo plazo, estas pérdidas a su vez disminuirían la pesca dependiente de los estuarios.

Los inviernos más cálidos revisten especial importancia desde el punto de vista ecológico. El movimiento hacia el norte de la línea de congelación causaría graves efectos en la curva costera de Texas y la Laguna Madre superior. Ello permitiría que comunidades de plantas y animales del sur se expandieran hacia el norte y, debido a las menores perturbaciones provocadas por el hielo, madurasen y con el tiempo desarrollasen ecosistemas diferentes (Union of Concerned Scientists, 2009). Según las proyecciones, el nivel del mar subirá cerca de 20 cm en los próximos 50 años (IPCC, 1998 y 2001). Es muy probable que la afluencia de agua salada afecte especies y comunidades que requieren agua de salobre a dulce, además de que estas comunidades ya están en riesgo por muchos otros factores de presión. Sin embargo, en numerosos lugares las tasas de hundimiento de la costa son muchas veces más altas que la tasa de elevación del nivel del mar; es decir, el problema del hundimiento de la tierra es mayor que el problema de la elevación del mar. Además, de acuerdo con ciertos escenarios del IPCC, el cambio climático representaría una amenaza importante para la Laguna Madre, que podría contribuir a la dispersión de contaminantes químicos y especies exóticas. También se podrían esperar cambios en la naturaleza hipersalina de la laguna.

Río Bravo

El río Bravo, que mide unos 3,059 km, ocupa el vigésimo lugar entre los ríos más largos del mundo y el quinto entre los de América del Norte. La fuente del río en Estados Unidos se nutre del deshielo de las montañas de San Juan en el sur de Colorado, a más de 3.96 km sobre el nivel del mar, antes de internarse en Nuevo México y fluir hacia la frontera de Estados Unidos con México a 12 km al noroeste de El Paso. Aunque cientos de kilómetros del alto río Bravo atraviesan Nuevo México, gran parte del tramo sur del río Bravo —como se le denomina en México— o Grande —como se le conoce en Estados Unidos— sirve de frontera internacional entre el estado de Texas y los estados mexicanos de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, formando 2,053 kilómetros de frontera ripariana, equivalentes a cerca de dos terceras partes de la longitud total del río (Tate, 2002; McNeese, 2005; Parcher et al., 2010). La cuenca regional del río Bravo cubre gran parte del suroeste: un total de casi 547,000 km². Dado el clima árido de la zona, apenas un poco más de la mitad de dicha superficie —283,000 km²— provee de caudales tributarios que alimentan el río Bravo (McNeese, 2005).

Gráfica 20 Mapa del río Bravo



Fuente: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RioGrande/water_hyacinth_map.php>.

Corriente abajo, varios ríos como Rock Creek, Alamosa Creek, Trinchera Creek y Conejos alimentan el río Bravo con sus aguas tributarias (véase la gráfica 21) bordeando todos ellos el valle de San Luis en Colorado. En Nuevo México, los ríos Puerco, Red y Chama suman sus frías aguas de la montaña al caudal del Bravo. Existen otras fuentes, como cuatro grandes arroyos —Galisteo Creek, río Jemez, río Puerco y río Salado— que casi siempre están secos, excepto cuando caen fuertes tormentas que inundan de agua sus lechos polvorientos (McNeese, 2005).

Gráfica 21. Cuerpos de agua binacionales en la cuenca del río Bravo



Fuente: Patino-Gomez y McKinney, 2006.

Los dos afluentes principales, los ríos Conchos y Pecos, reavivan el caudal superficial del río Bravo después de que la corriente pasa por el Forgotten Reach (“tramo olvidado”), al sur de El Paso, Texas. El río Conchos (véase la gráfica 22) corre desde la sierra Madre en México aportando alrededor de 35 a 40 por ciento del caudal superficial de la cuenca baja (Parcher *et al.*, 2010). Este río es una adición vital al caudal del río Bravo, ya que si no fuera por este suministro de agua el majestuoso río se agotaría a su paso por las tierras desérticas. Un segundo río, el Salado, que nace en las montañas de Coahuila al norte de México, también desemboca en el Bravo. La planicie costera hace que éste se ensanche en su tramo final. A medida que se acerca a la costa del golfo, el Bravo se adentra en una región de delta y corre a una elevación baja de unos nueve metros sobre el nivel del mar. Se trata de un delta muy amplio que se extiende por todo el paisaje del suroeste y cubre 804,672 km², área dividida casi a partes iguales entre Texas y México.

El río Bravo descarga alrededor de 914 m³ de agua por segundo en el golfo de México y la velocidad de su caudal varía según la estación. En los primeros tramos del río el caudal alcanza su punto máximo en mayo o junio, debido al deshielo y la lluvia, mientras que en los extremos más bajos ello ocurre en junio o julio, al caer las lluvias de verano (McNeese, 2005).

Gráfica 22. Cuenca del río Bravo



Fuente: Wong *et al.*, 2007.

En su totalidad, la cuenca hídrica del río Bravo abarca una superficie de 924,300 km² en Estados Unidos y México, con la cuenca vertiente distribuida en partes casi iguales entre los dos países: 231,317 km² en Colorado, Nuevo México y Texas, y 227,149 km² en Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, Durango y Tamaulipas (Parcher *et al.*, 2010).

Las características físicas colectivas de un clima árido, con una precipitación promedio en la cuenca que varía de 200 a 900 mm, un índice de evaporación que excede el agua recibida de la precipitación y un paisaje dominado por la agricultura con abasto limitado de agua superficial y subterránea, representan un gran reto para la gestión de este recurso hídrico transfronterizo, utilizado por una población creciente a ambos lados de la frontera internacional (Parcher *et al.*, 2010). La población actual a lo largo del río Bravo es de 17,753,370 habitantes: 13,392,900 en México y 4,360,470 en Estados Unidos (TFDD, 2011).

División del río y la cuenca

La cuenca se compone de dos subcuencas: la cuenca del alto río Bravo (arriba de Ft. Quitman, Texas), que incluye Colorado, Nuevo México y parte de Texas, y la cuenca del bajo río Bravo (abajo de Ft. Quitman), que incluye partes de los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Texas (Patino-Gomez y McKinney, 2006). Algunos autores (como McNeese, 2005) dividen el río en tres segmentos: el alto (de las montañas de San Juan en el sur de Colorado hasta Albuquerque), el mediano (de Albuquerque a Truth o Consequences, Nuevo México, o de la presa Cochiti a la presa Elephant Butte) y el bajo (de Elephant Butte a la costa del golfo). Otros autores (como Parcher *et al.*, 2010) lo dividen en cinco tramos:

1. el río del Norte, de las cabeceras a la presa Elephant Butte;
2. de la presa Elephant Butte al río Conchos;
3. del río Conchos a la presa Amistad;
4. de la parte baja de la presa Amistad a la presa Falcon, y
5. de la presa Falcon al valle del bajo río Bravo.

Ecorregiones y clima

El río Bravo pasa por siete provincias fisiográficas: Montañas Rocallosas del Sur, Planicie de Colorado, Cuenca y Cordillera, Grandes Planicies, Llanura Costera, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental (Benke y Cushing, 2005). Salvo por el deshielo en su nacimiento en Colorado y el clima subtropical en su desembocadura cerca del golfo de México, la mayor parte del río atraviesa regiones áridas, como el desierto más grande de América del Norte, el de Chihuahua, debido a que la totalidad de la cuenca del río Bravo yace en la ecorregión de dominio seco como la define Bailey (1995). Más de 30 por ciento de la cuenca es árida y baña una superficie más grande que el estado de California (Revenge *et al.*, 1998).

La cuenca del río Bravo comprende seis ecorregiones de agua dulce: el alto y el bajo río Bravo, el Pecos, el San Juan, el Salado y el Conchos (Benke y Cushing, 2005). La mayor parte de la cuenca se clasifica como estepa templada. Sin embargo, los índices de precipitación anual en Colorado son heterogéneos: oscilan entre 112 cm en las zonas alpinas del oeste (en su mayoría en forma de nieve) y 20 cm en las partes centrales. Estos patrones de precipitación y las designaciones de los ecosistemas se extienden a la parte central de la cuenca en Nuevo México. La mayor parte de la cuenca del río Bravo en ese estado recibe menos de 36 cm de precipitación al año, y gran parte de la cuenca alta va desde estepa tropical-subtropical y montaña

hasta estepa templada. La parte central de la cuenca en Nuevo México es predominantemente montaña tropical-subtropical rodeada en ambos costados por desierto tropical-subtropical. Desde El Paso hasta la zona del Big Bend, la cuenca del río Bravo se clasifica como desierto tropical-subtropical, salvo por el extremo de la orilla oriente de la cuenca, que es estepa tropical-subtropical. Esta zona recibe por lo general menos de 36 cm de precipitación anual. La precipitación aumenta con la distancia abajo del Big Bend; gran parte de la cuenca del bajo río Bravo recibe 51 cm al año y las zonas más cercanas a la costa del golfo reciben hasta 71 cm. La frontera entre Texas y México es una región árida, con abasto limitado de agua tanto superficial como subterránea, por lo que el tramo más bajo y estrecho de la cuenca del río Bravo que se extiende desde Eagle Pass hasta el golfo se clasifica como estepa tropical-subtropical (Schmitt *et al.*, 2004). A lo largo de todo el río, el agua que se pierde por evaporación excede el agua que se gana con la precipitación (Tate, 2002).

Biodiversidad

El Bravo se considera un río *de importancia mundial* por su unicidad biológica (estimada en función de la riqueza de sus especies, su endemismo y la diversidad de sus ecosistemas) y su conservación es una prioridad de primer orden por el número de especies en peligro de extinción (Olson *et al.*, 1998; Bezaury Creel *et al.*, 2000). También es una región prioritaria terrestre e hidrológica de México (Arriaga Cabrera *et al.*, 1998).

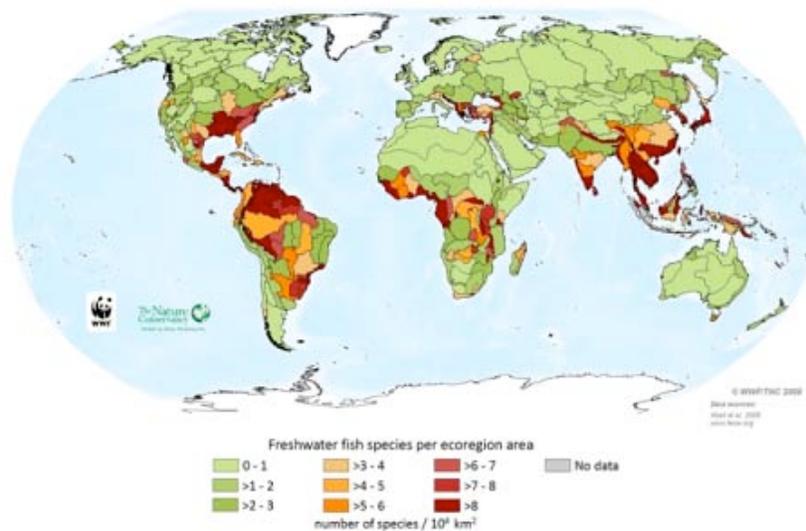
Según diversos informes, diatomeas bentónicas (*Nitzschia*, *Navicula*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Staurosira*, *Synedra*, *Amphora*, *Luticola*, *Caloneis* y *Tryblionella*), cianobacterias (*Oscillatoria*, *Spirulina*, *Schizothrix* y *Lyngbya*) y algas verdes (*Cladophora*, *Closterium*, *Cosmerium*, *Pediastrum* y *Scenedesmus*) son comunes en este río (Benke y Cushing, 2005).

La vegetación riparia varía a lo largo del Bravo. Las zonas ribereñas de las tierras bajas del alto río Bravo de Colorado y el centro y norte de Nuevo México estuvieron en el pasado dominadas por álamos, con sauces y diversos arbustos autóctonos, pero desafortunadamente las especies no-nativas dominan cada vez más las zonas riparianas de la región. Dos especies invasoras por demás exitosas son el tamarisco y el árbol del paraíso. Las especies no-nativas también desempeñan un importante papel en las zonas ribereñas del sur de Nuevo México y el oeste de Texas. El tamarisco domina gran parte de las zonas riparianas hasta la confluencia del río Bravo con el río Conchos. Las especies de árboles riparios dominantes en el bajo río Bravo abajo de la confluencia del río Conchos son mezquite, almez, olmo de cedro, anacua, sauce negro y retama. En el ambiente acuático las especies dominantes son los macrofitos no-nativos jacinto de agua e hidrilla. Los

pastos introducidos, como los zacates guinea y buffel, también se están volviendo dominantes en muchos puntos de la zona ripariana del bajo río Bravo (Benke y Cushing, 2005; Contreras Balderas, 2008).

La fauna dulceacuícola del río Bravo es quizá la más rica de todos los sistemas fluviales de regiones áridas del mundo (Olson *et al.*, 1998) (véase la gráfica 23). Alguna vez hubo en el río un grupo mucho más grande de mejillones de agua dulce (*Unionidae*) que el actual: llegó a haber en la cuenca por lo menos 16 especies de mejillones uniónididos, pero éstos figuran en los grupos de más rápido descenso, en buena medida por su sensibilidad ambiental e intolerancia a condiciones degradadas. Algunos moluscos proliferan en la cuenca, como la almeja asiática (*Corbicula fluminea*), especie introducida y muy tolerante, que se encuentran en abundancia en diversos puntos del río Bravo. Otros bivalvos comunes en el bajo río Bravo de Texas son *Utterbackia imbecillis*, mejillones perlíferos (*Cyrtoneias tampicoensis*) y *Lampsilis teres* (Benke y Cushing, 2005; Winemiller *et al.*, 2010).

Gráfica 23 Especies de peces de agua dulce por ecorregión



Nota: La riqueza de especies está ajustada según el tamaño de la ecorregión.

Fuente: FEOW.

Ciertos crustáceos como *Macrobrachium acanthurus*, *Palaemonetes kadiakensis* y *Procambarus simulans regiomontanus* son característicos del río (Conabio, 2011).

Se han encontrado unas 166 especies de peces en el río Bravo considerando las especies tanto de agua dulce (86) como de agua salobre (80) (Benke y Cushing, 2005). La fauna piscícola del bajo río Bravo contiene casi el doble de especies que el río Conchos y el triple que el alto río Bravo. Los peces de la cuenca están dominados por una rica comunidad de carpas (ciprínidos). En los lugares con manantiales es posible encontrar componentes únicos de cachorritos y vivíparos. Las especies de la cuenca grande son cachorrito del Conchos (*Cyprinodon eximius*), rodapiedras mexicano (*Campostoma ornatum*), carpa adornada (*Codoma ornata*), matalote del Bravo (*Gila pandora*), carpa tamaulipeca (*Notropis braytoni*), carpa chihuahuense (*N. chihuahua*) y carpa del Bravo (*N. jemezanus*).

Las especies endémicas del río Bravo son la carpa diablo (*Dionda diaboli*), el guayacón del Big Bend (*Gambusia gaigei*) y el guayacón del río de Nava (*Gambusia krumholzi*). Las cuasi endémicas son la carpa Chamizal (*Hybognathus amarus*), la carpa del Paso (*Notropis orca*) y la carpa narizona (*N. simus*) (Contreras Balderas, 2008).

Por lo menos 34 especies son raras o están en peligro de extinción y al parecer muchas están en la lista de especies en peligro de extinción de Estados Unidos. Las especies en peligro de extinción son esturión, anguila americana, algunas carpas (rodapiedras mexicano, carpita roja, sardinita del Bravo, carpa de manantial, carpa diablo, matalote del Bravo, carpita de Chihuahua, carpa chamizal del río Bravo, carpa chihuahuense, carpa del Bravo, carpa narizona, carpa tamaulipeca, carpita adornada), dos matalotes (chuime, matalote azul), tres bagres (bagre lobo, bagre chihuahuense y una forma única de bagre azul en el río Bravo en el oeste de Texas), una trucha (trucha de Chihuahua) y cuatro cachorritos (*Cyprinodon bovinus*, *C. elegans*, *C. pecosensis* y *C. eximius*). Además hay cuatro vivíparos (guayacón del Big Bend —*Gambusia gaigei*—, guayacón manchado, guayacón del Pecos —*Gambusia nobilis*— y una especie de gambusia no descrita proveniente de la zona de Del Río), una perca (perca del Bravo) y diversas formas costeras (pez aguja, robalo, robalo chucumite, gobio de río). Algunas especies de peces como la carpa del Bravo *Dionda episcopa* y la carpita del Bravo *Notropis jemezanus* están también incluidas en la Lista de Especies en Riesgo de la Norma Oficial Mexicana (Contreras Balderas, 2008). El río Bravo también es hogar de carpas Chamizal en peligro de extinción, en donde se encuentra el último reducto de su hábitat histórico (Hurd y Coonrod, 2007). Varias especies de peces se han extinguido de la cuenca, como la carpa del Paso, la carpa narizona, el guayacón de la Amistad (*Gambusia amistadensis*) y muy posiblemente el góbido de aleta negra (Benke y Cushing, 2005).

El valle bajo es albergue temporal o permanente de cientos de especies de aves (Tate, 2002). El delta del río Bravo es considerado sitio prioritario para la conservación de las aves acuáticas migratorias en México (Bezaury Creel *et al.*, 2000). Muchas especies de aves de la cuenca, como el chipe de cara negra, la garza azul, la garcita blanca, el pedrete corona negra, el ibis oscuro, el martín pescador norteño y el martín pescador verde, dependen del río Bravo (Benke y Cushing, 2005). Casi la mitad de todas las aves cuyo hábitat es la vegetación caducifolia cercana al agua habitará en algún momento estas zonas. La lista federal de especies en peligro de extinción de Estados Unidos incluye seis aves de la cuenca del río Bravo: la mitad son aves canoras migratorias y la otra mitad, grandes aves de presa (Bilbe, 2006).

Entre los anfibios y reptiles acuáticos del río Bravo están la culebra de agua vientre claro, la rana toro, la rana leopardo, la tortuga lagarto, la tortuga de caja y la culebra listonada occidental. El caimán americano habita en la planicie costera del río Bravo (Benke y Cushing, 2005). La frontera del lado del mar de la Laguna Madre está formada por la isla del Padre, cuya parte norte comprende la Costa Nacional Isla del Padre (Servicio Nacional de Parques de Estados Unidos), un área recreativa y de vida silvestre de importancia nacional que incluye hábitat de anidación de la tortuga lora (*Lepidochelys kempi*) en peligro de extinción y otras especies de vida silvestre. A lo largo del río Bravo y sus afluentes y embalses hay otras áreas recreativas y de vida silvestre administradas por los estados que también son importantes para las especies migratorias (Schmitt *et al.*, 2004).

En el río también hay castores, minks y nutrias (Benke y Cushing, 2005).

Factores de impacto

Grandes embalses estructurales, mayor crecimiento poblacional y una asignación excesiva de agua para las actividades agrícola e industrial en la cuenca del río Bravo han provocado cambios drásticos en este río transfronterizo (Parcher *et al.*, 2010). Las demandas de agua de su caudal para satisfacer las necesidades de abasto y eliminación de desechos de los centros de población en Estados Unidos y México son fuertes y en continuo aumento, lo cual ha mermado el agua y la calidad de los hábitats (Schmitt *et al.*, 2004). La calidad del alguna vez poderoso río Bravo preocupa cada vez más a los sectores interesados y a los líderes comunitarios de la región fronteriza entre Estados Unidos y México. Los residentes de esta zona han expresado su inquietud por la posible contaminación del río y sus afluentes debido a las descargas de aguas negras municipales sin tratar, aguas residuales industriales y escurrientías urbana y agrícola. Hoy en día la contaminación de toda clase entraña problemas particularmente inquietantes, como los que se enumeran enseguida:

1. contaminantes en aguas subterráneas y superficiales y la biota provenientes de actividades agrícolas, municipales e industriales;
2. contaminantes transportados por aire generados por la quema de combustibles fósiles y otras actividades;
3. contaminantes de depósitos minerales y actividades mineras pasadas y actuales, y
4. agentes patógenos, productos farmacéuticos, hormonas y otros contaminantes vertidos en aguas residuales humanas y animales tratadas y sin tratar (Buckler y Strom, 2004).

Contaminación química

Desde 1950 las sustancias químicas y petroquímicas de la agricultura afectan cada vez más a la zona del bajo río Bravo. Hoy se pueden encontrar diversas sustancias químicas en la cuenca, en todos los tramos inferiores del río, en cantidades que se acercan o exceden las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para la seguridad de los peces y otros organismos acuáticos (Edwards y Contreras Balderas, 1991).

Los gobiernos de Estados Unidos y México realizaron un estudio conjunto sobre sustancias tóxicas en el río Bravo de 1992 a 1994 en lo que constituyó una investigación científica bilateral sobre las preocupaciones ambientales comunes. Los resultados se publicaron en septiembre de 1995. El estudio surgió a raíz de que la ciudadanía manifestó profunda inquietud porque el río se estaba contaminando con sustancias tóxicas, posiblemente de fuentes industriales y agrícolas cercanas a la frontera. La preocupación por las fuentes industriales se exacerbó con el gran incremento del número de plantas en años recientes: en la actualidad hay más de 1,400 establecimientos industriales en la zona fronteriza. Treinta sustancias químicas que excedieron los niveles de valoración se consideraron de posible preocupación y se les confirió un grado de importancia según la incidencia. En el grupo de alta prioridad se incluyó el cloro residual, cloruro de metileno, tolueno, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, zinc, clordano, p,p'-DDE, dieldrín, gamma HCH (lindano), BPC totales y cianuro. El grupo de prioridad media lo integraban amoníaco no ionizado, paraclorometacresol, fenol y diazinón. En el de baja prioridad estaban los fenólicos recuperables, cloroformo, antimonio, talio, bis (2-etilhexil) ftalato, ftalato de dietilo y di-n-butil ftalato.

Con base en este análisis se concluyó que varios lugares presentaban posibilidades altas o de ligeras a moderadas de impacto de sustancias químicas tóxicas. Por lo menos algunas sustancias excedían los niveles de valoración en uno de los medios analizados (agua, tejido de los peces o sedimentos) en cada estación de la corriente principal o los afluentes que

fueron sometidas a prueba. De los 25 puntos en las corrientes principales y grandes afluentes en que se hicieron muestreos de peces, se detectaron carpas con una o más sustancias químicas tóxicas que excedían los criterios de valoración del tejido de los peces en 23 (o 92 por ciento) de las estaciones. Los resultados del estudio sobre sustancias tóxicas en el río Bravo también indican que los metales pesados excedían con frecuencia los criterios de valoración en cuanto a calidad del agua, calidad de los sedimentos o tejido de los peces. Se detectaron ftalatos y cloruro de metileno (carcinógenos) en el agua por arriba de los niveles de valoración en diversas estaciones de prueba. Se detectaron otras sustancias químicas de uso frecuente en la industria, como tolueno, benceno, tetracloroetileno y xileno (cancerígenos también) en uno o más puntos, aunque no en cantidades que excedieran los criterios de valoración. Las muestras de sedimentos de varias estaciones arrojaron niveles variables de mortalidad de la carpita cabezona (*Pimephales promelas*), que iban de 25 a 100 por ciento. En cinco sitios se encontraron bifenilos policlorados (BPC) en el tejido de los peces en cantidades que excedían los criterios de valoración. Además, en cinco estaciones se encontró plaguicida DDT por arriba de los criterios de valoración (Kelly y Contreras Balderas, 1994).

Corrientes principales

Alta posibilidad de impactos por sustancias químicas tóxicas:

- Aguas abajo de El Paso-Ciudad Juárez
- Aguas abajo de Laredo-Nuevo Laredo

Posibilidad ligera a moderada de impactos por sustancias químicas tóxicas:

- Aguas arriba de la confluencia del río Conchos cerca de Presidio-Ojinaga
- Aguas abajo de Eagle Pass-Piedras Negras
- Aguas abajo de la presa Anzaldúas
- Abajo del dren Anheló al sur de Las Milpas

Afluentes

Alta posibilidad de impacto por sustancias químicas tóxicas:

- Planta de tratamiento de aguas de la Comisión de Servicios Públicos de El Paso en Haskell R. Street
- Dren de descarga en Ciudad Juárez
- Arroyo Manadas
- Arroyo Zacate
- Arroyo El Coyote
- Dren Anheló

Posibilidad ligera a moderada de impactos por sustancias químicas tóxicas:

- Río Conchos
- San Felipe Creek
- Afluente desconocido al sur de Eagle Pass-Piedras Negras
- Arroyo Los Olmos (TCEQ, 2010).

En otro estudio, Levings *et al.* (1998) informaron haber detectado plaguicidas en zonas con uso de suelo tanto agrícola como urbano, donde 29 por ciento de los pozos poco profundos contenían por lo menos un plaguicida. Prometón y metolacloflo fueron los que se encontraron con mayor frecuencia, aunque ningún compuesto excedía las normas para el agua potable de la EPA. Además, en todas las muestras de agua subterránea se detectó radón —un radionucleido que ocurre de manera natural en el valle del río Bravo— en concentraciones que iban de 190 a 2,300 picocuries por litro. Alrededor de 57 por ciento de las muestras excedían de 300 picocuries por litro, la norma para agua potable propuesta por la EPA. La presencia de DDT y sus metabolitos, DDE y DDD en sedimento de lechos y en peces completos confirmó la persistencia de este plaguicida en el medio ambiente. Hace poco, Hinck *et al.* (2009) concluyeron que las concentraciones de DDT residual en diferentes partes del río Bravo representan un gran riesgo para el águila calva. También se detectó cisclordano, transclordano y transnonaocloflo en muestras de peces completos. Se encontraron concentraciones sumamente elevadas de antimonio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, plata y zinc en sedimentos de lechos, así como concentraciones elevadas de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en el tejido de los peces (hígado).

Después de analizar 368 peces de siete especies de diez sitios de la cuenca del río Bravo, Schmitt *et al.* (2004) determinaron que, en general, los peces de estaciones ubicadas en la cuenca del bajo río Bravo contenían mayores concentraciones de algunos contaminantes y al parecer eran menos saludables que los de sitios de las partes central y alta de la cuenca, como lo indica el gradiente general de concentraciones de plaguicidas y las respuestas de bioindicadores de aguas arriba hacia aguas abajo. En la cuenca del alto río Bravo se observó un número mínimo de bioindicadores alterados y pocas o nulas concentraciones elevadas de contaminantes. La excepción fueron las elevadas concentraciones de mercurio total (Hg) en especies predatoras del río Bravo en la presa Elephant Butte.

Además, en la cuenca del bajo río Bravo se encontraron residuos inequívocos de plaguicidas organoclorados (metabolitos de DDT, compuestos relacionados con clordano, dieldrín y toxafeno) en los peces de la mayoría de los sitios; las concentraciones excedían los umbrales de

toxicidad para peces y vida silvestre en el río Bravo en Mission, el arroyo Colorado en Harlingen y el río Bravo en Brownsville, todos en Texas. Las concentraciones de arsénico también fueron comparativamente altas en lobinas del río Bravo en Brownsville, Texas. En especial, los bagres de canal (*Ictalurus punctatus*) de arroyo Colorado en Harlingen, Texas, contenían altas concentraciones de p,p'-DDE, residuos relacionados con clordano, toxafeno y dieldrín. Además de la etoxiresorufin-O-dietilasa (EROD),⁸ la carpa de arroyo Colorado en Harlingen, Texas, se caracterizó por puntuaciones ligeramente altas del índice de evaluación del estado de salud (*Health Assessment Index*, HAI) y una frecuencia comparativamente elevada de lesiones externas en la lobina en el río Bravo en Brownsville, Texas. El examen histopatológico reveló que estas últimas habían sido inducidas por parásitos. Se observaron valores HAI individuales comparativamente altos en el río Bravo en Brownsville, Texas, y en la presa internacional Falcón y uno o más parámetros totales en macrófagos estaban elevados en carpa, lobina o ambos en el bajo río Bravo. Los bioindicadores reproductivos también eran compatibles con la exposición crónica a contaminantes en los sitios de la cuenca del bajo río Bravo. Se detectaron proporciones relativamente altas de lobina negra con características intersexuales en tres sitios de la cuenca del bajo río Bravo en Texas, incluido el río Bravo en Brownsville (50 por ciento), en la presa Falcón (44 por ciento) y en Mission (20 por ciento) (Hinck, 2009). También se observaron puntuaciones de índice gonadosomático relativamente bajas y concentraciones elevadas de vitelogenina⁹ en machos de peces, observándose además altos porcentajes de ovocitos atrésicos en los ovarios de hembras de carpa del río Bravo en Brownsville, Texas. Aunque muchas de las condiciones observadas pueden deberse a otras causas, los datos de bioindicadores de las estaciones de la cuenca del bajo río Bravo coinciden con respuestas sutiles a contaminantes; esta interpretación se apoya en los datos químicos de otras investigaciones recientes.

Se determinó que muchos de los refugios asociados al río Bravo y sus principales afluentes, que son administrados por la USFWS, corren el riesgo de sufrir daños producidos por plaguicidas, selenio (Se), infiltración salina y otros contaminantes emanados de la agricultura y la producción de petróleo y gas. Entre aquellos se cuentan los refugios nacionales de vida silvestre (RNVS) Alamosa y Monte Vista, en Colorado; Bosque del Apache,

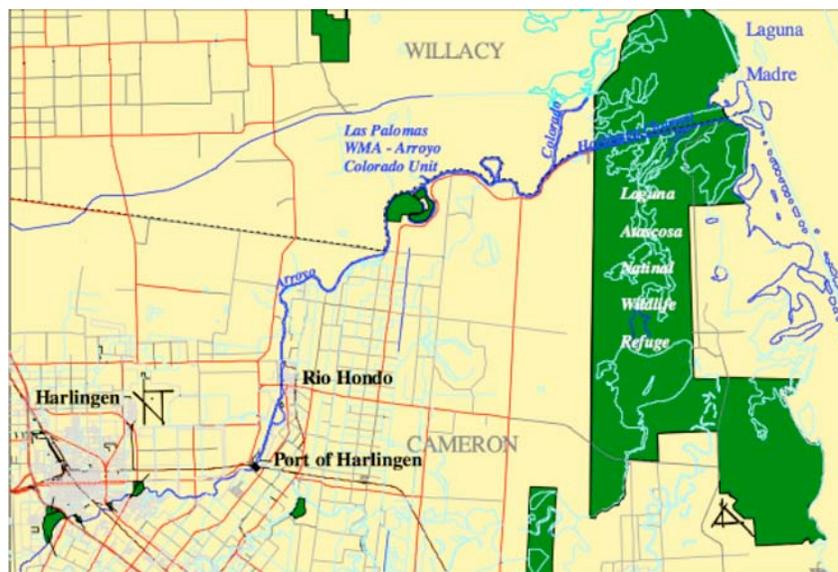
⁸ Bioindicador de exposición a ciertos hidrocarburos halogenados planares (HHP) y aromáticos policíclicos (PHH y HAP), así como a otros compuestos estructuralmente similares (Whyte *et al.*, 2000).

⁹ Proteína que suele encontrarse sólo en hembras de peces en la pubertad y que es precursora del vitelo.

Sevellita, Las Vegas y Bitter Lake, en Nuevo México, y el valle del bajo río Bravo, Santa Ana y laguna Atascosa, en Texas.

El RNVS Laguna Atascosa está situado en el lado de la Laguna Madre que da a tierra firme, en la confluencia del arroyo Colorado (véase la gráfica 24). Este arroyo, que atraviesa el refugio y lo abastece de agua dulce, está muy contaminado con sustancias químicas agrícolas y es la causa principal de que la laguna Atascosa figure entre los refugios de la cuenca del río Bravo considerados en riesgo por contaminantes. La Unidad Mercedes del RNVS Valle del Río Bravo, junto con otros refugios estatales y privados, está situada en la orilla norte del arroyo Colorado en el lago Llano Grande, aguas arriba de Harlingen, Texas. Este lago tiene una larga historia de contaminación con plaguicidas organoclorados y permanece bajo advertencia sobre el consumo de pescado (Schmitt, 2004).

Gráfica 24. Localización del arroyo Colorado



Localización del arroyo Colorado desde aguas arriba del puerto de Harlingen hasta su confluencia con la Laguna Madre en los condados de Willacy y Cameron.

Fuente: El-Hage y Moulton, 2000.

Microorganismos

A pesar de su función crítica en la agricultura y el abasto de agua potable de la región, pocos estudios han evaluado la calidad microbiana del río Bravo, en especial del parásito *Cryptosporidium*. Éste provoca diarrea y ha sido responsable de numerosos brotes de enfermedades propagadas por el agua y los alimentos. La criptosporidiosis puede ser mortal en personas con sistemas inmunológicos debilitados y a la fecha no existe un tratamiento

eficaz para la enfermedad. Los resultados de uno de estos estudios demostraron que los límites de detección de *Cryptosporidium* en las muestras de agua fluctuaban entre 20 y 200 oocistos/100 l, equivalentes a uno o dos órdenes de magnitud del nivel de riesgo anual aceptable de la EPA de Estados Unidos, que es de 10^{-4} . Animales domésticos y salvajes como rumiantes, cérvidos, cerdos, perros, gatos y otros mamíferos son las fuentes principales de oocistos de *Cryptosporidium* en el medio ambiente. Poblaciones extensas de estos animales huésped en un ecosistema provocan la propagación de oocistos de *Cryptosporidium* en aguas ambientales (ríos y lagos). La cría de ganado es la actividad más usual en la cuenca del río Bravo, lo que puede contribuir a la concentración microbiana de las aguas del río. Los datos de bacterias coliformes totales y fecales demostraron la importancia de la cría de animales y de las aguas negras sin tratar como fuentes de contaminación fecal (Ryu *et al.*, 2005). Otros estudios demostraron grandes variaciones en el número de coliformes fecales, así como de *Escherichia coli* mes tras mes, pero confirmaron la presencia constante de *Helicobacter pylori* en un segmento de 112 km del río Bravo, desde Sunland Park, Nuevo México, hasta Fort Hancock, Texas (Mendoza *et al.*, 2004). Al respecto, Parsons Water & Infrastructure Inc. (2005) informó que, en general, las principales fuentes de *E. coli* eran silvestres (sobre todo aviar), con 46 por ciento, y las mascotas, con 24 por ciento. Estos dos grupos son responsables de 70 por ciento de la *E. coli* detectada en todas las muestras de agua. Los seres humanos y el ganado contribuyeron con 16 y 14 por ciento, respectivamente.

Especies invasoras (contaminación biológica)

Otro factor que complica la situación es que el río Bravo tiene varias especies no-nativas o "introducidas". Éstas provienen de por lo menos dos fuentes: pesquerías en presas como La Amistad, Falcón y otras, y la invasión de especies tolerantes al agua salada a medida que las aguas se vuelven más salinas al reducirse el flujo de agua dulce o por otros factores (Kelly y Contreras Balderas, 1994).

Levings *et al.* (1998) informaron de hallazgos similares y sugieren que una de las rutas principales para que se diera esta situación fue el repoblamiento de peces, que con toda probabilidad ocasionó el desplazamiento de las especies nativas mediante mecanismos como competencia y predación. También atribuyen el éxito de los invasores a que la mayoría de estas especies eran omnívoras y tolerantes a la contaminación. Ya quedó demostrado que los peces invasores tienen mayor resistencia a los factores de presión ambiental y se adaptan mejor a las condiciones adversas de los ambientes acuáticos del desierto (Castelberry y Chech, 1986).

El cuadro 1 muestra los resultados de las especies no-nativas encontradas en el Estudio binacional sobre la presencia de sustancias tóxicas en el río Bravo y sus afluentes, en su porción fronteriza entre México y Estados Unidos. Al parecer en este estudio la recolección fue un tanto deficiente, ya que tal vez se hayan omitido, sobre todo eurihalinas (Kelly y Contreras Balderas, 1994).

Cuadro 1. Estado y hábitat preferido de las especies de peces recolectadas en el río Bravo y sus afluentes

Nombre científico	Nombre común	Estado	Hábitat preferido
<i>Cyprinella venusta</i>	Carpita colinegra	I	D
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa espejo	I	D
<i>Fundulus zebrinus</i>	Pez cebra	I	D
<i>Morone chrysops</i>	Lobina blanca	I	D
<i>Lepomis auritus</i>	Pez sol garganta roja	I	D
<i>Lepomis microlophus</i>	Mojarra oreja roja	I	D
<i>Micropterus dolomieu</i>	Lobina de boca pequeña	I	D
<i>Sizostedion vitreum</i>	Lucioperca americana	I	D
<i>Tilapia aurea</i>	Tilapia azul	I	D

Estado: N = nativo, I = introducido.

Hábitat preferido: D = agua dulce, E = estuarino, M = marino.

Fuente: CILA, 1994.

Las recolecciones de peces del bajo río Bravo de los últimos 138 años sugieren dos comunidades faunísticas autóctonas: una, aguas arriba, compuesta en su mayor parte de especies de agua dulce, y la otra, aguas abajo, integrada por una mezcla de los elementos más abundantes de aguas arriba y especies más estuarinas.

Sin embargo, recolecciones hechas por Edwards y Contreras Balderas (1991) a principios de los años noventa en el bajo río Bravo indican que han ocurrido fuertes alteraciones en estas comunidades de peces. La fauna aguas arriba perdió muchos de sus componentes característicos de agua dulce, y formas exóticas o estuarinas reemplazaron a las especies nativas dulceacuícolas. La fauna de aguas abajo tiene menos taxones de agua dulce por el reemplazamiento de especies estuarinas y marinas. Los autores informan de 20 especies estuarinas y 59 marinas para el bajo río Bravo. También observaron un descenso general (o la desaparición) de algunas especies en todo el bajo río Bravo.

No es posible hacer una separación perfecta entre especies nativas e introducidas, dado que peces como la anguila americana (*Anguilla rostrata*), la trucha tropical o tepemechin (*Agonostomus monticola*) y el chupa piedra (*Awaous banana*) son miembros ordinarios de la comunidad nativa dulceacuícola deltaica que con frecuencia penetran largas distancias tierra adentro, aunque representan formas que también ocurren en hábitats marinos (Contreras Balderas *et al.*, 2002). Estos autores encontraron una disminución en los peces primarios, sobre todo neárticos; colonizadores (principalmente marinos) que invaden la periferia y con el tiempo penetran aguas arriba, dándose el cambio de peces de salinidad baja a más alta; formas secundarias que cambian de manera irregular aunque también disminuyen con lentitud, en especial cerca del delta, y un número cada vez mayor de especies invasoras introducidas en las represas (véase el cuadro 2). Sin embargo, las formas de agua dulce también sufrieron disminuciones cerca del delta, sobre todo en tiempos más recientes. Un aspecto interesante es que el tamaño de las comunidades de peces al parecer permanece estable incluso en condiciones alteradas, con la excepción de que las especies nativas han sido remplazadas por colonizadores.

Cuadro 2. Especies exóticas registradas por Edwards y Contreras Balderas, 1991

Nombre científico	Nombre común	Estado	Hábitat preferido
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa espejo	I	D
<i>Carassius auratus</i>	Carpa dorada	I	D
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	Carpita dorada	I	D
<i>Morone chrysops</i>	Lobina blanca	I	D
<i>Lepomis auritus</i>	Pez sol garganta roja	I	D
<i>Lepomis gulosus</i>	Mojarrón, mojarra golosa	I	D
<i>Lepomis microlophus</i>	Mojarra oreja roja	I	D
<i>L. microlophus X L. macrochirus</i>	Pez sol híbrido	I	D
<i>Pomoxis annularis</i>	Robaleta blanca	I	D
<i>Oreochromis aureus</i>	Tilapia azul	I	D

Estado: N = nativo, I = introducido.

Hábitat preferido: D = agua dulce, E = estuarino, M = marino.

Fuente: IBWC, 1994.

Las plantas acuáticas invasoras también constituyen un grave problema en el río Bravo, ya que consumen grandes cantidades de líquido en todo el río y perturban el ecosistema. El crecimiento descontrolado de tamarisco, helecho flotador gigante, jacinto de agua, hidrilla y la mienrama de agua afecta el suministro y la calidad del agua, la producción de energía

hidroeléctrica, el control de las inundaciones, la navegación, la recreación, los peces y la vida silvestre, los valores de propiedad, y, en casos aislados, provoca la pérdida de vidas humanas. El crecimiento económico de la cuenca del río Bravo depende del agua, de modo que controlar y finalmente detener la propagación de especies acuáticas invasoras es de importancia capital. El tamarisco (*Tamarix spp*) está extrayendo hasta la última gota del alto río Bravo, de El Paso al Big Bend. El medio río Bravo, de Del Río a Zapata, padece las especies exóticas carrizo gigante (*Arundo donax*) y mienrama de agua (*Myriophyllum spicatum*). El bajo río Bravo, del lago Amistad al golfo de México, ha sido invadido por hidrilla (*Hydrilla verticillata*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) (TWCA, 2010).

En particular, los jacintos y la hidrilla se han ido apoderando de grandes tramos del río. Estas especies invasoras no sólo extraen el agua por sus raíces y luego la transpiran a la atmósfera, sino que también obstruyen el libre curso del río (véase la gráfica 25). Las plantas tienen algunos de los índices de crecimiento más altos del mundo y pueden duplicar su población alcanzando densidades de biomasa de hasta 200 ton por acre en menos de dos semanas. En los últimos años, el administrador de las aguas del río Bravo tuvo que liberar de 20 a 25 por ciento más agua de la presa Falcón para que el agua de riego pudiera pasar por las obstrucciones en medio del río (véase la gráfica 26).

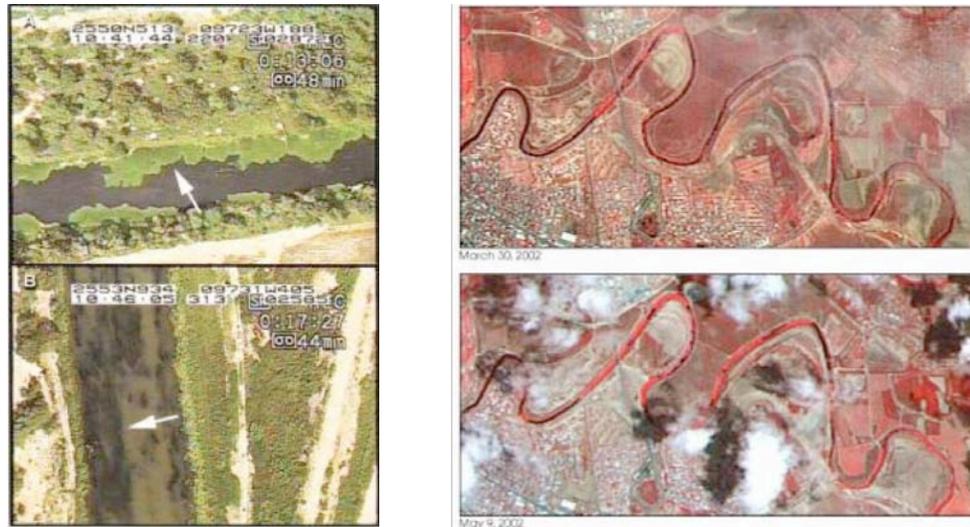
Gráfica 25 El Río Bravo aguas arriba de Brownsville, Texas



Fotografía del Río Bravo aguas arriba de Brownsville, Texas, cerca de Lloyd Bend, tomada el 26 de agosto de 2001. Los jacintos de agua cubren el río por completo, convirtiéndose en un obstáculo insuperable.

Fuente: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RioGrande.php>>.

Gráfica 26. Infestaciones de jacinto de agua e hidrilla en el río Bravo cerca de Brownsville, Texas



Izquierda: Imágenes aéreas de video en color normal de infestaciones de jacinto de agua (A) e hidrilla (B) en el río Bravo, cerca de Brownsville, Texas. Las flechas señalan el jacinto y la hidrilla en cada imagen respectiva. Las imágenes fueron obtenidas el 19 de septiembre de 2002 a una altura aproximada de 600 m sobre el nivel del suelo.

Fuente: Everitt *et al.*, 2003.

Derecha: Imágenes en falso color producidas a partir de datos de sensores cuasi infrarrojos a bordo del ASTER. En la región cuasi infrarroja del espectro, la vegetación fotosintéticamente activa es muy reflectante, por lo que la vegetación se ve color rojo brillante, mientras que el agua, que absorbe la radiación cuasi infrarroja, se ve negra. Nótese que el 30 de marzo ya se observa una infestación de jacinto de agua cerca del centro de la imagen. Para el 9 de mayo, la población de jacinto se expandió hasta cubrir más de la mitad del río en la imagen izquierda.

Fuente: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RioGrande.php>>.

Las infestaciones de plantas exóticas pueden perjudicar el medio ambiente al reemplazar la vegetación acuática nativa y afectar a las poblaciones de peces, además de que evitan que la luz del sol y el oxígeno penetren al agua. La materia de las plantas en descomposición reduce el contenido de oxígeno disuelto en el agua, con posibles consecuencias mortales para la vida acuática. Deterioran la calidad del agua, impiden que el líquido corra y reducen la diversidad biológica (Allen, 2002). Al restringir la corriente, pueden elevar artificialmente los niveles de agua y ocasionar que se pierda más líquido al ser absorbido por las riberas (Everitt *et al.*, 2003).

Así como las plantas pueden obstruir el río, pueden también obstruir los acueductos y las tuberías de distribución del líquido. Brownsville, Texas, levantó cercas y puertas para evitar que la vegetación fuera arrastrada al agua de la ciudad, pero estas estructuras ya fueron sobrepasadas y se ha acumulado tanta vegetación alrededor de las bombas de entrada del agua que la presión echó abajo algunas bardas. La ciudad envió trabajadores armados con pértigas para que de pie en el río empujaran plataformas

flotantes de plantas y las alejaron de las entradas de agua mientras que otros reparaban las cercas y erradicaban las infestaciones (Allen, 2002).

Pareciera haber una suerte de círculo vicioso, ya que los jacintos reducen el caudal del río, pero el caudal reducido a su vez lleva a la formación de masas de jacintos (Parcher *et al.*, 2010). Como medida de control, en diciembre de 2006 se soltaron 20,000 carpas herbívoras en el río Bravo abajo de la presa Falcón para tratar de reducir las poblaciones de hidrilla (CILA, 2006).

Embalses

Desde su nacimiento hasta el golfo de México, el río Bravo ha sido transformado por los intentos del hombre para adaptarse a su variabilidad. Un ejemplo es la compleja red de estructuras de control del cauce que se ha construido en el río y muchos de sus afluentes para almacenar el agua y controlar las inundaciones y los sedimentos, así como para cumplir con obligaciones interestatales e internacionales de entrega de agua (Tate, 2002). A la fecha hay cien presas de gran tamaño,¹⁰ ocho de ellas en la corriente principal del río, y seis de tamaño monumental¹¹ (Wong *et al.*, 2007).

La siguiente descripción de los embalses que controlan el caudal del río Bravo fue proporcionada por Schmitt *et al.* (2004). La presa Cochiti, ubicada a unos 80 km (50 millas) al norte de Albuquerque, Nuevo México, es el más septentrional de los embalses grandes en el curso principal del río (véase la gráfica 27). Debajo de la presa Cochiti, la presa Angostura desvía el agua para abastecer partes del Distrito de Conservación del Medio Río Bravo. Las aguas de la presa Jemez Canyon se unen a las del río Bravo bajo la presa Angostura, aguas arriba de Albuquerque. Pasando Albuquerque, el agua es desviada otra vez en la presa Isleta Diversion. A efecto de reducir las pérdidas excesivas por evaporación abajo de San Acacia, Nuevo México, en los años cincuenta se construyó un canal de 113 km paralelo al río Bravo, conocido como canal de transporte de bajo caudal (*Low Flow Conveyance Channel*, LFCC); sin embargo, la sedimentación que después se formó en la estructura hizo necesario cerrarla al transporte. A la fecha, el canal colecta los escurrimientos de la agricultura de áreas irrigadas cerca del río y surte de agua al Refugio Nacional de Vida Silvestre Bosque del Apache. Aguas abajo del refugio, todo el caudal del río Bravo es captado por la presa Elephant Butte (Oficina de Aprovechamiento Hídrico de Estados Unidos, USBR) y después por la presa Caballo (USBR). Pasando esta última presa, el río Bravo se enfila al suroeste a lo largo de la orilla poniente de Las Cruces, Nuevo México, y entra a Texas al noroeste de El Paso. Arriba de El Paso, en

¹⁰ Más de 15 m de altura.

¹¹ Más de 150 m de altura.

la presa Americana (USBR), casi toda el agua restante se desvía al canal Americano (Estados Unidos) y la acequia Madre (México) para usos agrícolas y municipales.

Gráfica 27 Mapa de la cuenca del río Bravo que ilustra canales y embalses, tierras e instalaciones federales e indígenas, principales áreas metropolitanas y fronteras estatales



Se muestran tierras de comunidades indígenas (tribus) y tierras administradas por el Servicio Forestal de Estados Unidos (USFS), el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (USFWS), el Servicio de Parques Nacionales (USNPS) y la Oficina de Manejo de la Tierra (USBLM).

Fuente: Schmitt *et al.*, 2004.

Las aguas del río Bravo y su infraestructura hidrológica corriente abajo de Fort Quitman, Texas (al este de El Paso) son administradas por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) del Departamento de Estado de Estados Unidos en virtud de varios tratados celebrados con México. Por alrededor de 402 km después de El Paso hasta la confluencia del río Conchos cerca de Presidio, Texas, las descargas al río Bravo son intermitentes y constan de escurrimientos de agua de lluvia y de la irrigación y residuos municipales. Desde Presidio aguas abajo hasta la presa internacional Amistad y la confluencia del río Pecos, la mayor parte del agua del río Bravo se origina en México con la contribución del río Conchos.

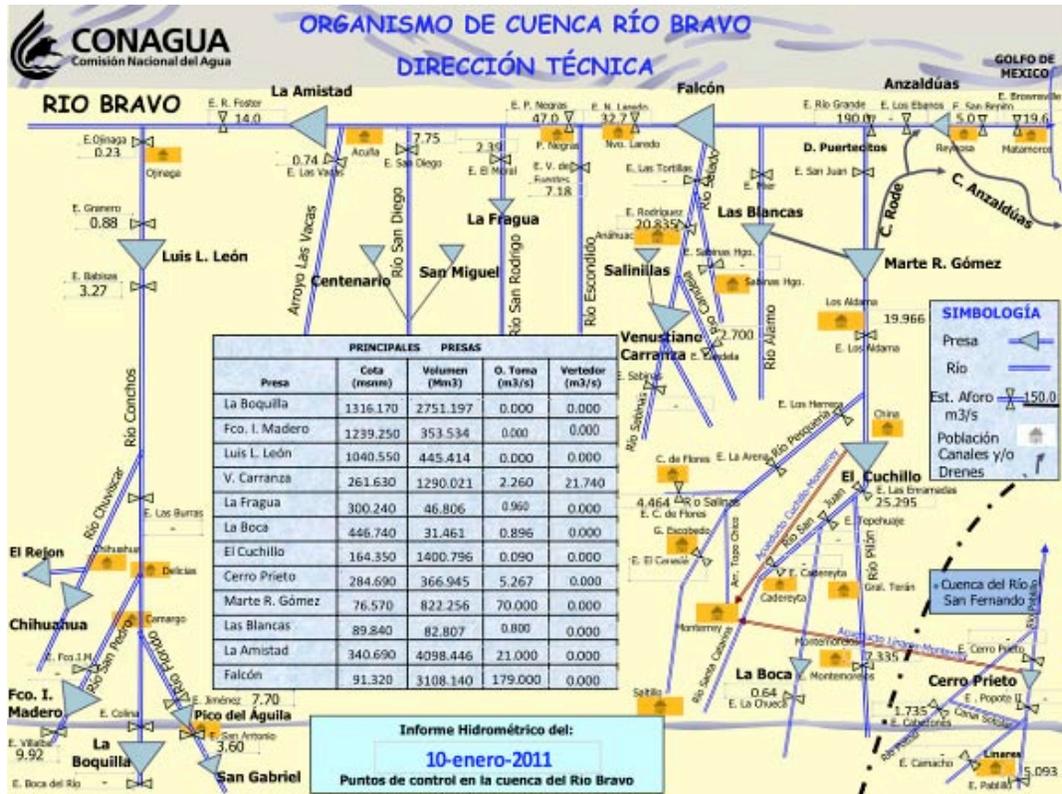
El río Pecos nace en las montañas Sangre de Cristo al este de Santa Fe, Nuevo México, y corre 1,480 km al sur y al este a través de Nuevo México y Texas hasta su confluencia con el río Bravo en Langtry, Texas, cerca del extremo aguas arriba de la presa internacional Amistad. Este río baña alrededor de 99,228 km² y a todo lo largo de su cauce es controlado por una serie de embalses y otras estructuras de gestión del agua de las que el líquido es desviado para destinarlo a usos agrícolas y de otra clase. Entre los embalses sobre el río Pecos en Nuevo México están la presa Brantley (antes lago McMillan), el lago Sumner (antes presa Alamogordo), el lago Santa Rosa y el lago Avalon. Los embalses en la cuenca del río en Texas son el lago Red Bluff, el lago Toyah, la presa Imperial, etcétera.

Aguas arriba de Del Río-Ciudad Acuña, las aguas del río Bravo, junto con las de los ríos Pecos y Devil, son embalsadas por la presa internacional Amistad. Debajo de ésta, el río corre libremente 440 km hasta que se embalsa otra vez en la presa internacional Falcón. De la presa Falcón al golfo de México, una distancia de 480 km, el río Bravo en general vuelve a fluir en libertad; sin embargo, gran parte del cauce es desviado al arroyo Colorado en la presa Anzaldúas, al norte de Hidalgo, Texas. El arroyo Colorado, un canal de distribución, se administra por medio de una serie de cauces de alivio para controlar las inundaciones, así como para efectos de riego. Por último, pasa por el RNVS Laguna Atascosa y después llega a la Laguna Madre inferior. El resto del río Bravo sigue hacia el sureste, pasando por las afueras de Brownsville, Texas, antes de descargar en el golfo de México.

En el lado de México, los recursos hídricos también han sido objeto de amplio desarrollo y hay más proyectos en proceso de planeación. Además de las presas internacionales Amistad y Falcón, a la fecha hay 13 embalses de almacenamiento en afluentes del río Bravo (véase la gráfica 28). De éstos, siete (San Gabriel, Boquilla, Fco. I. Madero, Pico del Águila, Chihuahua, El Rejón y El Granero [Luis León]) están en la cuenca del río Conchos; dos en la cuenca del río San Diego (Centenario y San Miguel); dos en la cuenca del río San Juan (El Cuchillo y Marte R. Gómez); una en la

cuenca del río San Rodrigo (La Fragua), y una en la cuenca del río Salado (Venustiano Carranza) (Conagua, 2011).

Gráfica 28. Presas a lo largo del río Bravo en México



Fuente: Conagua, 2011.

El río Bravo ya no sigue su cauce natural. Con todas las presas y redes de derivación, el agua está suficientemente controlada. Antes de que el líquido llegue siquiera a El Paso, Texas, gran parte del mismo ha sufrido tantas desviaciones —que se incrementan durante las sequías—, que muchos de los lechos están secos. Los cambios antropogénicos en el caudal del río (como los embalses) afectan los tiempos y la magnitud estacional de los flujos máximos y pueden causar alteraciones drásticas en el cauce y la vegetación riparia (Baldwin, 2002). Las pruebas actuales indican que la interrupción del ciclo normal de los pulsos de inundación del bajo río Bravo, provocada por el embalse del lago Falcón y la mala administración de las liberaciones de líquido de la presa Falcon Lake, han contribuido al descenso considerable en la integridad de los ecosistemas (Small *et al.*, 2009).

En casi todos los continentes la modificación de los ríos ha afectado su curso natural hasta el punto de que su descarga al mar durante la

temporada de secas es nula (Revenge *et al.*, 2008). El río Bravo no es la excepción, ya que en 2002 la reducción del caudal provocó que el depósito de una barra de arena bloqueara la desembocadura del río, cerrando el paso del caudal hacia el golfo de México (Parcher *et al.*, 2010) (véase la gráfica 29). Este bloqueo de sedimentos y arena redujo los niveles de salinidad del tramo inferior del río y posteriormente permitió que el jacinto de agua y la hidrilla avanzaran todavía más corriente abajo. La causa principal del bloqueo fue la reducción del caudal del río Bravo atribuida a la prolongada sequía (Everitt *et al.*, 2003).

Gráfica 29. Sedimentación del banco de arena en la desembocadura del río Bravo

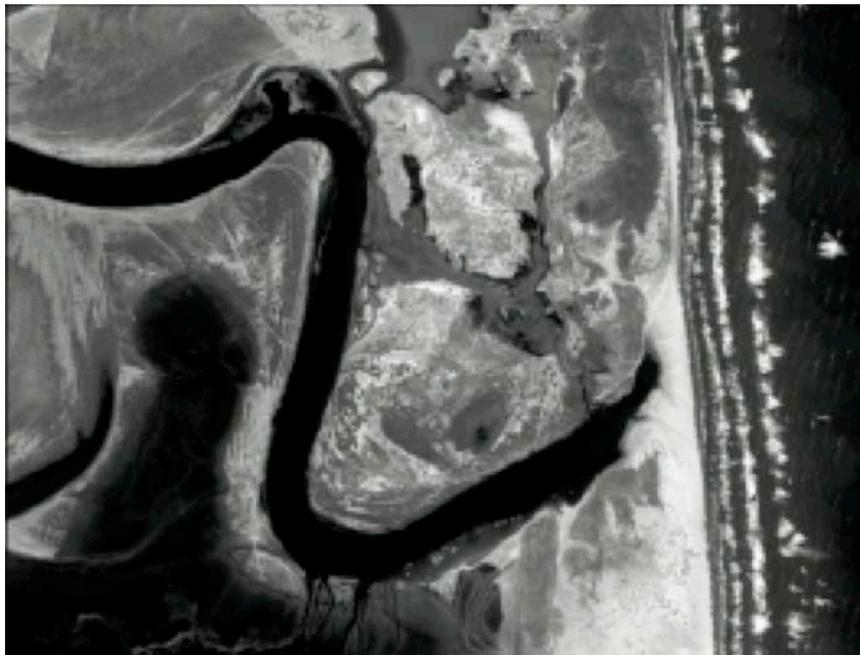


Imagen de alta resolución del satélite SPOT tomada el 2 de mayo de 2002, que muestra la sedimentación del banco de arena que bloqueó el paso de las aguas del río Bravo al golfo de México.

Fuente: Parcher *et al.*, 2010.

El aspecto positivo del cierre de la desembocadura fue que evitó temporalmente que las especies marinas invadieran la corriente baja del río.

Los cambios estructurales, como presas, control de inundaciones y canalización, modifican la dinámica de los ecosistemas acuáticos, fragmentan los sistemas existentes y unen los otrora desconectados. En muchos casos estas modificaciones han hecho posible la agricultura y el transporte y por consiguiente han desempeñado un papel fundamental en la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, la alteración de la estructura de un río también puede generar cambios muy costosos, como el

descenso en la captura de peces, la pérdida de biodiversidad de agua dulce, el aumento de la frecuencia y la gravedad de las inundaciones, la pérdida de nutrientes del suelo en la planicie de inundación e incremento en la incidencia de enfermedades como esquistosomiasis y malaria. Las presas son barreras para la migración de los peces y para el movimiento natural de sedimentos, nutrientes y agua, todo lo cual alimenta las planicies de inundación de los alrededores y por último el mar (Revenga *et al.*, 1998).

De acuerdo con McAllister *et al.* (2001), las presas y sus embalses asociados afectan la biodiversidad dulceacuícola por las siguientes razones descritas a continuación.

- Bloquean el movimiento ascendente y descendente de las especies migratorias, ocasionando la extirpación o extinción de poblaciones o especies genéticamente distintas.
- Los niveles cambiantes en la turbidez o los sedimentos a los que están adaptados las especies o ecosistemas en los ríos afecta a las especies adaptadas a los niveles naturales. El fango atrapado en las represas priva a los deltas y estuarios corriente abajo de los materiales y nutrientes de sustento que ayudan a convertirlos en ecosistemas productivos.
- Filtran los residuos leñosos que sirven de hábitat y sustento a una cadena trófica.
- Cambian las condiciones de los ríos inundados por represas: el agua corriente se estanca, se depositan sedimentos, se crean condiciones en zonas de aguas profundas y de temperatura y oxígeno que no son apropiadas para las especies riparias.
- Proveen de nuevos hábitats a aves acuáticas, en particular para la invernación o en regiones áridas, lo que puede ayudar a incrementar sus poblaciones.
- Fomentan las especies exóticas, que tienden a desplazar la biodiversidad autóctona.
- Las represas pueden ser colonizadas por especies que son vectores de enfermedades en el ser humano y los animales.
- Las planicies de inundación proveen de hábitat vital a diversas biotas de río durante las crecidas en muchas cuencas hidrográficas. La gestión de las presas, misma que disminuye o detiene la inundación normal por los ríos de estas planicies, afecta la diversidad y los recursos pesqueros.
- Cambian la descarga estuarina estacional normal, lo que puede reducir el abasto de nutrientes arrastrados, afectando las cadenas tróficas que sustentan las pesquerías en deltas de tierra adentro y estuarios.

- Modifican la calidad del agua y los patrones de flujo corriente abajo.
- Los efectos de una serie de presas son acumulativos, en especial en lugares donde la huella del impacto de una presa se traslapa con la de otra u otras corriente abajo.
- Otras actividades humanas, como la agricultura, la silvicultura, la urbanización y la pesca, aunque éstas se realicen principalmente en tierra.

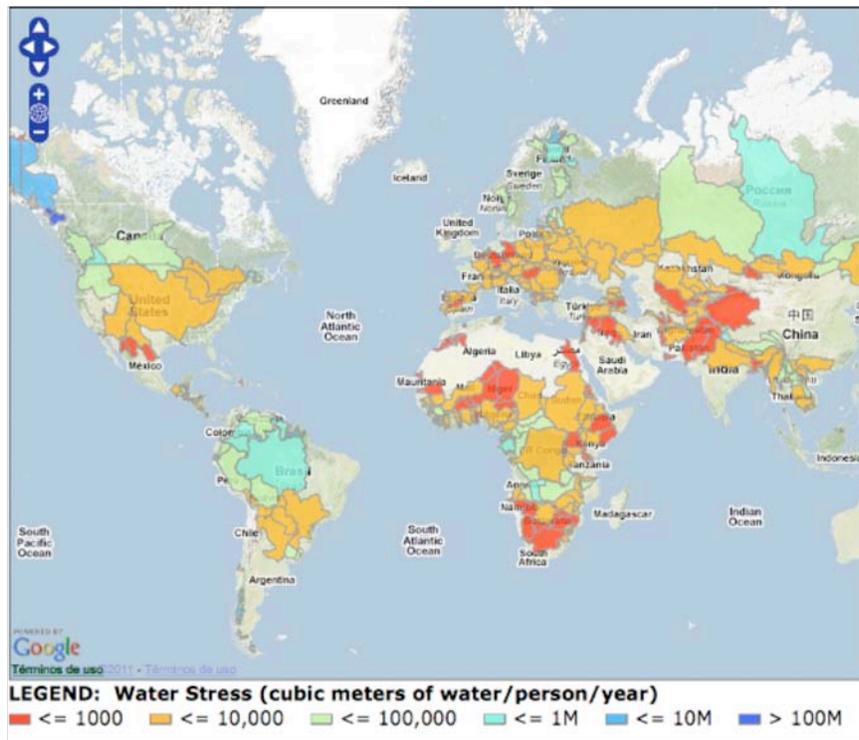
Sobreextracción del agua

Los seres humanos extraen alrededor de una quinta parte del flujo normal (no de inundación) de los ríos del mundo, pero en las cuencas de regiones áridas o populosas la proporción puede ser mucho más alta, con consecuencias para las especies que habitan en estos sistemas o dependen de ellos, así como para el futuro suministro de agua para el consumo humano (Revenga *et al.*, 2000). La cantidad total de agua sacada o extraída de sistemas de agua dulce se ha elevado 35 veces en los últimos 300 años y desde el decenio de los sesenta se ha incrementado 20 por ciento cada década. La agricultura es responsable de 70 por ciento del agua que se destina a consumo humano. Además, alrededor del mundo el agua subterránea también se extrae con más rapidez de la que puede recargarse, agotando un recurso que alguna vez fue renovable (Revenga *et al.*, 1998).

El río Bravo lleva poco agua en comparación con otros ríos de igual extensión. Como ocurre con otros ríos que atraviesan regiones áridas, tiende a reducir su tamaño a medida que corre aguas abajo. La mayor parte de la precipitación de la cuenca cae en alguno de los extremos del río, como nieve cerca de sus fuentes originarias o como lluvia cerca de su desembocadura (Patino Gómez y McKinney, 2006). La agricultura en la cuenca del río Bravo es muy productiva y el riego exige más de 85 por ciento de sus aguas. Además, el crecimiento poblacional y las demandas de agua de la cuenca para uso urbano se han incrementado y se espera que se dupliquen en los próximos 50 años. La persistente sequía de la región también limita la cantidad de agua disponible para usos agrícolas y urbanos (RGI, 2010). En promedio hay una sequía cada siete-diez años (Berger, 1995); sin embargo, una sequía más o menos reciente duró más de diez años (desde 1992 hasta 2003), lo que causó numerosas dificultades en la cuenca del bajo río Bravo abajo de Ft. Quitman, Texas (Patiño Gómez y McKinney, 2006).

Esta región se considera una de las zonas con más presiones sobre el agua del mundo con menos de 500 m³ de agua disponibles por persona al año (Tate, 2002) (véanse la gráfica 30 y el cuadro 3). La cuenca se enfrenta a escasez per cápita de agua y es probable que para 2025 se agrave todavía más (Revenga *et al.*, 2000).

Gráfica 30. Presiones mundiales sobre el agua



Fuente: <www.transboundarywaters.orst.edu>.

Cuadro 3. Índices de presión sobre el agua

Término	Cantidad de agua	Resultados
Suficiencia relativa	> 1700 m ³ /persona/año	
Presiones en materia de agua	< 1700 m ³ /persona/año	Escasez intermitente y localizada de agua dulce
Escasez de agua	< 1000 m ³ /persona/año	Problemas crónicos y difundidos de agua dulce
Escasez absoluta	< 500 m ³ /persona/año	

El desarrollo emprendido por diversas dependencias de Estados Unidos y México a partir de 1905 ha disminuido considerablemente el caudal del río Bravo. Como el río ha sido frenado, almacenado, represado, desviado y cambiado de ruta, las descripciones del río Bravo de siglo pasado poco se parecen a las actuales. La cantidad de agua que descarga en el golfo de México, por ejemplo, es de alrededor de 10 por ciento de la descargada a principios de os años noventa (Ruesink, 1980).

El volumen y el caudal que llegan a Texas se fijan mediante convenio interestatal y los controla la presa Elephant Butte en Nuevo México. El riego

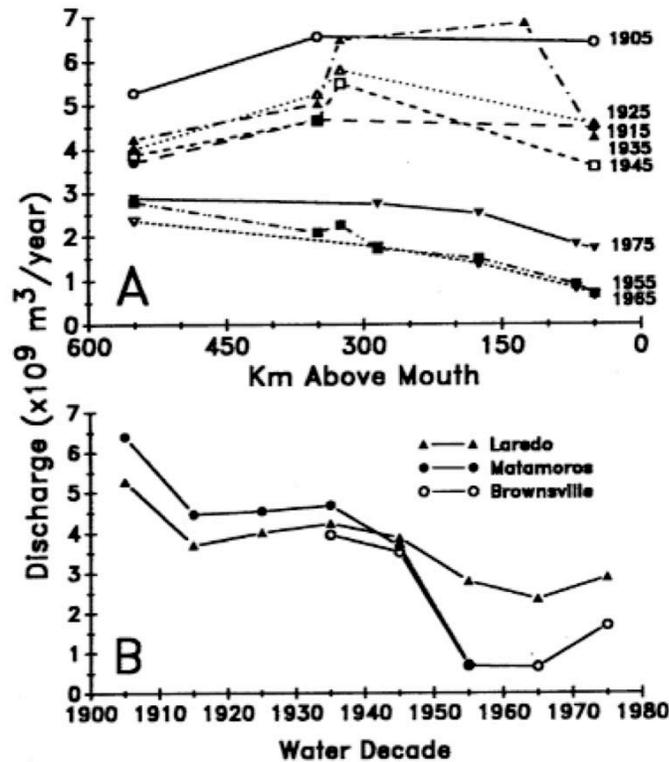
y el consumo urbano en la zona de El Paso consumen tal proporción del agua que ingresa a Texas, que la mayor parte del año el caudal después de El Paso no es más que un modesto escurrimiento. Además, varios años de poca acumulación de nieve han disminuido de forma dramática el volumen de esta importante presa en el canal principal. Con los niveles de extracción actuales, esta presa podría estar en su nivel más bajo en más de 50 años, en 43,172,115 m³ (Wong *et al.*, 2007).

El río Bravo “renace” 489 km después de El Paso con la ayuda del río Conchos en México y el río Pecos en Texas. El caudal diario más alto registrado arriba de la confluencia del río Conchos fue de 387,984 l/s en junio de 1905. Antes de 1962, el caudal promedio del río era de 2.9 km³/año y los barcos de alta mar podían navegar por lo menos 16 km desde su desembocadura. Sin embargo, en 2005, en el último punto de aforo antes del mar, en Brownsville Texas, el caudal promedio era de 0.44 km³/año (Wong *et al.*, 2007).

Casi 400,000 hectáreas en la parte de Estados Unidos están irrigadas, y una cifra similar en el lado mexicano del río. Como efecto del incremento de la superficie irrigada a lo largo del tiempo (en especial a partir de los años cuarenta), el caudal del río se ha reducido, ya que el agua, una vez extraída, no reingresa en forma de “escurrimientos de la irrigación”, sino que se descarga en los aliviaderos y sistemas de riego y por último ingresa ya sea a la Laguna Madre de Texas o de México al noreste o el sureste de la desembocadura del río, o bien simplemente se evapora debido a las prácticas comunes de riego por desbordamiento utilizadas en la región (Edwards y Contreras Balderas, 1991).

La magnitud del cambio en el caudal con los años se aprecia con facilidad comparando el flujo en Laredo (sobre todo arriba del tramo tan profusamente irrigado del bajo río Bravo) con el de Brownsville y Matamoros (justo abajo de la parte más irrigada [véase la gráfica 31]). Durante sequías severas (como la de los años cincuenta) aumenta muchísimo el volumen que se utiliza y extrae del río. Aunque la década hídrica de los setenta fue una de las más “abundantes en agua” del siglo, el flujo promedio anual de la parte baja del río Bravo fue de apenas entre la tercera parte y la mitad de lo que alguna vez fue (Edwards y Contreras Balderas, 1991). Se calcula que el escurrimiento de agua descendió de 6.8 m³ x 10/año en la década de los cuarenta a alrededor de 2 o 3 m³ x 10/año en la década de los cincuenta, medido cerca de Matamoros-Brownsville, y bajó a casi 0 a principios de 2001 (Contreras Balderas *et al.*, 2002).

Gráfica 31 Caudal promedio del río Bravo por década



Graficas trazadas a partir de datos de la estación pluviométrica del Servicio Geológico de Estados Unidos compilados por el Departamento de Recursos Hídricos de Texas.

A) Los datos mostrados representan todos los registros desde la estación pluviométrica de Laredo (la localidad ubicada en el punto más alto corriente arriba) hasta la de Brownsville-Matamoros (la localidad en el punto más bajo corriente abajo).

B) Los datos de Laredo se tomaron arriba de la parte más irrigada del valle del río Bravo y los datos de Matamoros-Brownsville se tomaron alrededor del extremo inferior de la sección más irrigada.

Fuente: Edwards y Contreras Balderas, 1991.

Salinización

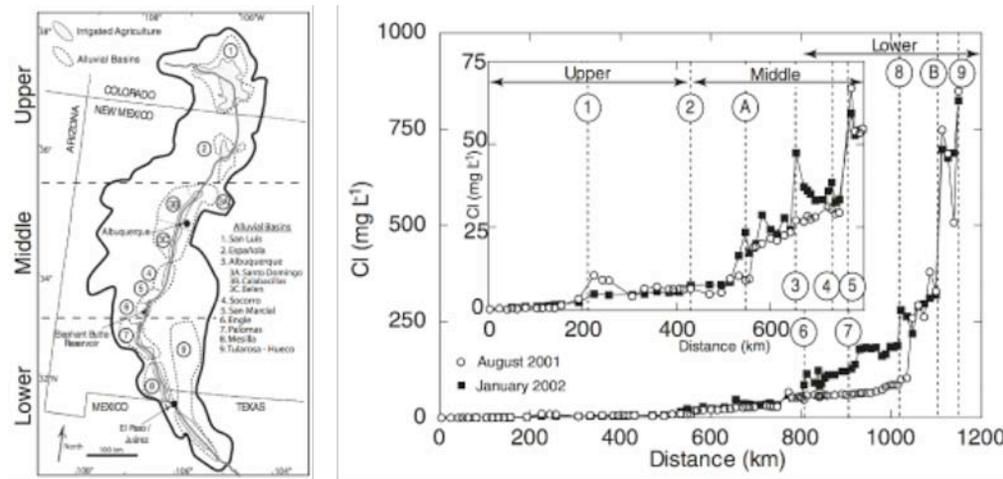
El patrón de consumo y salinización del agua en el río Bravo es típico de los ríos de regadío de climas áridos. En general, las concentraciones de Cl_2 a lo largo del río se incrementan en aproximadamente dos órdenes de magnitud (véase la gráfica 32).

A la fecha, 89 por ciento del agua disponible se destina a apoyar 370,000 ha de agricultura de riego. Los sólidos disueltos totales se incrementan de ~ 40 mg/l en las cabeceras en el centro de Colorado, a 500-1500 mg/l en El Paso-Ciudad Juárez en la frontera de México-Estados Unidos, dejando a los usuarios corriente abajo con agua de utilidad marginal. A pesar de que las causas de la salinización del río Bravo se han

investigado durante 75 años, no se ha llegado a ninguna conclusión definitiva. La posibles causas a las que se atribuye la salinización son:

- simple concentración evapotranspirativa conforme el agua se reutiliza para el riego;
- desplazamiento por el riego de aguas subterráneas saladas poco profundas;
- descarga regional de aguas subterráneas salinas;
- evapotranspiración riparia, y
- efectos no especificados del riego.

Gráfica 32 Área del río Bravo con zonas de agricultura de riego y cuencas de aluvión y concentraciones de cloruro en el río



- a) Mapa del área del río Bravo que muestra el área de desagüe, el curso del río, la agricultura de riego y las cuencas de aluvión.
- b) Concentración de cloruro en comparación con la distancia del río desde las cabeceras. Los números corresponden a los lugares en donde el río Bravo sale por el extremo sur de las cuencas de aluvión mostradas en el mapa.

Fuente: Hogan, 2007.

Considerando que ~75 por ciento del caudal del río se pierde por la evaporación del agua a cielo abierto y las transpiraciones agrícolas y riparianas, es indudable que estos procesos tienen que ver con la salinización. Sin embargo, estudios recientes demuestran que las fuentes geológicas de sal agregada por la descarga de aguas subterráneas son más importantes que los efectos de la agricultura (Hogan, 2007).

La salinidad se ha ido incrementando con la extracción de agua, los escurrimientos de la agricultura y las alteraciones estructurales, en especial

en los tramos más bajos (Parcher *et al.*, 2010). Durante varios años el contenido salino de las aguas del bajo río Bravo fue de hasta 700 partes por millón de sal, pero a principios de los años 1960 más de 2,500 ppm fluían por el río. Con el fin de resolver las condiciones de salinidad extrema de la década de 1960, los gobiernos de Estados Unidos y México idearon una solución a través de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). Se concibió un proyecto consistente en un canal (el dren) para llevar al golfo de México las aguas en extremo salinas que se originan en México, antes de que llegaran al río Bravo. A la fecha el dren El Morillo desvía cerca de 300,000 toneladas de sal del río Bravo (Lacewell *et al.*, 2007).

Se cree que los cambios en las comunidades de peces están relacionados con la salinización de ciertas partes del río. Por ejemplo, Edwards y Contreras Balderas (1991) sugieren que el incremento en la abundancia de ciprinodóntidos puede estar vinculado al aparente cambio en regímenes de salinidad en los tramos aguas arriba del bajo río Bravo. Según los autores, la elevada salinidad puede crear las condiciones ambientales propicias para que estas especies lleven a cabo la colonización. Mientras tanto, en el segmento más bajo de la corriente del río Bravo parece ser que las especies dulceacuícolas restringidas ya quedaron prácticamente eliminadas y sustituidas por formas estuarinas y marinas. El incremento de peces secundarios (de agua salobre) y periféricos (relacionados con el mar) indica la importancia de los cambios en la salinidad, la reducción de la cantidad de agua dulce o una sinergia de ambos factores. La desaparición de peces primarios neárticos, que requieren agua tanto fresca como con poca sal, es reflejo de este incremento en la salinidad y en la temperatura del agua. Este cambio en los peces también indica pérdida de especies que requieren fondos de partículas gruesas y está relacionado con una mayor turbidez y sedimentación (Contreras Balderas *et al.*, 2002).

Efectos acumulativos

La región de la frontera entre Estados Unidos y México tiene la tasa más alta de vulnerabilidad de las especies de Estados Unidos. Alrededor de 31 por ciento de las especies incluidas en las listas de especies en peligro de extinción por el Departamento del Interior de Estados Unidos están en esta región. En el lado mexicano de la frontera hay 85 especies de plantas y animales en peligro. No es de sorprender que las amenazas de estas especies se exacerbén porque los ecosistemas de la región están divididos por una frontera política que complica mucho más los esfuerzos de conservación (Van Schoick, 2004).

Los contaminantes, aunados a los cambios observados en el caudal de la corriente, están afectando la fauna autóctona (Edwards y Contreras

Balderas, 1991). La situación se complica todavía más si se considera la creciente salinización del río, así como la expansión del rango de distribución de poblaciones de especies no autóctonas ya establecidas en diferentes partes del mismo. Las comunidades originales de peces dulceacuícolas del bajo río Bravo en general conservaron su integridad hasta finales de los años cincuenta. A partir de la década siguiente las disminuciones de especies en el río Bravo, como *Hybognathus amarus*, *Notropis simus* y *N. orca*, se han documentado como descenso o extinción (Contreras Balderas, 1975; Bestgen y Platania, 1990; Edwards y Contreras Balderas, 1991; Contreras Balderas *et al.*, 2002).

Un ejemplo que vale la pena mencionar es el de la carpa Chamizal (*Hybognathus amarus*): de ser una de las especies más difundidas y abundantes de la cuenca en Nuevo México y Texas, y en México, su distribución actual, según censos recientes, se ha reducido de manera considerable. En el río Pecos, Nuevo México, la carpa Chamizal había disminuido en 1968, coincidiendo con el establecimiento de la especie *H. placitus*, no-nativa, probablemente debido a hibridación y competencia. En el bajo río Bravo, Texas, aguas abajo del río Pecos, es posible que la desaparición de *H. amarus* alrededor de 1961 haya estado ligada a la construcción y operación de la presa Amistad y la introducción de peces no-nativos. Las poblaciones locales de *H. amarus* (como en el río Bravo cerca de Big Bend, Texas) se consideraron desaparecidas justo después de 1960. *H. amarus* sobrevive en Nuevo México en apenas 5 por ciento de su rango de distribución original, de la presa Cochiti a la presa Elephant Butte (Bestgen y Platania, 1991).

De manera similar se ha sugerido que la alteración hidrológica y física del hábitat y la introducción de peces no-nativos son los factores más comúnmente asociados al marcado descenso en el rango de distribución y el número de especies de la mayoría de los peces nativos del suroeste (Miller, 1961; Rinne, 2003a) y el alto río Bravo (Hoagstrom *et al.*, 2010). Como consecuencia, gran parte de las especies de peces del suroeste se considera oficialmente como amenazada o en peligro de extinción (Rinne, 2003b).

Schmitt *et al.* (2004) resumen los siguientes efectos acumulativos que los cambios físicos y químicos, sumados a la introducción de especies exóticas —como el tamarisco (*Tamarix aphylla*)—, tienen en la biota dependiente del río en la cuenca del Bravo. La exposición a múltiples factores de presión ambiental de diversa magnitud y duración ha afectado profundamente la biota nativa del río Bravo, por lo que algunas entidades taxonómicas se han eliminado, otras han recibido protección federal y de otras más se ha propuesto su inclusión en listas federales. El esturión (*Scaphirhynchus platorhynchus*), la anguila americana (*Anguilla rostrata*), la carpa del Paso

(*Notropis orca*) y la carpa narizona (*Notropis simus simus*) han sido eliminadas de varios tramos del río Bravo y la última está incluida en listas federales como especie amenazada. La carpa chamizal (*Hybognathus amarus*) y los guayacones del Big Bend y del Pecos (*Gambusia gaigei* y *G. nobilis*, respectivamente) están en peligro de extinción y se propuso incluir el *Cyprinodon pecosensis* en las listas federales; las últimas dos especies ya sólo existen en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bitter Lake, donde se han registrado concentraciones elevadas de selenio (datos no publicados, USFWS, Albuquerque, Nuevo México). La deficiencia reproductiva de la población de halcones peregrinos (*Falco peregrinus*), una especie amenazada, en el Transpecos en áreas adyacentes al río Bravo, se ha atribuido al selenio y los plaguicidas de la agricultura así como al mercurio proveniente de la extracción histórica de cinabrio en el distrito Terlingua. El papamoscas saucero (*Empidonax traillii extimus*) está en peligro de extinción, y la causa principal es la eliminación de su hábitat ripario a lo largo de los ríos Bravo y Pecos por la operación de proyectos hídricos. Pequeñas poblaciones de *Sterna antillarum athalassos* en peligro de extinción anidan en las presas Amistad y Falcón y en la RNVS Bitter Lake, en tanto que ocelotes (*Leopardus pardalis*) y yaguarundíes (*Herpailurus yaguarondi*), ambos en peligro de extinción, frecuentan matorrales riparios contiguos al río Bravo y otros canales y habitan en la RNVS Laguna Atascosa. En la RNVS Bosque del Apache se estableció una población experimental de la grulla trompetera (*Grus americana*), en peligro de extinción, que invierte en este refugio junto con otras especies migratorias. Los humedales de los tramos de la cuenca del río Pecos en el oeste de Texas también albergan poblaciones en reproducción de la especie amenazada ibis de cara blanca (*Phlegadis chihi*). Águilas calvas (*Haliaeetus leucocephalus*) anidan en las presas Elephant Butte y Caballo en Nuevo México e invierten a lo largo de gran parte del río Bravo, y pelícanos cafés (*Pelecanus occidentalis*), grullas trompeteras y chorlitos esquimales (*Numenius borealis*) frecuentan la Laguna Madre. Pelícanos blancos (*Pelecanus erythrorhynchos*), que se ha propuesto incluir en listas federales, también viven en la presa Falcón. Asimismo, hay otras plantas y animales incluidos en listas federales en el corredor del río Bravo, pero no están asociadas exclusivamente con hábitats riparios.

La alteración de la cantidad de agua y de los regímenes de flujo del río asociada con la gestión del agua es una de las causas de que las aves acuáticas estén en peligro. Preocupa que la modificación propuesta de los sistemas de riego del río Bravo —de canales abiertos a tuberías— restrinja todavía más la disponibilidad de agua para las aves acuáticas, tanto en forma directa al disminuir la superficie de los canales abiertos como de manera indirecta al reducir los escurrimientos al Complejo de Refugios de Vida Silvestre del Río Bravo (*Rio Grande Wildlife Refuges Complex*, RGWRC).

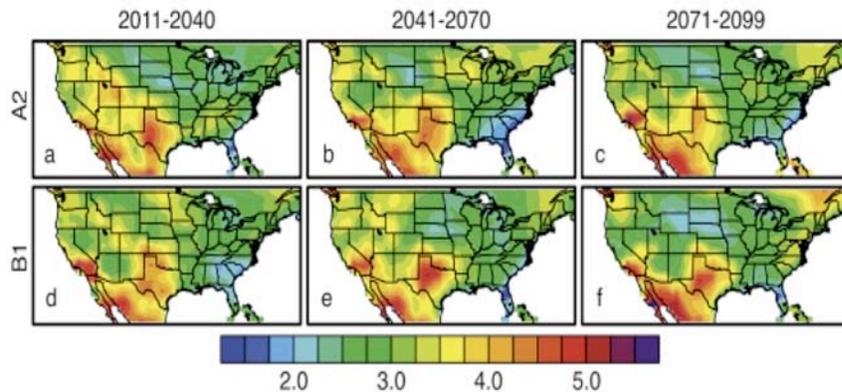
Dadas las funciones y servicios que el RGWRC presta a la vida silvestre (disponibilidad de hábitat de reposo, protección, asideros, alimentación y reproducción), desempeña un papel importante en la conservación de la diversidad de la avifauna en la región (Weir *et al.*, 2006).

Efectos del cambio climático

A pesar de que a nadie le cabe la menor duda de que el agua es el más esencial de los recursos naturales, los sistemas de agua dulce están directamente amenazados por las actividades humanas y son firmes candidatos para que el cambio climático antropogénico los afecte todavía más. De acuerdo con un consenso de 15 modelos (véase la gráfica 33), el punto que por mucho es el más crítico de Estados Unidos se extiende por todo el suroeste, desde el sur de California hasta el oeste de Texas, y se intensifica todavía más en el norte de México. El factor que más influye en la distribución de este punto crítico son los cambios en la variabilidad estacional de la precipitación (Diffenbaugh *et al.*, 2008). Las predicciones actuales del cambio climático son, entre otras, una capa de nieve más delgada, deshielo más temprano y mayores demandas evaporativas y, en consecuencia, menor escurrimiento primaveral, sucesos de precipitación localizada más intensos y condiciones más cálidas para la cuenca del río Bravo (Kerr, 2008). Las temperaturas promedio de la atmósfera indican que la precipitación ha descendido a 67 por ciento del promedio histórico en El Paso, 70 por ciento en la presa Amistad hasta la presa Falcón, 64 por ciento desde la presa Falcón hasta Rio Grande City, y 68 por ciento desde esta ciudad hasta el delta. Las temperaturas del aire han aumentado 0.7 °C por arriba del promedio histórico y la evaporación, 124 por ciento (Contreras Balderas *et al.*, 2002).

El cambio resultante en el escurrimiento afectará la cubierta vegetal de la cuenca y el hábitat de diversas especies. Los cambios sustanciales en la hidrografía natural y la intensificación de los usos administrados interrumpirá de manera grave la ecología y la salud del canal, con posibles implicaciones adicionales para la gestión de la carpa Chamizal en peligro de extinción (Hurd y Coonrod, 2007).

Gráfica 33. Modelos de sensibilidad al cambio climático con dos escenarios de emisiones



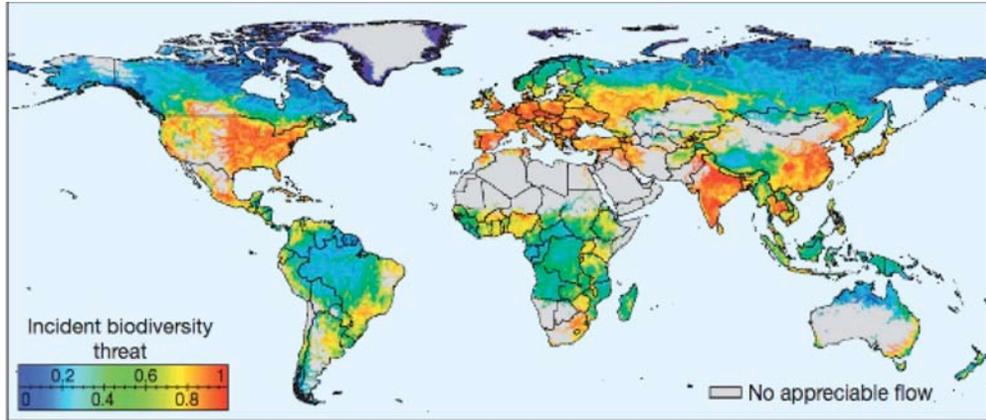
Los modelos predicen que el suroeste de Estados Unidos y el norte de México serán los más sensibles (áreas rojas y amarillas) al fortalecimiento del efecto invernadero. Sensibilidad a las puntuaciones totales de cambio climático, como reflejo de la concentración y ruta de los gases de efecto invernadero, con resultados para dos escenarios de emisiones A2 (arriba) y B1 (abajo). Se muestran las puntuaciones totales de la distancia euclidiana ordinaria (*Standard Euclidean Distance*, SED) por tres periodos de tres décadas del siglo XXI. Sin unidades.

Fuente: Diffenbaugh *et al.*, 2008.

Otros modelos también apuntan a una grave amenaza para la biodiversidad del delta del río Bravo (véase la gráfica 34). La realidad es que los principales factores que contribuyen a las alteraciones de la biodiversidad en zonas donde la amenaza inherente excede el 75º percentil —como es el caso de esta región— son muy similares a los factores que impulsan el cambio en la biodiversidad en el bajo río Bravo y su delta (véase la gráfica 35).

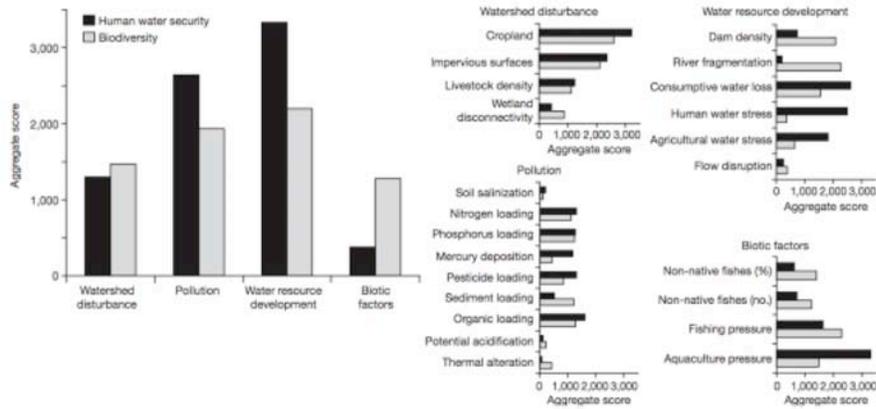
El agua es el factor crítico en este ambiente y se enfrenta a las graves amenazas que representa el desarrollo del bajo río Bravo. Es innegable la necesidad de poner en marcha políticas y acciones para restaurar lo máximo posible la calidad y cantidad del agua del río y su biota asociada, en especial los peces (Contreras Balderas *et al.*, 2002). La alianza entre científicos y funcionarios gubernamentales de Estados Unidos y México para idear soluciones técnicas y crear mayor conciencia de conservación es una medida urgente y crítica para la preservación de una de las cuencas más importantes de América del Norte. Es tiempo de dejar de considerar a los ríos únicamente como fuentes de abastecimiento de agua y de darles el valor que merecen. Tanto Estados Unidos como México deben aprobar leyes que reconozcan ríos internacionales, les dediquen agua y permitan la compra del líquido para mantener sus caudales a lo largo de todo su recorrido y hasta su desembocadura. La legislación debe considerar años de sequía e inundación, así como las predicciones de cambio climático global a largo plazo (Van Schoick, 2004).

Gráfica 34 Geografía mundial de la amenaza inherente para la biodiversidad



Fuente: Vörösmarty et al., 2010.

Gráfica 35 Factores que afectan la biodiversidad en el río Bravo



Principales aspectos y factores de presión que contribuyen a los cambios en la biodiversidad en zonas donde la amenaza inherente excede el 75º percentil. La elevada amenaza inherente surge de la coincidencia espacial de múltiples factores de presión que actúan en conjunto.

Fuente: Vörösmarty et al., 2010.

Especies invasoras en la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre

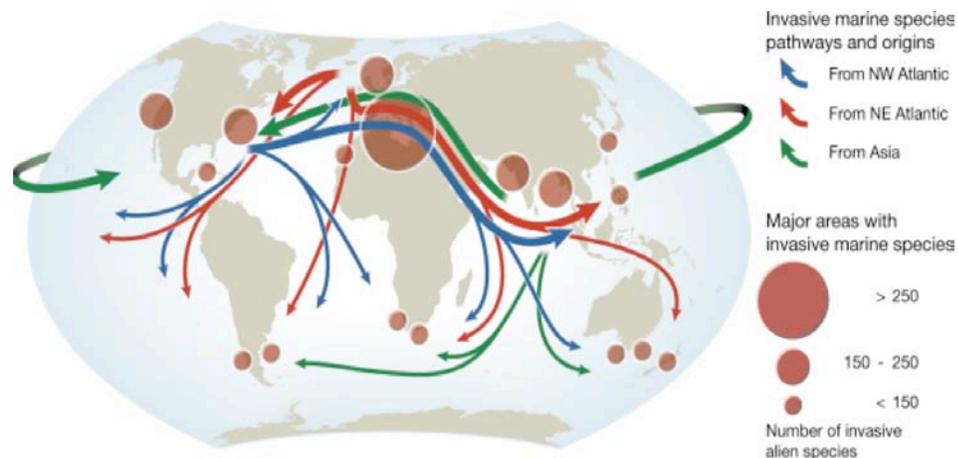
Las especies exóticas invasoras (EEI), definidas como aquellas cuya introducción causa o puede causar un perjuicio económico o ambiental o dañar la salud humana, se encuentran en todos los grupos taxonómicos y en prácticamente toda clase de ecosistemas; además, han afectado a todas las regiones del mundo en mayor o menor medida. Las especies invasoras comparten características comunes incluidas, sin a ello limitarse, una o más de las siguientes: tasa rápida de crecimiento, capacidades de dispersión eficiente, gran capacidad de reproducción y tolerancia a una amplia gama de condiciones ambientales. La introducción y el establecimiento de especies invasoras es un problema creciente en todo el mundo y es resultado del aumento en el comercio, los viajes y el transporte de mercancías. No es sólo que estas actividades hayan aumentado, sino que también se cubren distancias más grandes en menos tiempo (Campbell, 2005). La invasión biológica ocupa el segundo lugar, detrás de la destrucción del hábitat, como la mayor amenaza para las especies nativas y la pérdida de biodiversidad en todo el mundo. Las pérdidas y los costos financieros, sociales, recreativos y ecológicos atribuibles a las especies acuáticas invasoras son difíciles de cuantificar. Se han estimado algunos costos, como los cinco mil millones de dólares en daños a tuberías de agua, cascos de embarcaciones y otras superficies duras causados por los mejillones cebra en los Grandes Lagos, mientras que otros se desconocen, como la pérdida de especies nativas y rehabilitación del medio ambiente a su calidad previa a la invasión (Buck, 2007). Los impactos ecológicos de las EEI abarcan todos los niveles de la organización biológica, desde el genético hasta el de los grandes ecosistemas, además de que producen efectos en cascada que afectan las interacciones de la cadena trófica y los procesos de los ecosistemas (Ciruna et al., 2004).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio confirma que las EEI han sido una de las causas predominantes de la pérdida de biodiversidad en los últimos 50 a 100 años y señala también que la tendencia continuará e incluso aumentará en los biomas de todo el planeta (PNUMA, 2005a, 2005b). El costo comprenderá la pérdida de especies nativas y la reducción de la biodiversidad, así como la afectación del funcionamiento de los ecosistemas y los servicios, con el consecuente menoscabo de los medios de subsistencia.

El consenso general es que los problemas causados por las especies exóticas invasoras son en particular agudos en sistemas aislados desde el punto de vista geográfico y evolutivo (islas y otras áreas remotas como lagos y corrientes aisladas). Por ejemplo, 67 por ciento de las especies de aves oceánicas amenazadas de todo el mundo y afectadas por EEI se encuentran en islas. Los sistemas de agua dulce también resienten los graves efectos de las EEI; con respecto a los peces dulceacuícolas del mundo, análisis preliminares apuntan a que las especies exóticas invasoras contribuyeron a la extinción de 50 por ciento de las especies conocidas (Baillie *et al.*, 2004). En el ámbito marino, las EEI se han clasificado como una de las mayores amenazas a los océanos del planeta. Diversos grupos taxonómicos, como protozoarios, esponjas, cnidarios, platelmintos, poliquetos, moluscos, crustáceos, briozoarios, tunicados, peces y algas marinas, han contribuido a importantes invasiones en los últimos años (PNUMA, 2001). El incremento de la navegación en todo el mundo ha convertido esta actividad en la principal ruta de propagación de especies exóticas invasoras, ya que éstas se pueden adherir a las superficies de barcos, botes y plataformas de perforación (por lo general como comunidades de organismos incrustantes) y viajar en el agua de lastre, los sedimentos del lastre y los depósitos de agua de los barcos.

Los efectos de las EEI en la biodiversidad pueden ser directos, indirectos y acumulativos (De Poorter *et al.*, 2007).

Gráfica 36 Principales rutas y orígenes de las infestaciones de especies invasoras en el ambiente marino

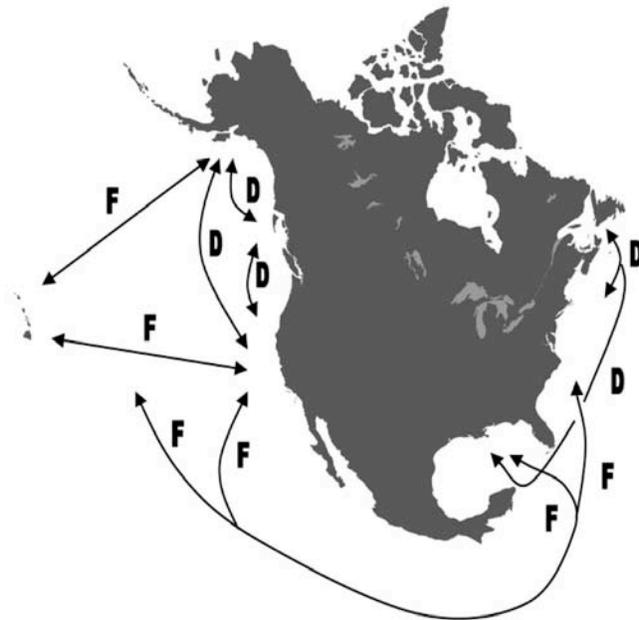


Fuente: PNUMA/GRID-Arendal, 2009.

Rutas

Cada vez se tiene más conciencia de que los diversos mecanismos empleados por las especies exóticas para introducirse de un lugar a otro desempeñan un papel esencial en la probabilidad de invasión biológica (Ruiz y Carlton, 2003). Una ruta, o vector, es el medio por el que una especie ingresa en un ecosistema (véase la gráfica 37). Las rutas de introducción de las especies acuáticas no autóctonas se pueden dividir, de acuerdo con Williams y Meffe (1998), en tres categorías: 1) no intencional (por ejemplo, alrededor del mundo se transportan mil millones de toneladas de agua de lastre al año y por lo menos 10,000 especies diarias) (Carlton, 1999); 2) intencional (la acuicultura y el comercio de peces para acuarios constituyen rutas relevantes de introducción de especies acuáticas invasoras) (Welcomme, 1992), como la introducción de tilapia en todo el mundo (Canonico et al., 2005) y la del pez cabeza de serpiente asiático en varios países (Courtenay y Williams, 2004); 3) escape del confinamiento (por ejemplo, la primera liberación documentada de pez león en el este de Estados Unidos ocurrió en Florida el 24 de agosto de 1992; seis de estos peces quedaron en libertad cuando el huracán Andrew destruyó el enorme acuario marino que los albergaba en un pórtico frente al mar a la orilla de la bahía Biscayne) (Ruiz Carus *et al.*, 2006).

Gráfica 37. Embarcaciones extranjeras y nacionales que hacen escala en puertos de Estados Unidos y sus protectorados



Designaciones de arribos extranjeros (F) y nacionales (D) de embarcaciones que hacen escala en puertos de Estados Unidos y sus protectorados. *Nota:* Aunque no se muestran en este mapa, los tránsitos entre las islas del Caribe de Estados Unidos en lo individual se consideraron nacionales, mientras que todo el tráfico con el Caribe se incluyó como extranjero.

Fuente: PNUMA/GRID-Arendal, 2009.

Las especies invasoras pueden introducirse en una nueva región mediante tres amplios mecanismos: importación de un producto, llegada de un vector de transporte o propagación natural desde una región vecina donde la especie ya es exótica. Las rutas naturales son el viento, las corrientes y otras formas de dispersión en las que una especie específica ha desarrollado características morfológicas y de comportamiento que le pueden servir. Las rutas artificiales son las mejoradas o creadas por la actividad del ser humano. Las liberaciones de vertebrados a través de rutas suelen considerarse deliberadas, mientras que las de invertebrados se clasifican como contaminantes, y las de plantas como escapes, en tanto que los microorganismos patógenos por lo general se introducen como contaminantes de sus hospederos (Hulme, 2008). El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) separa las “introducciones intencionales”, que se refieren al transporte o la liberación deliberada por el hombre de una especie exótica fuera de su rango de distribución natural (pasado o presente), de las “introducciones no intencionales”, que describen todas las demás introducciones no deliberadas (Miller, Kettunen y Shine, 2006).

Rutas no intencionales

Las rutas sean artificiales o naturales pueden transportar organismos de manera no intencional.

Embarcaciones

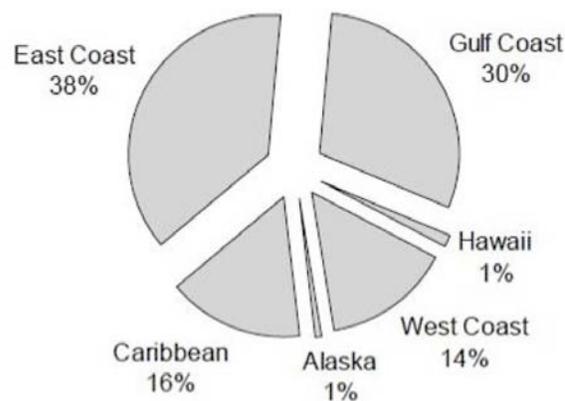
Las embarcaciones comprenden dos vectores principales para la introducción de especies marinas: el transporte en agua de lastre y la incrustación en los cascos. El estudio de estos vectores es, en efecto, la ecología poblacional y de comportamiento de los barcos.

En Estados Unidos, conforme a la Ley Nacional sobre Especies Invasoras (*National Invasive Species Act*, NISA) de 1996, el Congreso ordenó al secretario de Transporte promulgar reglamentos que: a) obliguen a los capitanes de barco a informar de sus prácticas de manejo del lastre al ingresar en aguas estadounidenses desde fuera de la zona económica exclusiva (ZEE) de 370.4 km (200 millas), y b) describan un conjunto de prácticas voluntarias de manejo del agua de lastre de dichas embarcaciones. Las directrices voluntarias son, entre otras, retención del agua de lastre a bordo e intercambio (descarga) en mar abierto de los tanques de lastre que se descargarán en aguas de Estados Unidos. Con estas prácticas se busca: 1) reducir al mínimo la transferencia de especies no autóctonas que contiene el agua de lastre de los barcos, y 2) reducir el riesgo de invasión de especies exóticas relacionado con la liberación de agua de lastre.

De julio de 1999 a junio de 2001, sólo 30.4 por ciento de las embarcaciones que ingresaron en aguas estadounidenses desde fuera de la ZEE presentaron

informes obligatorios al Servicio Nacional de Intercambio de Información sobre el Agua de Lastre (*National Ballast Water Information Clearinghouse*), como lo exige la Guardia Costera de Estados Unidos (véase la gráfica 38). Considerando el índice tan bajo de informes presentados en ese país, fue difícil hacer estimaciones confiables de: a) los patrones de entrega de agua de lastre, y b) el cumplimiento de directrices voluntarias para el manejo del agua de lastre (Ruiz *et al.*, 2000). Como resultado, los reglamentos han sufrido cambios y actualmente están en proceso de revisión.

Gráfica 38. Tráfico porcentual de arribos del extranjero por costa, 1999-2001

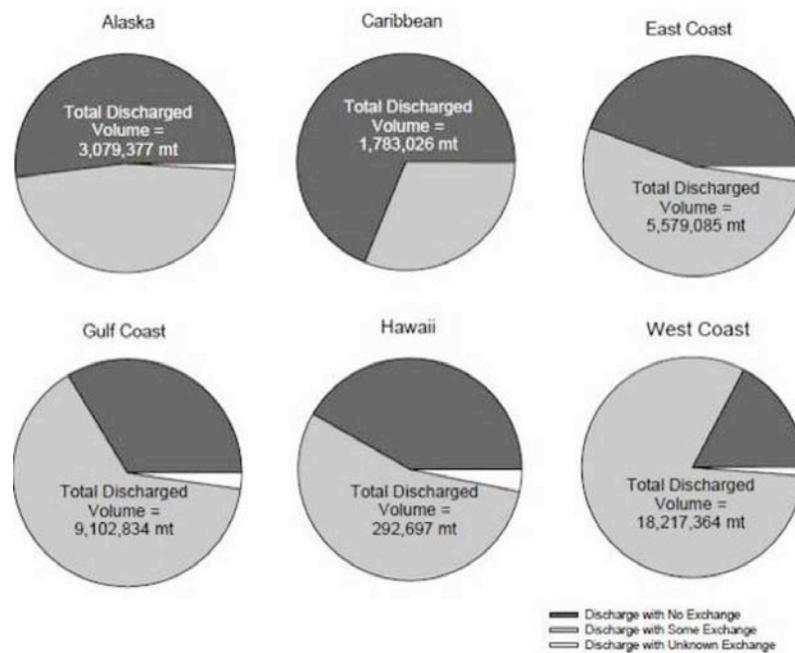


Tráfico porcentual de arribos del extranjero por costa, durante el periodo de dos años comprendido entre julio de 1999 y junio de 2001 (n = 95,471 arribos). Datos tomados de los informes de arribos MARAD del 1 de julio de 1999 al 30 de junio de 2001.

Fuente: Ruiz *et al.*, 2001.

De los 28,988 navíos llegados del extranjero que presentaron informes del 1 de julio de 1999 al 30 de junio de 2001, 73.6 por ciento indicó no tener intenciones de descargar agua de lastre en territorio estadounidense, 12.9 por ciento declaró que no se había cambiado el agua de lastre antes de la descarga y 13 por ciento declaró cierto grado de intercambio antes de la descarga (véase la gráfica 39). Por tanto, de las 7,652 embarcaciones que informaron descarga de agua de lastre en aguas estadounidenses, casi la mitad (51.2 por ciento) indicó cierto grado de cambio a medio océano y 48.8 por ciento indicó descarga sin cambio previo. Según los informes, 29.7 por ciento (11.1 millones de toneladas métricas) del agua de lastre de arribos del extranjero se descargó en Estados Unidos sin haber sufrido ningún cambio. De las embarcaciones que informaron su intención de no descargar agua de lastre a su llegada, la mayoría llevaba dicho líquido. Sólo 12.8 por ciento (3,712 de 21,336 embarcaciones) informó "sin lastre a bordo" (*No Ballast on Board, Nobob*).

Gráfica 39 Proporción de agua de lastre descargada por región costera y estrategia de gestión



Datos extraídos de la National Ballast Survey Database (julio de 1999 a junio de 2001).

Fuente: Ruiz et al., 2001.

El número de invasiones causadas por las embarcaciones ha crecido de manera exponencial, según datos reunidos por el Servicio Nacional de Intercambio de Información sobre el Agua de Lastre para delinear patrones, mecanismos de transferencia y rutas de invasión. En 2005, los navíos que surcaban el golfo de México eran una mezcla a partes iguales de naves nacionales y de ultramar, y en su mayoría eran buques cisterna. Además del agua de lastre, los cascos de estas embarcaciones representan más de 200 millones de metros cúbicos de superficie húmeda aprovechable por especies incrustantes. Asimismo, se descargan al golfo 13 millones de toneladas métricas de agua de lastre. Los últimos puertos de escala de estos barcos, y por tanto posibles puntos de origen de cualquier especie invasora, están distribuidos en todo el mundo (Miller, 2007). El 13 de febrero de 2004, las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comunicaciones y Transportes, Hacienda y Crédito Público y Relaciones Exteriores de México, así como la Marina, suscribieron el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques (OMI-BWM) con la finalidad de superar las limitaciones a la elaboración y aplicación de políticas y leyes existentes para reducir las EEI. El Convenio entrará en vigor 12 meses después de su ratificación por 30 países, que representan 35 por ciento del tonelaje de la

flota mercante del mundo. Aunque el Convenio aún no está en vigencia, las autoridades mexicanas ya consideraron medidas preventivas, como el cambio de agua de lastre en mar abierto.

Plataformas petroleras

Existen en la actualidad alrededor de 4,000 grandes plataformas en las aguas territoriales del golfo. Éstas se han convertido en arrecifes artificiales muy valorados que albergan una diversa comunidad bioincrustante, epifauna móvil asociada y numerosas especies de peces. Estos hábitats también pueden albergar una amplia diversidad de especies invasoras. En conjunto se han encontrado en las plataformas 11 especies de corales pétreos, como madrepora patagónica (*Oculina patagonica*) (Bitar y Zibrowius, 1997; Salomid *et al.*, 2006; Sartoretto *et al.*, 2008) y coral de copa naranja (*Tubastrea coccinea*) (Cairns, 2000), así como la ascidia colonial *Didemnum perlucidum* (Sammarco, 2007). Sin embargo, desde principios de los años ochenta no se han hecho inventarios integrales. Es necesario actualizar la taxonomía de los inventarios históricos mientras los expertos taxonómicos empleados para ello todavía estén disponibles, aunque también es necesario realizar nuevos inventarios (Gallaway, 2007).

Remolques de embarcaciones y actividades recreativas

El transporte terrestre de embarcaciones sobre remolques es una ruta común para la introducción no intencional de especies acuáticas no autóctonas. Al parecer ésta es una ruta significativa en la región del golfo, ya que el clima cálido permite la navegación y la pesca durante todo el año. Además de la navegación en bote y la pesca, también son rutas el buceo, la recolección de carnada, las motocicletas acuáticas, los pontones de hidroaviones, la navegación recreativa e incluso la caza de aves acuáticas (Federal Register, 2000; Barrett O'Leary *et al.*, 2001).

Conexiones entre cuencas

Desde pequeños canales hasta grandes vías navegables intracostas, las nuevas conexiones entre cuerpos de agua aislados han permitido la propagación de muchas especies invasoras (US EPA, 2009). Un vector de especial inquietud en el estado de Texas son las transferencias de agua entre cuencas. Con la infraestructura de desarrollo hídrico que se está construyendo en todo el estado, aumenta la posibilidad de transferencias rápidas de biota entre las cuencas riparias y, por tanto, entre bahías costeras.

Contaminación al introducir especies no-objetivo

Un gran número de peces y otros organismos acuáticos se han introducido como “contaminantes” o “subproductos” asociados con la introducción intencional de especies objetivo (Barrett O'Leary *et al.*, 2001). Pitman

(2003) menciona varios ejemplos, como el de la sardina molleja (*Dorosoma cepedianum*), una especie muy invasora. Un pequeño grupo de cerca de 1,000 sardinias molleja introducido en el lago Havasu, en el bajo río Colorado, creó una población que se propagó con rapidez por todo el río y canales relacionados y llegó hasta México en apenas 18 meses. En otro punto, en Pensilvania, se introdujeron sardinias molleja de manera accidental con una población de sábalo americano (*Alosa sapidissima*) (Denoncourt *et al.*, 1975).

La rápida propagación de la carpa asiática en toda la cuenca del río Misisipi está bien documentada. Los registros muestran la facilidad con que se propagan estas especies en calidad de contaminantes. Nativa de Asia, la carpa negra (*Mylopharyngodon piceus*) llegó por primera vez a Estados Unidos como contaminante en un embarque de carpa herbívora (Nico y Williams, 1996). La carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) se importó en 1973 para controlar el fitoplancton en aguas eutróficas y como peces para la alimentación. Esta especie viajó a Florida oculta en un embarque de carpa herbívora para el control de la vegetación (Middlemas, 1994).

Transporte de productos

Muchas especies acuáticas son transportadas cada año como contaminantes no intencionales del comercio mundial. Durante miles de años los mares y otros cuerpos de agua han conectado los centros de población y servido de rutas de transporte de personas y sus bienes, así como de mercancías, y hoy día más de 90 por ciento de todas las mercancías del mundo se transporta por mar (OMI, 2008). Sin embargo, el crecimiento continuo del comercio mundial, la modernización y la aplicación de tecnologías más complejas en los barcos y la movilización en constante aumento de embarcaciones entre diferentes partes del mundo a mayores velocidades tiene implicaciones para el medio ambiente y el bienestar del ser humano. Numerosas especies son transportadas a diario en los sedimentos y el agua de lastre y un subconjunto de éstas se volverá invasor. Por ejemplo, el mejillón cebra de agua dulce, nativo de Europa, se ha convertido en un invasor prolífico que se ha propagado en Estados Unidos en el agua de lastre, y ahora se encuentra en todos los canales de América del Norte. Esta especie se incrusta en cualquier estructura sólida que esté en el agua y bloquea las tuberías; el costo estimado para manejarla puede llegar hasta mil millones de dólares por década. La medusa peine de América del Norte fue introducida en el mar Negro en las aguas de lastre a principios de los ochenta. Para principios del decenio siguiente las poblaciones de anchoa del área habían sido casi diezgadas y las pérdidas anuales ocasionadas por el descenso en la captura de peces comercializables ascendían a por lo menos 240 millones de dólares (Tamelander *et al.*, 2010).

Rutas intencionales

Las rutas intencionales son resultado de acciones deliberadas para trasladar un organismo.

Acuicultura y pesca

En la región del sureste (estados costeros desde Carolina del Sur hasta Texas), unas dos terceras partes de las introducciones acuáticas (dulceacuícolas y marinas) son atribuibles a rutas intencionales: repoblamiento, escapes de la acuicultura, liberación de carnada y liberaciones de acuarios. Casi la mitad de éstas proviene de introducciones marinas; el porcentaje más alto es atribuible a liberaciones de acuarios. La incidencia de introducciones de peces marinos fue extremadamente baja hasta los noventa, pero desde entonces se han liberado más de 20 especies, incluida una variedad de pez ángel, meros, mariposas blanco-negro y algunas especies dulceacuícolas que por tradición son muy tolerantes a la salinidad, como los cíclidos. Se han encontrado 11 especies en el golfo. Además, por lo menos tres especies de camarón han escapado de la acuicultura de la zona y existe el riesgo de que escapen algunos bivalvos cultivados (Fuller, 2007).

Pesca deportiva recreativa

Casi la mitad de los peces dulceacuícolas no autóctonos introducidos de manera intencional en América del Norte fueron liberados para crear pesquerías deportivas y diversificar las oportunidades de pesca con caña (Fuller *et al.*, 1999; Crossman y Cudmore, 2000). Los peces deportivos se introducen para resolver diversos problemas recreativos, como ausencia de especies para la pesca deportiva en un cuerpo de agua en particular, exigencia para introducir especies deportivas más deseables y familiares e introducción de especies más resistentes cuando los hábitats nativos se vuelven inapropiados para las especies autóctonas. La contaminación y la identificación errónea de las poblaciones han provocado liberaciones no intencionales de especies (Barrett O'Leary *et al.*, 2001). Por ejemplo, muchas poblaciones supuestamente nativas de trucha de dorso verde (*Oncorhynchus clarkii stomias*) en realidad eran otra subespecie de trucha, la del Colorado (*Oncorhynchus clarkii pleuriticus*). El error se debió a la introducción de esta última en todo el rango de distribución nativo de la trucha de dorso verde a finales del siglo XIX y principios del XX a causa de las actividades de restablecimiento de las poblaciones de peces (Metcalf *et al.*, 2007).

Especies de forraje

Para compensar la posible insuficiencia en el abasto natural de alimentos para los peces deportivos introducidos —tanto nativos como no-nativos—

se han introducido peces de forraje y otras especies presa (como el camarón misidáceo) en numerosos lagos, presas y ríos (Barrett O'Leary *et al.*, 2001).

Producción de peces de carnada

Los productores comerciales de peces de carnada han “sembrado” pozas y pequeños lagos con especies de carnada no autóctonas para crear poblaciones que se puedan extraer con regularidad y muchas veces en forma exclusiva (Barrett O'Leary *et al.*, 2001).

Liberaciones de peces de carnada

Las cubetas de carnada han sido una ruta activa para la introducción de peces; las introducciones más recientes se pueden atribuir a las numerosas pesquerías deportivas de nueva creación. Muchos pescadores vacían las cubetas al final del día para deshacerse de la carnada o con la idea de que servirá de alimento a los peces deportivos. Se estima que por este medio se han introducido 109 especies de peces en aguas estadounidenses (Barrett O'Leary *et al.*, 2001). De acuerdo con Benson (2000), tres anfibios, siete crustáceos y 84 peces se han introducido por esta ruta a la zona del golfo de México. De todos ellos, 34 se volvieron invasores en la región ecológica de la Laguna Madre.

Control biológico

Una de las razones por las que algunas especies no-nativas se vuelven invasoras es que los factores naturales (competidores, predadores, agentes patógenos, etcétera) que las mantienen bajo control en su hábitat nativo no están presentes en los ecosistemas invadidos. En ocasiones estos agentes de control biológico naturales pueden ser traídos de sus hábitats nativos para controlarlas también en su nuevo hábitat. Si el agente en verdad es selectivo y sólo daña a las especies no-nativas que tiene la intención de controlar, el asunto puede funcionar bien. Sin embargo, en ocasiones la nueva introducción puede ocasionar otros problemas por sí misma y agravar la situación ocasionando un daño más a las especies nativas o sus hábitats (USFW, 2009).

Iniciativas regionales y nacionales

Hoy día se han puesto en marcha diversas iniciativas regionales y nacionales para evitar la entrada y la propagación de especies invasoras en los ecosistemas de América del Norte, así como para su control o erradicación.

Una de las metas del Plan Estratégico de Cooperación para la Conservación de la Biodiversidad de América del Norte es:

- Promover las respuestas conjuntas a las amenazas enfrentadas por los ecosistemas, hábitats y especies de América del Norte.
 - En esta meta específica, un área prioritaria clave para la acción es promover los esfuerzos concertados para combatir, de manera bilateral o trilateral, las especies exóticas invasoras en América del Norte.
 - La CCA ha logrado esta meta durante varios años mediante diversos talleres y proyectos.¹²

Entre las metas, objetivos y tareas del Plan Estratégico del Panel Regional del Golfo de México y el Atlántico Sur, 2005-2009 (*Gulf of Mexico and South Atlantic Regional Panel, GMSARP*) del Equipo de Tarea sobre Especies Acuáticas Dañinas (*Aquatic Nuisance Species Task Force of the United States*) de Estados Unidos, destacan las siguientes porque recalcan la cooperación entre Estados Unidos y México en la materia:

- Meta 1. Coordinación y planeación sobre especies invasoras en toda la región del golfo de México, incluido México
 - Objetivo 2, tarea 3. El GMSARP promoverá entre las dependencias estatales y federales la incorporación de México en los futuros objetivos de planeación de gestión regional, según corresponda.
- Meta 2, Objetivo 2. El GMSARP establecerá y mantendrá una relación de trabajo con México

El artículo 1 del Acuerdo de América del Norte de Protección a las Plantas de octubre de 1976 señala: “Fortalecer las actividades cooperativas entre los países miembros (Canadá, Estados Unidos y México) para prevenir la entrada, el establecimiento y la dispersión de plagas cuarentenarias y limitar las repercusiones económicas de las plagas no cuarentenarias reglamentadas, a la vez que se facilita el comercio internacional de plantas, productos vegetales y otros artículos reglamentados; así como fomentar las actividades cooperativas en el hemisferio y ámbito mundial, participando en ellas” (NAPPO, 1976).

De la misma forma, la cooperación entre Estados Unidos y México se reitera en el proyecto de la Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación (Conabio, 2009).

¹² Por ejemplo, *Prevención de la introducción y propagación de especies acuáticas invasoras en América del Norte; Estado, amenazas ambientales y consideraciones políticas respecto de las algas marinas invasoras de la costa del Pacífico de América del Norte; Cierre de las rutas para las especies acuáticas invasoras en América del Norte; Un efecto no deseado del comercio: el impacto de las especies invasoras en América del Norte, y Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras*, entre otros (CCA, 2001, 2003b; Murray et al., 2007; Mendoza et al., 2009).

Existen tres planes estratégicos para la región a escala estatal:

- El Plan de Gestión Estatal para Especies Acuáticas Invasoras en Louisiana (Departamento de Vida Silvestre y Pesca de Louisiana, Louisiana Sea Grant, Equipo de Tarea de Especies Acuáticas Invasoras de Louisiana, McElroy y Barrett O'Leary, 2004).
- El Plan Integral de Gestión del Estado de Texas para Especies Acuáticas Dañinas (TPWD-Chilton *et al.*, 2006).
- El Plan de Conservación para la Laguna Madre de Tamaulipas, que incluye un objetivo estratégico para controlar la abundancia y la propagación de especies invasoras en el Área Natural Protegida y su área de influencia (TNC-Pronatura-Conanp, 2009).

Metodología

Especies exóticas e invasoras en la región ecológica LM-DRB

Se hizo una búsqueda exhaustiva de información en fuentes autorizadas (NAS-USGS, Conabio, Conanp, GSMFC-GSARP-AIS, ISSG, etc.), planes de gestión oficiales y otras fuentes especializadas (artículos periodísticos, tesis, libros, informes) de estudios sobre especies acuáticas exóticas e invasoras en la región ecológica prioritaria propuesta (región 11), que incluye los estados de Louisiana y Texas, en Estados Unidos, y Tamaulipas y Veracruz, en México.

Veracruz se incluyó porque la mayoría de los estudios de la Laguna Madre en México también incorporan esta entidad.

Como se dijo, esta ecorregión no se refiere en exclusiva a la Laguna Madre, sino a un corredor de una ecorregión: el corredor Laguna Madre y delta del río Bravo, que consta de ambientes terrestres y de agua dulce.

Todas las especies registradas se compilaron en una base de datos y se clasificaron en seis grandes grupos; plantas, invertebrados, peces, anfibios y reptiles, mamíferos y otros (virus, bacterias, protozoarios y hongos). Una vez integrada esta lista, se elaboraron fichas informativas de cada especie con los datos necesarios para hacer el análisis de la ruta siguiente.

Modelización del nicho ecológico

Registros de incidencia

Con el fin de analizar la incidencia de especies con registros de invasión en todo el mundo que están presentes en la región 11, se reunieron registros georreferenciados de diversas fuentes, como el Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad (FMIB), la herramienta cartográfica y de modelización Lifemapper (US NSF EPSCoR), la base de datos de Especies Acuáticas no-Autóctonas (*Non-indigenous Aquatic Species database*, USGS-NAS) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)

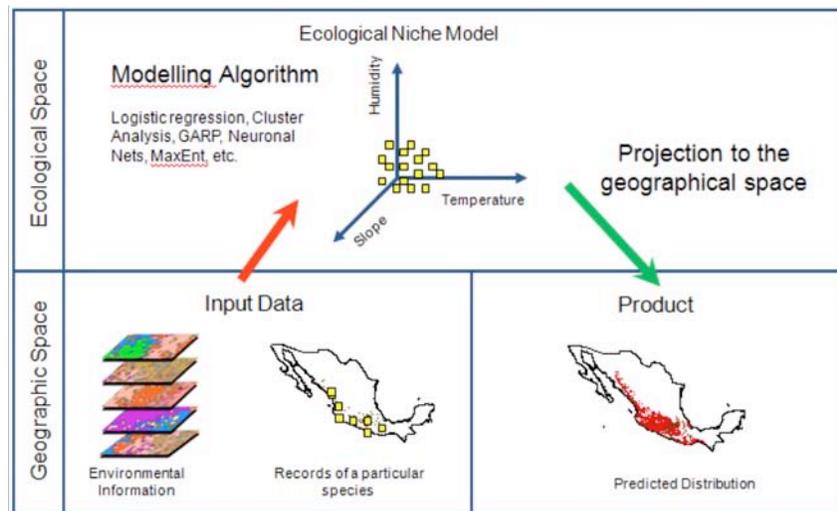
de México. Los registros se recopilaron y tras eliminar los duplicados se guardaron por cada especie como archivos delimitados por coma (.csv).

Métodos de modelización

Un problema al tratar con especies invasoras es que muchas veces falta información biológica y ecológica suficiente para apoyar la toma de decisiones destinadas a eliminar o reducir la tasa de pérdida de biodiversidad. En este punto los nuevos enfoques metodológicos, como la informática de la biodiversidad, pueden permitir que se genere información útil a partir de datos incompletos.

La modelización del nicho ecológico y la distribución geográfica de las especies (véase la gráfica 40) se puede comprender mejor con el enfoque de nicho funcional de Hutchinson (Hutchinson, 1957), que considera un nicho como un hipervolumen de n dimensiones, en el que cada punto del eje ambiental describe los recursos que permiten a las especies sobrevivir por tiempo indefinido.

Gráfica 40 Modelización del nicho ecológico y distribución geográfica de las especies



Adaptada a partir de Martínez-Meyer, 2009.

Martínez Meyer (2009) enuncia los siguientes conceptos para explicar las consideraciones antes mencionadas:

1. La especie actúa de acuerdo con reglas ecológicas que determinan su distribución geográfica.
2. Un punto en el espacio geográfico corresponde a sólo un punto en el espacio ecológico; de lo contrario, cada punto en el espacio ecológico podría tener más de un punto en el espacio geográfico.

3. Los nichos ecológicos tienden a ser evolutivamente estables para diferentes grupos taxonómicos.¹³
4. Las especies están sujetas a reglas ecológicas que determinan su distribución geográfica, con independencia del entorno geográfico.

Optamos por aplicar dos algoritmos de modelización: el Algoritmo Genético para Predicción de Conjuntos de Reglas (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction, GARP) y el Método de Máxima Entropía (Maximum Entropy Method, Maxent) para predecir las áreas de la región que satisfarían los requisitos del nicho ecológico de las especies y por tanto su posible distribución (Anderson y Martínez Meyer, 2004). La distribución posible describe las condiciones apropiadas para la supervivencia de las especies y en consecuencia es de gran importancia para el proceso de evaluación de riesgos de las especies invasoras.

El motivo de la selección del Algoritmo Genético para Predicción de Conjuntos de Reglas (GARP) (Stockwell y Peters, 1999) es que se ha aplicado con éxito en estudios centrados en diversos problemas ecológicos, como calentamiento global, enfermedades infecciosas y especies invasoras (Arriaga *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2004). También se eligió el GARP porque es uno de los pocos métodos disponibles que no requiere datos de ausencia (ejemplos negativos).

El GARP hace búsquedas iterativas de correlaciones no aleatorias entre presencia y ausencia de especies y valores de parámetros ambientales, utilizando varios tipos de reglas. Cada tipo de regla implementa un método distinto para crear modelos de predicción de especies (Stockwell y Peters, 1999).

¹³ El conjunto de las condiciones ambientales (biológicas y físicas) en las que un organismo puede existir describen el nicho fundamental de ese organismo. La presión de otros organismos y las interacciones con éstos (es decir, competidores superiores) suelen obligar a las especies a ocupar un nicho más estrecho, al que en su mayoría están muy adaptadas. Este último se conoce como "nicho realizado". Hutchinson se ha referido al nicho ecológico como un "hipervolumen", que define el espacio multidimensional de los recursos (luz, nutrientes, estructura) a disposición de los organismos (y utilizados específicamente por éstos). Hutchinson propuso que se podía caracterizar el nicho ecológico de una especie como una gráfica abstracta de dinámica de población en un ambiente espacial, cuyos ejes son factores abióticos y bióticos que influyen en las tasas de natalidad y mortalidad. Si un hábitat posee condiciones en el nicho de una especie, una población debe persistir sin inmigración de fuentes externas, mientras que si las condiciones están fuera del nicho, se enfrenta a la extinción. El análisis de los nichos de las especies es esencial para comprender los controles a los límites del rango geográfico de las especies y la forma en que estos límites podrían cambiar en nuestro mundo en constante evolución (Holt, 2009).

Por otra parte, se eligió el Maxent porque tiene algoritmos determinísticos eficientes que se garantiza convergirán en la distribución de probabilidad óptima (entropía máxima); porque su distribución de probabilidad tiene una definición matemática concisa y, por tanto, permite el análisis, y porque los resultados son continuos, posibilitando distinciones precisas entre la idoneidad modelizada de diversas áreas. Por último, el Maxent es un enfoque generativo, más que discriminativo, lo que puede ser una ventaja inherente cuando la cantidad de datos de aprendizaje es limitada, como fue el caso de un número considerable de las especies en este análisis.

El Maxent, como método general para hacer predicciones o inferencias a partir de información incompleta, estima una distribución de probabilidad objetivo encontrando la distribución de probabilidad de entropía máxima (es decir, que está más propagada o más cercana a lo uniforme), sujeta a un conjunto de restricciones que representa nuestra información incompleta acerca de la distribución objetivo (Phillips *et al.*, 2006).

Variables ambientales y elaboración de modelos

Con el fin de generar posibles distribuciones geográficas de las especies registradas, utilizamos las superficies climáticas interpoladas para las zonas terrestres mundiales (excepto la Antártida) con una resolución espacial de 10 minutos de arco ($18.6 \text{ km} \times 18.6 \text{ km} = 344 \text{ km}^2$ en el Ecuador), considerando sólo condiciones actuales (interpolaciones de datos observados, representativos del periodo 1950-2000), generadas por Hijmans *et al.* (2005) (www.worldclim.org). Los estratos climáticos considerados fueron altura, precipitación mensual total, temperaturas mensuales media, mínima y máxima y 19 variables bioclimáticas derivadas.

Las variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación con el fin de generar variables más significativas desde el punto de vista biológico. Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (por ejemplo, rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o límite (como temperatura del mes más frío y más cálido y precipitación de los trimestres húmedos y secos) (Hijmans *et al.*, 2005).

Se utilizaron capas oceánicas de cobertura mundial con resolución celular de medio grado compiladas por Kaschner *et al.*, 2008 (www.aquamaps.org/data) para modelizar posibles nichos de especies marinas y complementar el análisis de las especies dulceacuícolas y estuarinas que se informó estaban presentes en medios marinos. Las variables consideradas para el análisis fueron: profundidad máxima en metros, profundidad mínima en metros, concentración media anual de hielo

marino, distancia media anual a tierra en kilómetros, producción primaria media anual (clorofila A) en mg C por metro cuadrado por día, salinidad media anual del fondo y de la superficie en unidades prácticas de salinidad (psu) y temperaturas media anual del fondo y media anual de la superficie en grados Celsius.

Si la profundidad mínima del rango de distribución de la especie era de 200 m o menos, sólo se usaban capas de superficie para temperatura y salinidad. Se utilizaron capas del fondo para especies con rangos de distribución a más de 200 m de profundidad y se combinaron con capas de superficie para especies que pueden estar presentes en aguas desde someras hasta profundas (más de 200 metros).

Con el propósito de generar modelos GARP, se utilizó DesktopGARP versión 1.1.6. Se generaron cien modelos binarios por cada especie, con parámetros por omisión (límite de convergencia de 0.01, 1,000 iteraciones como máximo, y permitiendo el uso de reglas de rango atómico, rango de negación y regresión logística); posteriormente, se eliminaron los modelos con omisión intrínseca de más de 5 por ciento (predicción negativa de puntos de entrenamiento) (Phillips *et al.*, 2004). De acuerdo con el método descrito por Arriaga *et al.* (2004), el modelo con la puntuación Kappa más alta (que se utilizó para determinar si los puntos de prueba caen en regiones de presencia predicha con más frecuencia de la esperada por casualidad, dada la proporción de píxeles de los mapas que el modelo predecía como presentes) se seleccionó como el mejor mapa generado con el GARP de la distribución potencial de especies para la región.

Se utilizó el Maxent versión 3.3.1, y el algoritmo iterativo se corrió durante 1,000 rondas. El parámetro de regularización β se fijó de manera automática y se seleccionó el formato de resultado logístico que proporciona un estimado de probabilidad de presencia.

Los mapas de distribución potencial predichos con ambos programas se procesaron utilizando ArcView 9.3 para generar los mapas finales, que incluyen puntos de datos de presencias, hidrología, límites y delimitación de la región 11.

Análisis de rutas

La metodología para el análisis de rutas se adoptó a partir de la metodología propuesta por el Equipo de Tarea sobre Especies Acuáticas Dañinas (ANSTF) y el Comité de Prevención del Consejo Nacional sobre Especies Invasoras (*National Invasive Species Council*, NISC) a través del Equipo de Trabajo de Rutas (*Pathways Work Team*) (2007). Este enfoque consta de los pasos que se enumeran en seguida.

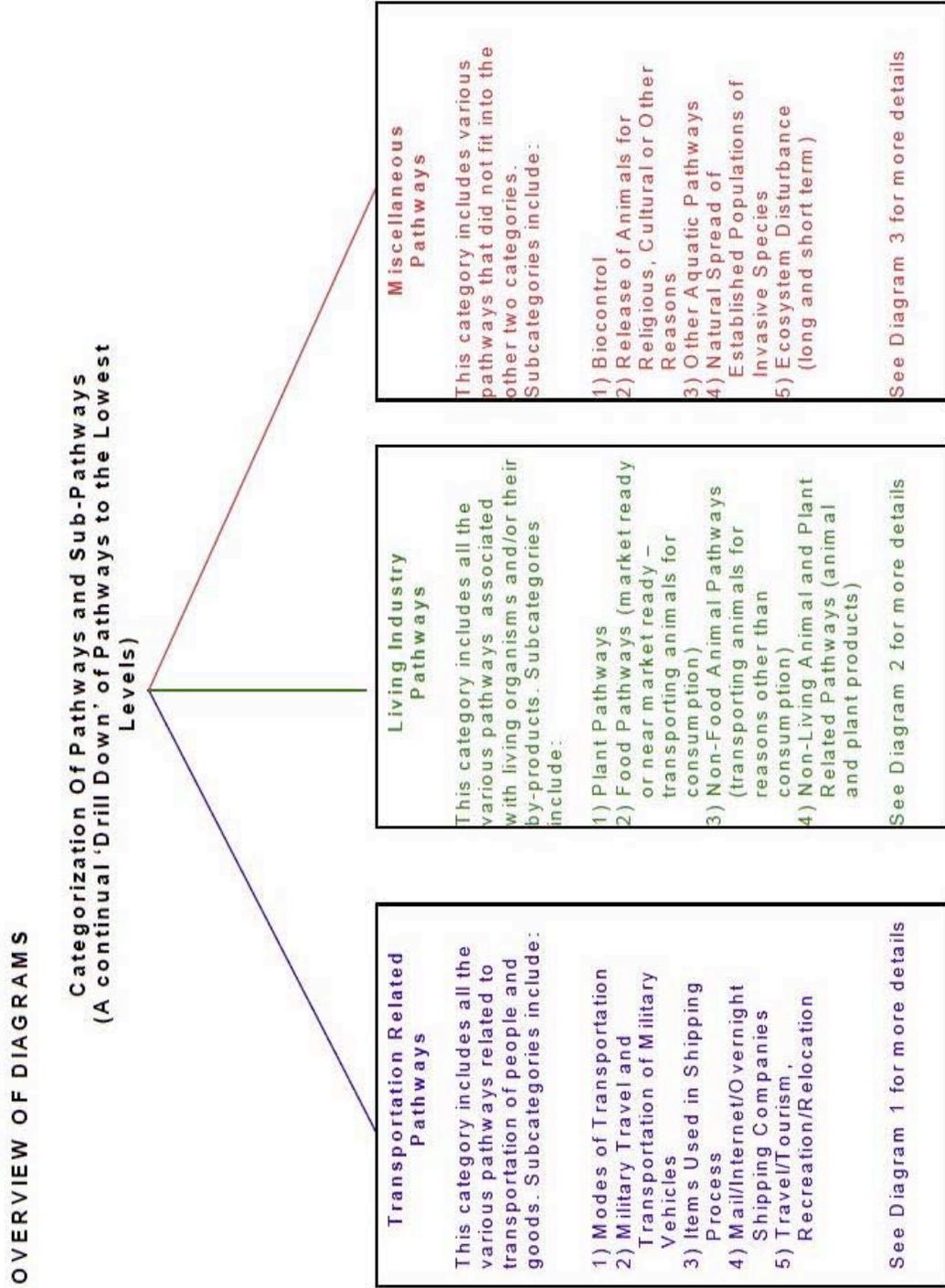
Análisis de “primer corte”: selección de rutas múltiples y evaluación del grado de amenaza

1. Entrega de copias de los diagramas y las listas de las rutas generales (véanse las gráficas 41, 42, 43 y 44) a todos los miembros del grupo de trabajo.
2. Definición de las rutas múltiples de interés.
 - a) Se revisaron la lista del inventario general y los diagramas de las rutas de las especies invasoras; se agregaron las rutas que no estaban incluidas en las listas.
 - b) Se seleccionaron e incluyeron en la lista las rutas pertinentes para el estudio.
 - c) Se indicaron las especies invasoras particulares asociadas con cada ruta.
3. Descripción preliminar de las rutas múltiples.
 - a) Una vez concluido el “universo” de todas las posibles rutas y la lista “reducida” de rutas, se preparó una descripción preliminar o general de cada ruta y como resultado se elaboró una matriz.
4. Determinación del nivel de amenaza de las rutas.
 - a) Dependiendo de las especies invasoras presentes en cada ruta, se asignó un grado de amenaza.
 - b) Los niveles considerados fueron: salud humana, salud de la economía y salud de los ecosistemas, y se concluyó la matriz previa.

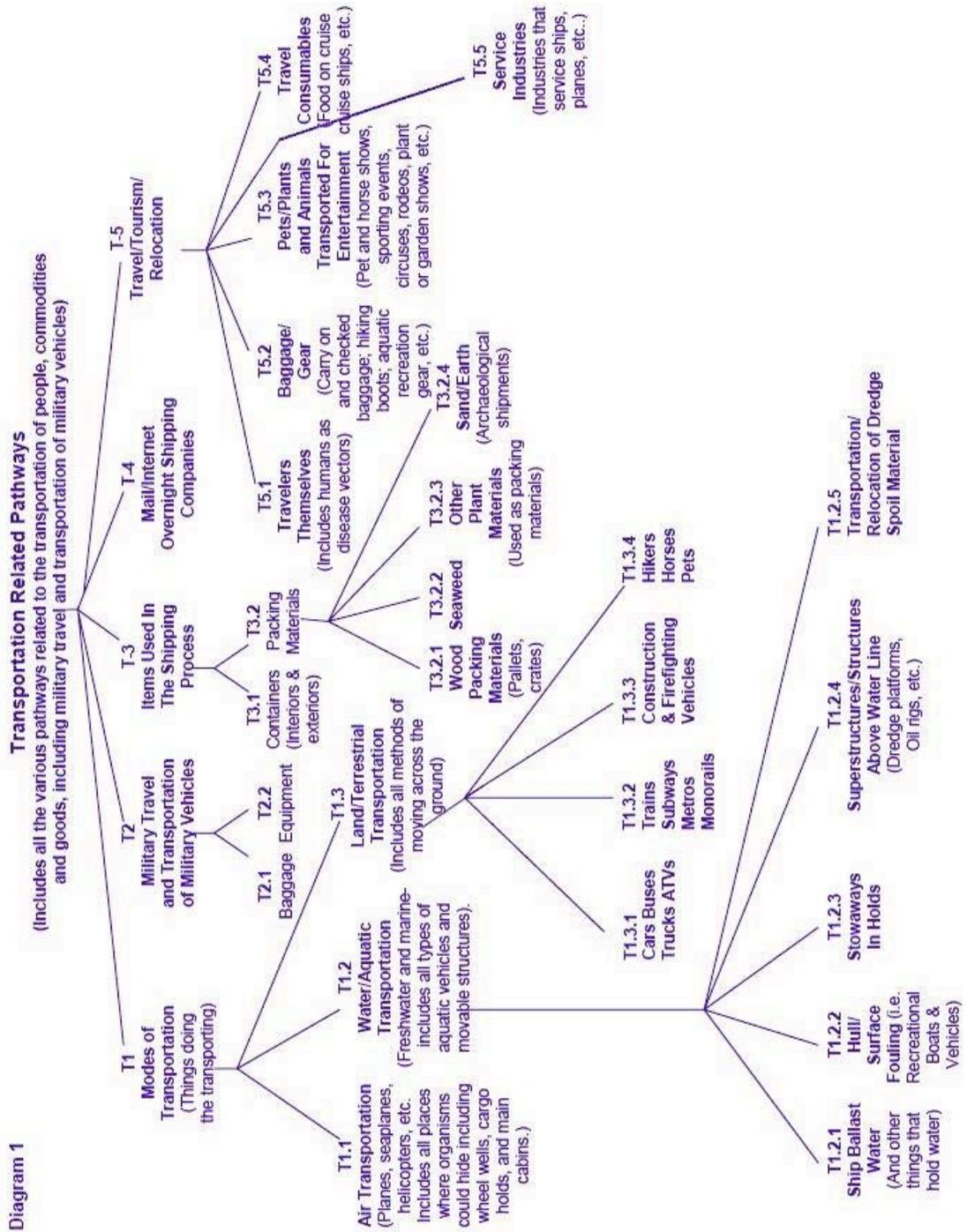
Análisis de “segundo corte”: definición de la ruta única, junto con el listado inclusivo de las especies invasoras y el alcance de los ecosistemas

1. Descripción detallada de la ruta única.
 - a) Con base en el análisis de “primer corte” se obtuvo una lista preliminar de prioridades.
 - b) Para efectos del estudio decidimos definir las rutas en la forma más simple posible, considerando sólo al país de origen como fuente (punto de partida) y a la ecorregión como destino final (punto final), sin lugares intermedios (puntos medios) como sitios de posible reinvasión.
 - c) El rango de las rutas se determinó de acuerdo con los ecosistemas posiblemente invadidos.

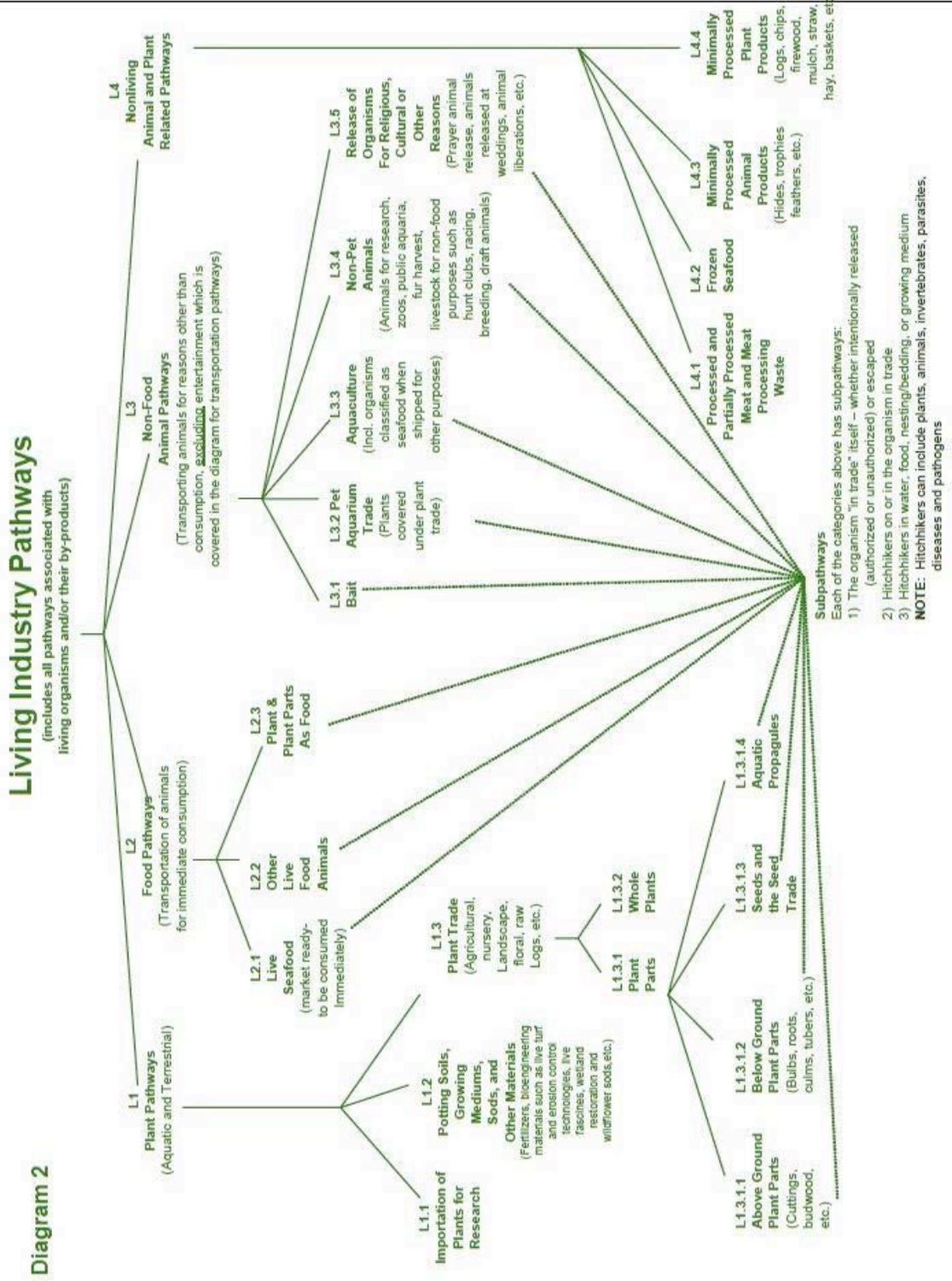
Gráfica 41. Categorización de rutas y subrutas



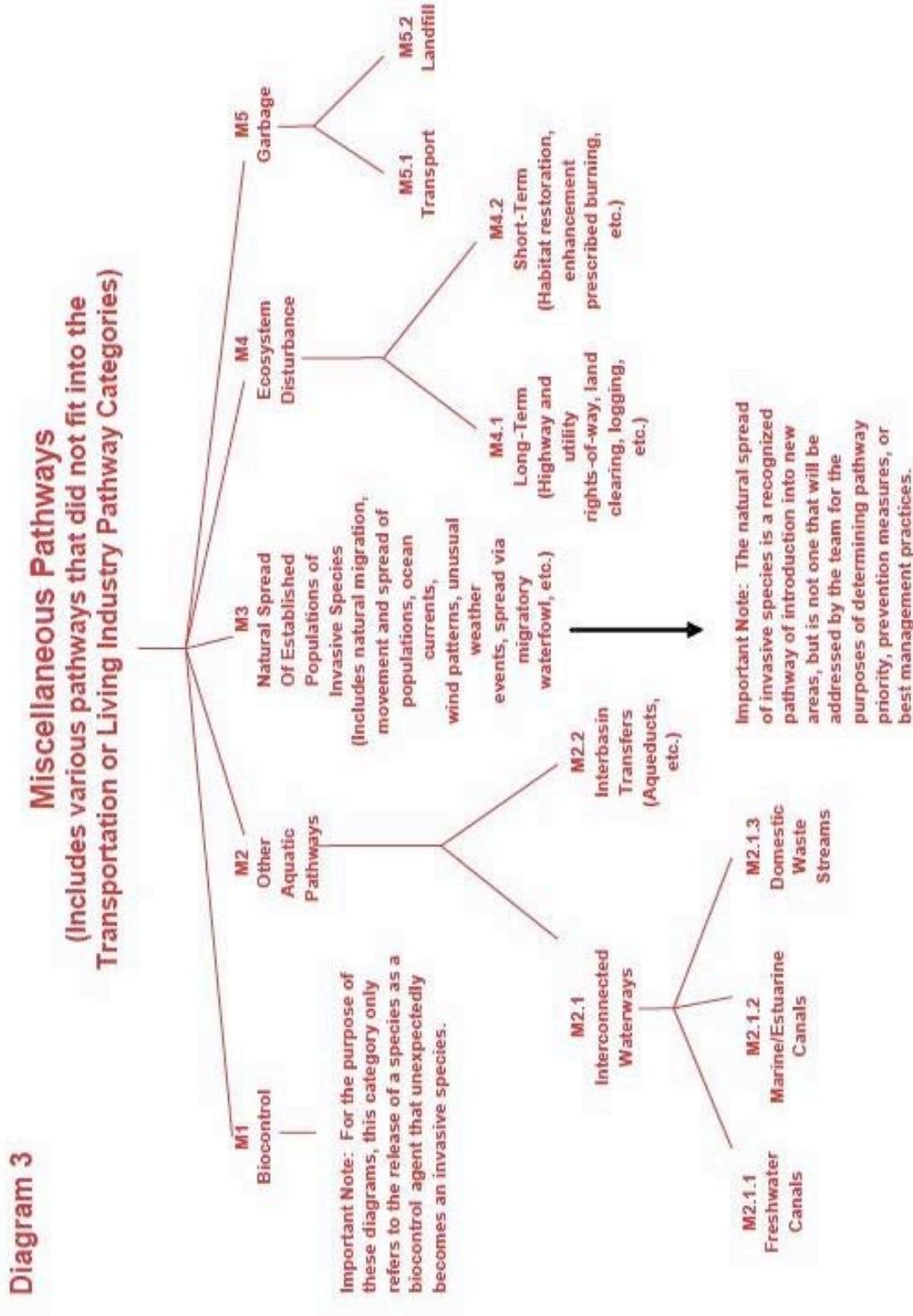
Gráfica 42. Rutas relacionadas con el transporte



Gráfica 43. Rutas de la industria de recursos biológicos



Gráfica 44. Rutas diversas



Análisis de “tercer corte”: análisis de riesgo de la ruta única

1. Realización del análisis de riesgo con base en el siguiente cuestionario, considerando grados de incertidumbre variables:
 - Pregunta 1: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta introduzca especies invasoras de manera frecuente?
 - Pregunta 2: ¿Cuál es el grado (0-5) de riesgo de que esta ruta transporte un gran número de especies invasoras viables y diferentes?
 - Pregunta 3: ¿Cuál es el grado de riesgo (0-5) de que esta ruta transporte un gran número de individuos viables por especie invasora?
 - Pregunta 4: Con base en la especie invasora específica transportada a través de esta ruta, ¿cuál es el grado de riesgo relativo (0-5) de que esta ruta introduzca especies invasoras en ecosistemas o hábitats hospitalarios?
 - Pregunta 5: ¿Hasta qué punto el propio ecosistema de la ruta incrementa la viabilidad y la oportunidad de transporte de especies invasoras?
 - Pregunta 6: ¿Cuál es el grado de riesgo (0-5) de que esta ruta introduzca especies invasoras en puntos de entrada múltiples?
 - Pregunta 7: ¿Cuál es el grado de riesgo (0-5) de que esta ruta transporte especies invasoras, con base en medidas de tratamiento estándar? (Marco de referencia: el nivel cero [0] indica que todas las EI están muertas a la llegada; 3 = la mayoría [60 por ciento] de las EI aún son reproductivamente viables; 5 = 100 por ciento de las especies invasoras están vivas, han aumentado sus poblaciones o colonias o mejorado su capacidad de invasión.)
 - Pregunta 8: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta contribuya a que las especies invasoras se propaguen a embarcaciones no contaminadas durante el transporte o el almacenamiento?
 - Pregunta 9: ¿Cuál es el grado de riesgo (0-5) de que esta ruta transporte especies invasoras, con base en las técnicas de monitoreo actuales, o con base en medidas de tratamiento estándar?
 - Pregunta 10: ¿Cuál es el grado de riesgo de que la ruta transporte a una especie invasora difícil de detectar una vez en el ecosistema receptor?

- Pregunta 11: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta transporte especies invasoras que son capaces de sobrevivir en hábitats múltiples (es decir, son generalistas)?
 - Pregunta 12: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta transporte especies invasoras a ecosistemas propicios para la propagación natural?
 - Pregunta 13: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta transporte especies invasoras que después sean propagadas por las actividades del ser humano?
 - Pregunta 14: ¿Cuál es el grado de riesgo (0-5) de que la ruta introduzca especies invasoras que se sabe son invasoras en ecosistemas similares, pero que aún no están presentes en la ecorregión?
 - Pregunta 15: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta transporte especies invasoras que son nuevas y para las cuales existen datos científicos limitados con los cuales desarrollar métodos de control?
 - Pregunta 16: ¿Cuál es el grado de riesgo de que esta ruta transporte una especie invasora para la que resulte muy caro aplicar las opciones de control disponibles?
2. Asignación del grado de invasividad con base en análisis anteriores y considerando:
- a) la categoría de impacto (impacto en la salud humana, la economía o los ecosistemas);
 - b) el alcance de la ruta para determinados ecosistemas (de local a internacional), y
 - c) el riesgo de la ruta.

Evaluación de la invasividad de las especies

Con el fin de caracterizar y evaluar el grado de invasividad de las especies invasoras potenciales o registradas en la región 11 se creó un algoritmo de calificación de invasividad de las especies (*Species Invasiveness Score*, SIS), que consiste en un sistema de ecuaciones con variables múltiples.

La calificación SIS de una especie se calcula de la siguiente manera:

$$\text{SIS} = \text{IV} + \text{IGREV} + \text{SV} + \text{PV}$$

donde:

$$\text{IV} = \text{I}_H + \text{I}_{Ec} + \text{I}_{En}$$

$$\text{IGREV} = ((\text{CECGR} - \text{CENR})/10 + \text{PER}) * 20$$

$$\text{SV} = \text{IS} - (\text{CS} + \text{SR})/2$$

$$\text{PV} = (\text{P}_{Sp} / \text{P}_T) * 20$$

Explicación

Las variables de la primera ecuación son *valor del impacto* (*impact value*, IV), *valor de la extensión del rango geográfico de invasión* (*invasive geographical range extent value*, IGREV), *valor del estado* (*status value*, SV) y *valor de la ruta* (*pathway value*, PV). Todas éstas se suman para generar un valor para la calificación SIS (una SIS de 100, el valor máximo, indica una especie muy invasora, en tanto que los valores cercanos a cero apuntan a una especie menos preocupante).

Las ecuaciones de apoyo se calculan de la siguiente manera:

El término *valor del impacto* (IV) tiene el valor más alto en la ecuación SIS, de hasta 50 como máximo, o la mitad de la posible calificación de invasividad. Los impactos independientes son: *impactos en la salud humana* (I_H , valor máximo de 20), *impactos económicos* (I_{Ec} , valor máximo de 15), *impactos ecológicos o ambientales* (I_{En} , que incluye la transmisión de enfermedades entre plantas y animales, también con valor máximo de 15).

El *valor de la extensión del rango geográfico de invasión* (IGREV) tiene un valor máximo de 20 y toma en cuenta la diferencia entre la *extensión continental del rango geográfico actual* (*continental extent of current geographical range*, CECGR) y la *extensión continental del rango nativo* (*continental extent of native range*, CENR) en relación con la distribución de las especies en el mundo. Se asignaría el valor máximo si se informa que una especie nativa de un continente está presente en cinco continentes (excluida la Antártida). Por razones prácticas, las especies híbridas no se consideran nativas de ningún continente. A la diferencia entre los continentes del rango actual y el nativo se le suma un valor correspondiente a su presencia en la región ecológica (*presence in the ecological region*, PER), cuyos valores van desde 0.6, si la especie está presente en la región

ecológica, hasta 0.3 si la especie, a pesar de que no se ha informado de su presencia en la región ecológica, sí se registra en estados vecinos y por lo tanto representa una amenaza futura, hasta cero cuando no existen informes de que la especie esté presente en la zona.

El *valor del estado* (SV) es de máximo 10 y se calcula a partir de las variables independientes: *estado de invasividad mundial* (*global invasiveness status*, IS), *estado de conservación mundial de la especie* (*species global conservation status*, CS) y *estado de la especie en la región ecológica* (*species status in the ecological region*, SR). Al *estado de invasividad mundial* (IS) se le asigna un valor de 10 si la especie está incluida en la lista de la UICN de las cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo; 5, si no está en esta lista pero sí registrada en la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras (*Global Invasive Species Database*, GISD), y cero, si la especie no está incluida en ninguna de las anteriores. El *estado de conservación* (CS) se basa en las categorías de conservación de la UICN y se asignan valores de 10 a especies críticas, 8 a las que están en peligro de extinción, 6 a las vulnerables y 4 a las de menor preocupación. Los valores de *estado de la especie en la región ecológica* (SR) se asignan en la siguiente forma: 10 a especies endémicas, 8 a nativas, 6 a trasplantadas, 4 a criptogénicas e híbridos de especies nativas y 0 a las exóticas y cosmopolitas.

Por último, el *valor de la ruta* (PV) tiene un máximo de 20. Este valor es el resultado del número de rutas a través de las cuales la especie se introdujo en la región ecológica (P_{sp}), en comparación con el número total de rutas por las cuales las especies del mismo grupo se introdujeron (P_T).

Una vez determinados los valores SIS para cada una de las 373 especies exóticas registradas para la región ecológica, las especies se clasificaron según su grado de invasividad, es decir, calculando el intervalo de los cuartiles según la distribución de frecuencia de los valores en la ecuación SIS. Así, las especies con SIS superiores a 46 fueron designadas como especies invasoras críticas (calificación SIS crítica); aquellas con valores entre 33 y 46 como muy invasoras (calificación SIS alta); a las que se les asignaron valores SIS entre 25 y 33 como moderadamente invasoras (calificación SIS media) y, por último, todas las especies con valores SIS menores a 25 puntos como poco invasoras (calificación SIS baja).

Resultados

Especies totales

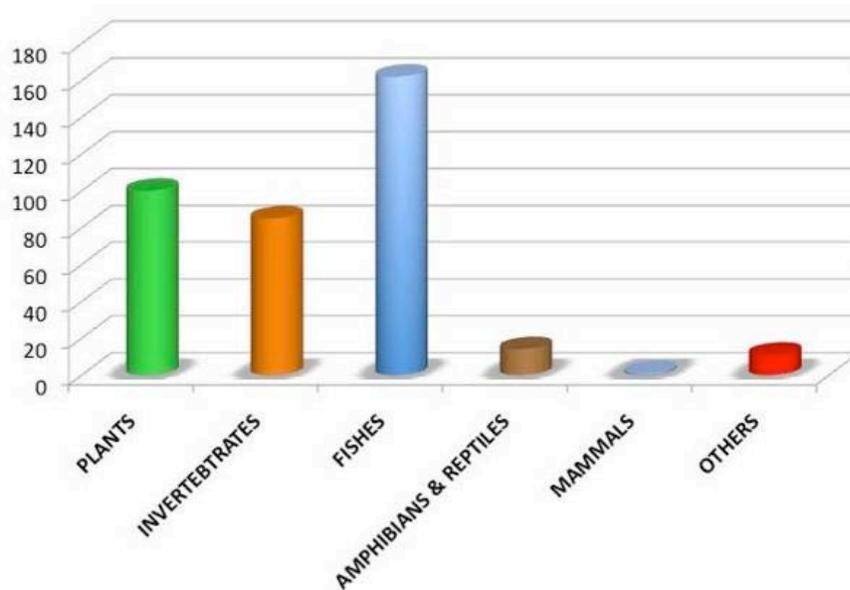
De acuerdo con varias bases de datos,¹⁴ informes y artículos científicos, hay 373 especies exóticas (100 plantas, 85 invertebrados, 162 peces, diez anfibios, cuatro reptiles, un mamífero y un hongo, dos protozoarios, cuatro bacterias y cuatro virus) presentes o registrados en estados vecinos a la región 11 (véase la gráfica 45).

Plantas

Las plantas no autóctonas son factores de presión de los ecosistemas acuáticos. Muchas especies pueden formar grandes monocultivos que alteran la abundancia y la diversidad de la flora nativa o perturban aspectos físicos como el flujo del agua, la penetración de la luz y la concentración del oxígeno disuelto. Si bien es cierto que no todas las plantas acuáticas introducidas tienen impactos extremos, aún quedan por comprender las consecuencias de gran parte de las introducciones. En lo fundamental, el establecimiento de plantas no autóctonas se apropia del hábitat de las especies nativas. A medida que se introducen nuevos taxones y se amplía su rango, es imperativo tener conocimiento específico de su distribución y su posible rango para poder gestionar los recursos (Benson *et al.*, 2004).

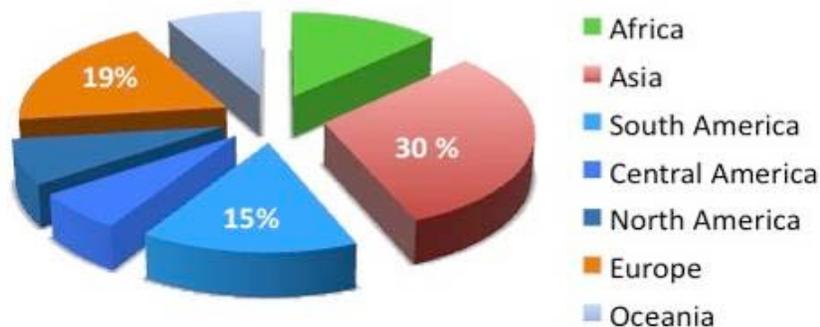
¹⁴ Por ejemplo: California Invasive Plant Council Home, <<http://www.cal-ipc.org/>>; Global Biodiversity Information Facility, <<http://es.mirror.gbif.org/>>; Global Invasive Species Database, <<http://www.issg.org/database/>>; Invasive Plant Atlas of New England, <<http://nbii-nin.ciesin.columbia.edu/>>; NAS-Non-indigenous Aquatic Species, <<http://nas.er.usgs.gov/>>; Plants Database, <<http://plants.usda.gov/>>; Departamento de Agricultura de Estados Unidos, <<http://www.invasivespeciesinfo.gov/>>; Departamento de Ecología del Estado de Washington, <<http://www.ecy.wa.gov/>>; Center for Invasive Species and Ecosystem Health, <<http://www.invasive.org/>>; Texas Invasive Plant and Pest Council, <<http://www.texasinvasives.org/>>; SeaLife Base, <<http://www.sealifebase.org/>>; Center for Aquatic and Invasive Plants-University of Florida, IFAS, <<http://plants.ifas.ufl.edu/node/201>>; Flora of Zimbabwe, <<http://www.zimbabweflora.co.zw/>>; Discover Life, <<http://www.discoverlife.org/>>; National Exotic Marine and Estuarine Species, <<http://invasions.si.edu/nemesis>>.

Gráfica 45. Número de especies exóticas (por grupo) presentes en la región 11



Cien especies de plantas acuáticas no autóctonas que representan 54 familias se catalogan como presentes (98) o registradas en estados vecinos (2) y que representan una amenaza futura para la región ecológica Río Bravo-Laguna Madre; entre ellas hay representantes de casi todos los continentes: cerca de la mitad es nativa de Asia (30 por ciento) y Europa (19 por ciento). Por tanto, las especies nativas de más de un continente están representadas como tales. Sólo 15 por ciento de las especies son nativas de América del Norte, y de éstas una ligera mayoría son especies marinas, de agua salobre o de agua dulce originarias de la costa del Atlántico (52.25 por ciento), en comparación con la costa del Pacífico. Si se considera a todas las especies del continente americano (29 por ciento en conjunto), tienen la misma importancia que las de Asia (véase la gráfica 46).

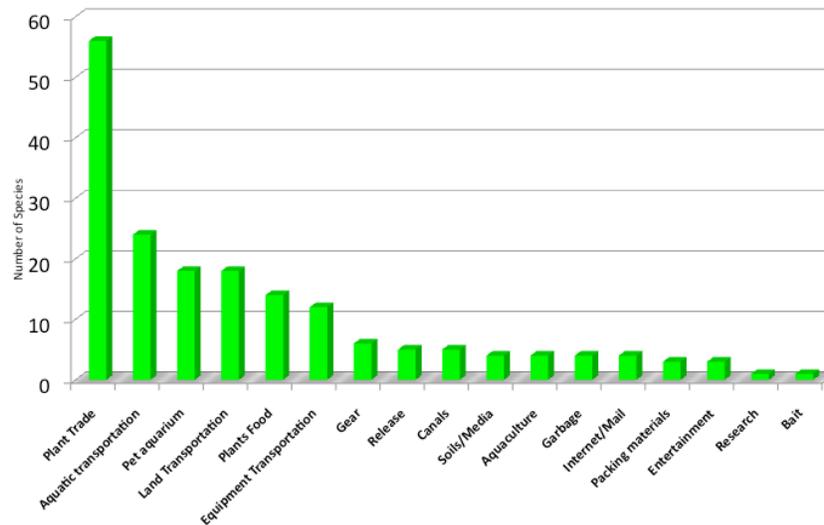
Gráfica 46. Fuentes de las plantas invasoras, por continente o región



Mientras que algunas especies parecen representar poca amenaza para la región 11, otras de las presentes en la zona, como *Arundo donax*, *Eichhornia crassipes*, *Caulerpa taxifolia*, *Imperata cylindrica*, *Lythrum salicaria*, *Melaleuca quinquenervia*, *Mimosa pigra*, *Pueraria montana var. lobata* y *Schinus terebinthifolius*, están clasificadas entre las “cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo” en la lista de la UICN a partir de una selección de la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras.

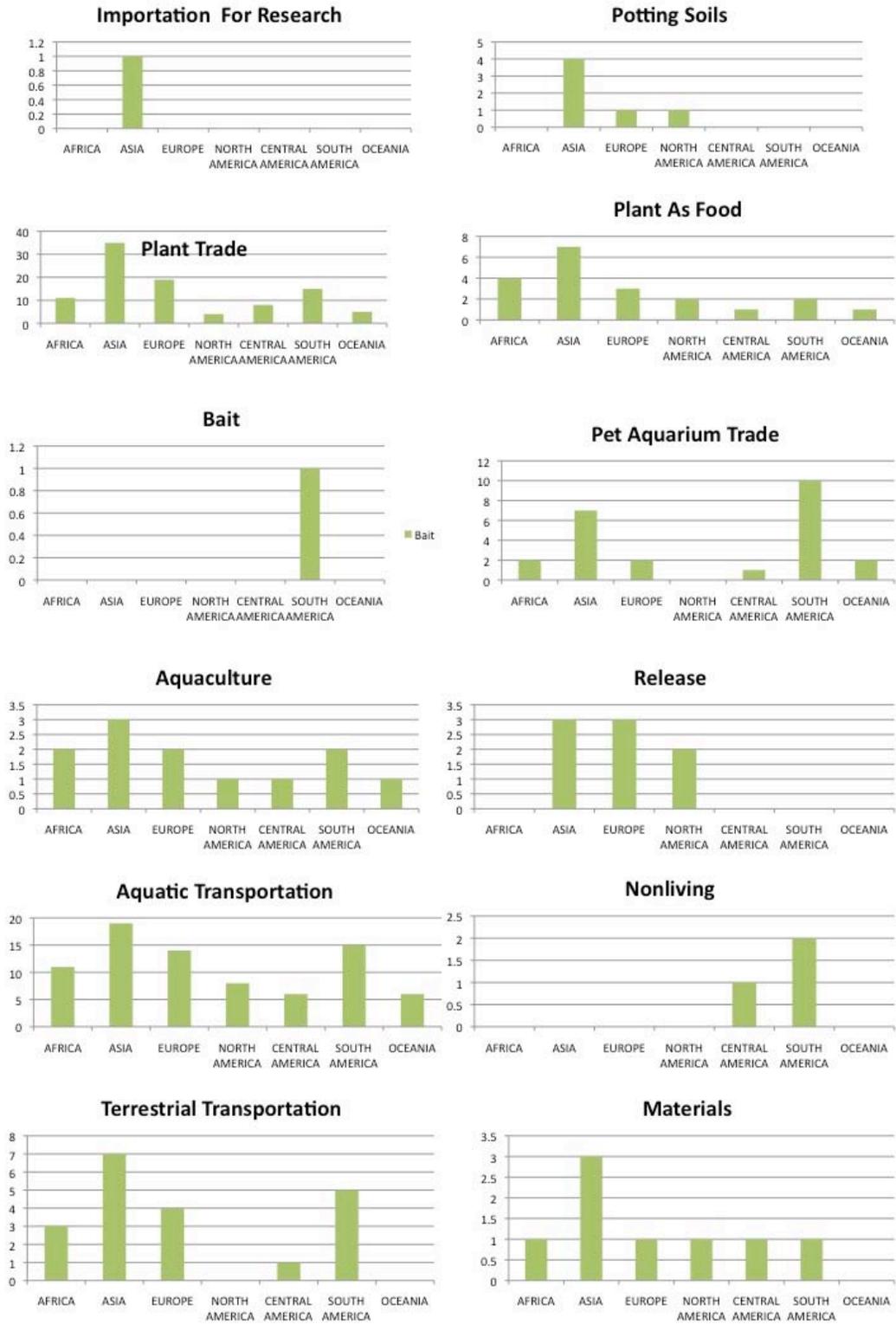
Las principales rutas asociadas a la presencia de plantas exóticas en la región 11 son el comercio de plantas (y sus rutas alternas, como plantas completas, partes de plantas), el transporte acuático (lastre seco, superficie de los cascos, transporte de maquinaria y equipo), las especies para acuario (plantas de ornato para acuarios) y el transporte terrestre (véase la gráfica 47).

Gráfica 47. Rutas relacionadas con las plantas invasoras presentes en la región 11

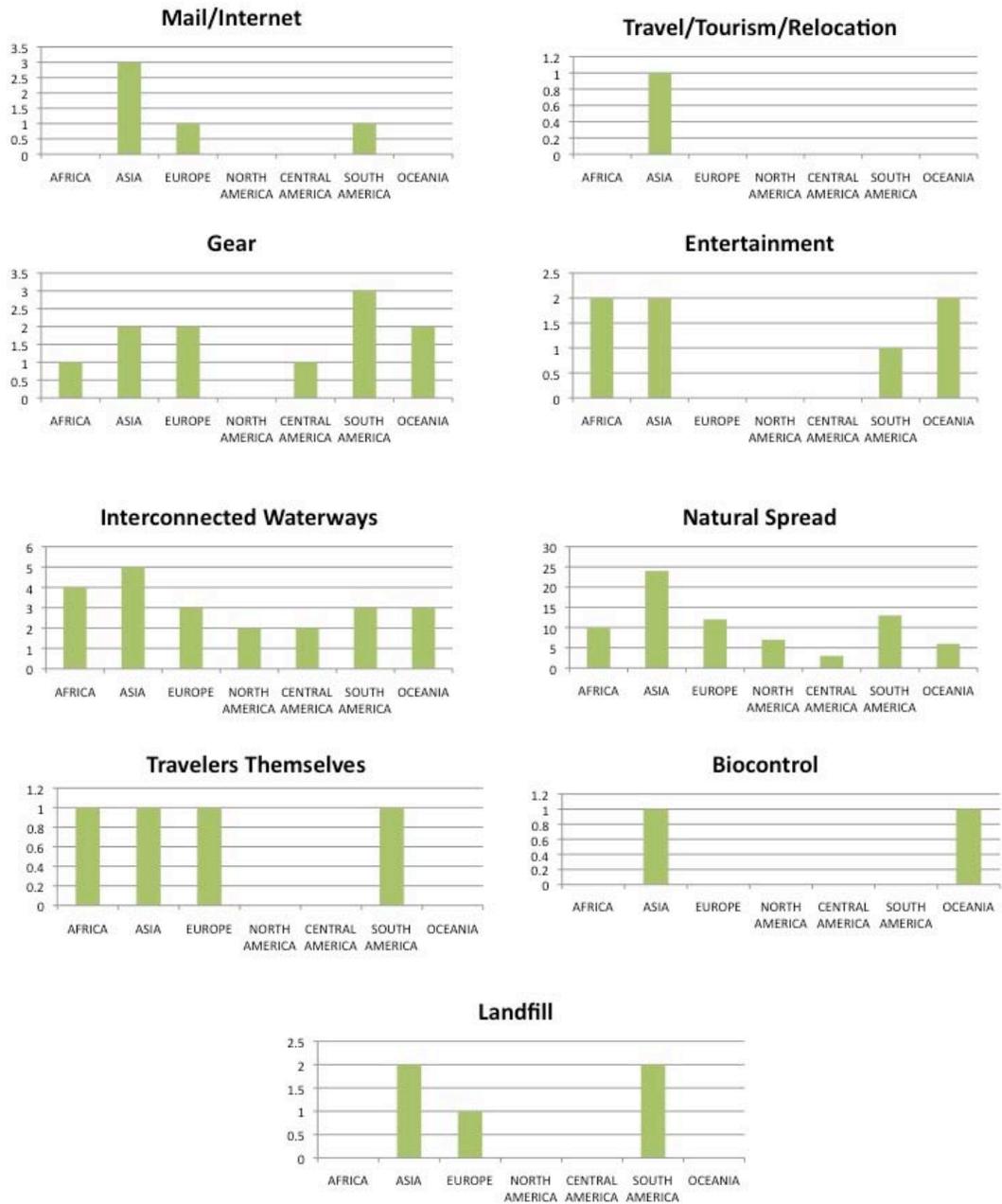


Del examen de la relación entre las rutas y el continente de origen queda claro que Asia es el punto de donde provienen la mayoría de las especies invasoras, seguida de América del Sur, en particular para rutas importantes como carnada y comercio de especies para acuario. El papel de Europa como continente de origen es modesto pero constante, ya que aparece en la mayoría de las rutas y adquiere especial relevancia en algunas, como liberación intencional y transporte acuático (véase la gráfica 48).

Gráfica 48. Importancia de las rutas de introducción de plantas por región fuente

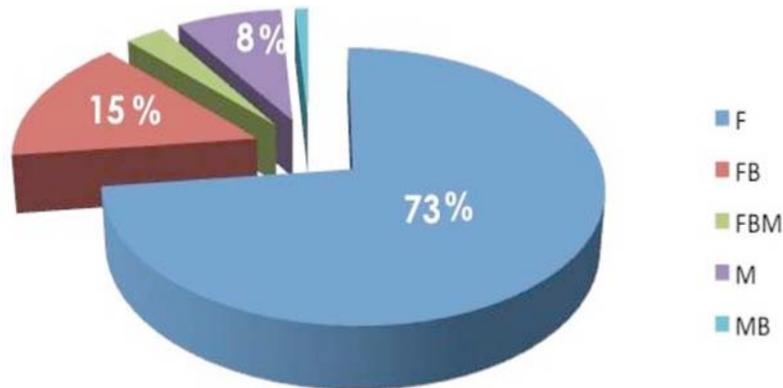


Gráfica 48. Importancia de las rutas de introducción de plantas por región fuente (cont.)



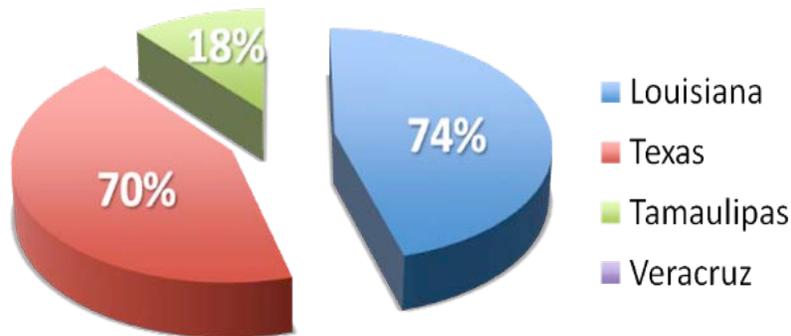
La mayoría de las plantas presentes en la región 11 son de origen dulceacuícola, seguidas de las que provienen de aguas dulce y salobre (véase la gráfica 49). En cuanto a ubicación, la gran mayoría de las especies de plantas invasoras presentes en la parte estadounidense de la Laguna Madre predominan sobre todo en Texas y Louisiana, aunque algunas también se encuentran en otros estados (véase la gráfica 50).

Gráfica 49. Fuentes de las plantas invasoras, por ambiente acuático



F = agua dulce, FB = agua dulce y agua salobre, FBM = agua dulce, salobre y de mar, M = agua de mar, MB = agua de mar y salobre.

Gráfica 50. Presencia de especies exóticas, por estado

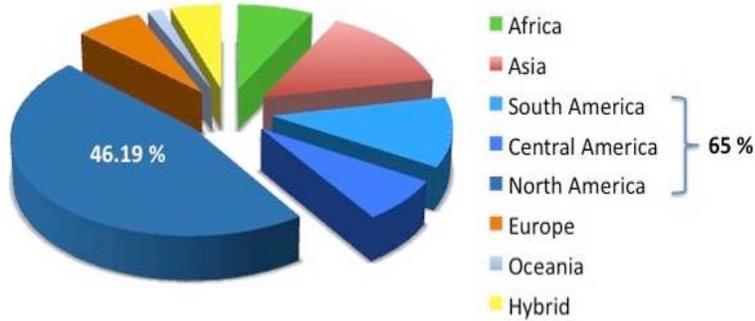


Porcentajes relativos a un total de cien plantas encontradas.

Peces

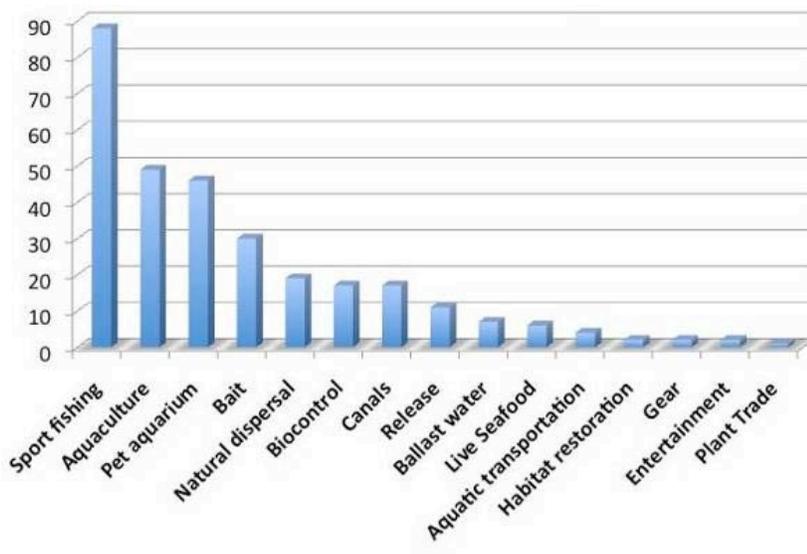
Un total de 162 especies de peces se ha introducido en la región 11 o estados vecinos. La mayoría proviene del continente americano y casi la mitad (46.19 por ciento) es nativa de América del Norte. Gran parte de estos trasplantes nativos son de la vertiente del Atlántico (91 por ciento). Cabe señalar la presencia de diez híbridos de peces, cuatro de los cuales son producto del cruzamiento de especies nativas (sobre todo para pesca deportiva), mientras que los seis restantes son resultado de cruces entre especies exóticas (principalmente carpas) (véase la gráfica 51).

Gráfica 51. Fuentes de los peces invasores exóticos, por continente



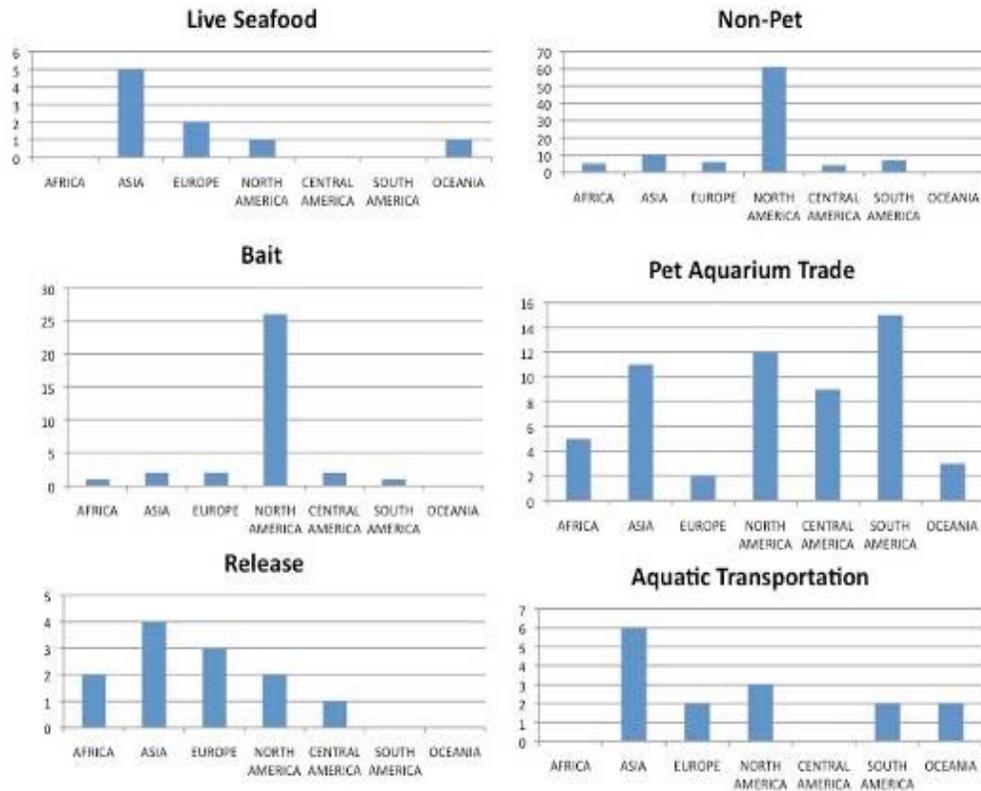
Varios de estos peces introducidos (*Clarias batrachus*, *Cyprinus carpio*, *Gambusia affinis*, *Lates niloticus*, *Micropterus salmoides*, *Oncorhynchus mykiss*, *Oreochromis mossambicus* y *Salmo trutta*) se han clasificado entre las "cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" en la lista de la UICN, a partir de una selección de la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras. No cabe la menor duda de que la ruta principal de introducción de peces en la región 11 es el repoblamiento intencional para la pesca deportiva. La acuicultura y el comercio de especies para acuarios ocupan el segundo lugar; la liberación de carnada también tiene contribuciones importantes. Un menor número de introducciones es atribuible a control biológico, paso por canales, liberación de organismos para diversos propósitos, agua de lastre o peces e invertebrados vivos (véase la gráfica 52).

Gráfica 52. Rutas relacionadas con las especies de peces invasoras presentes en la región 11

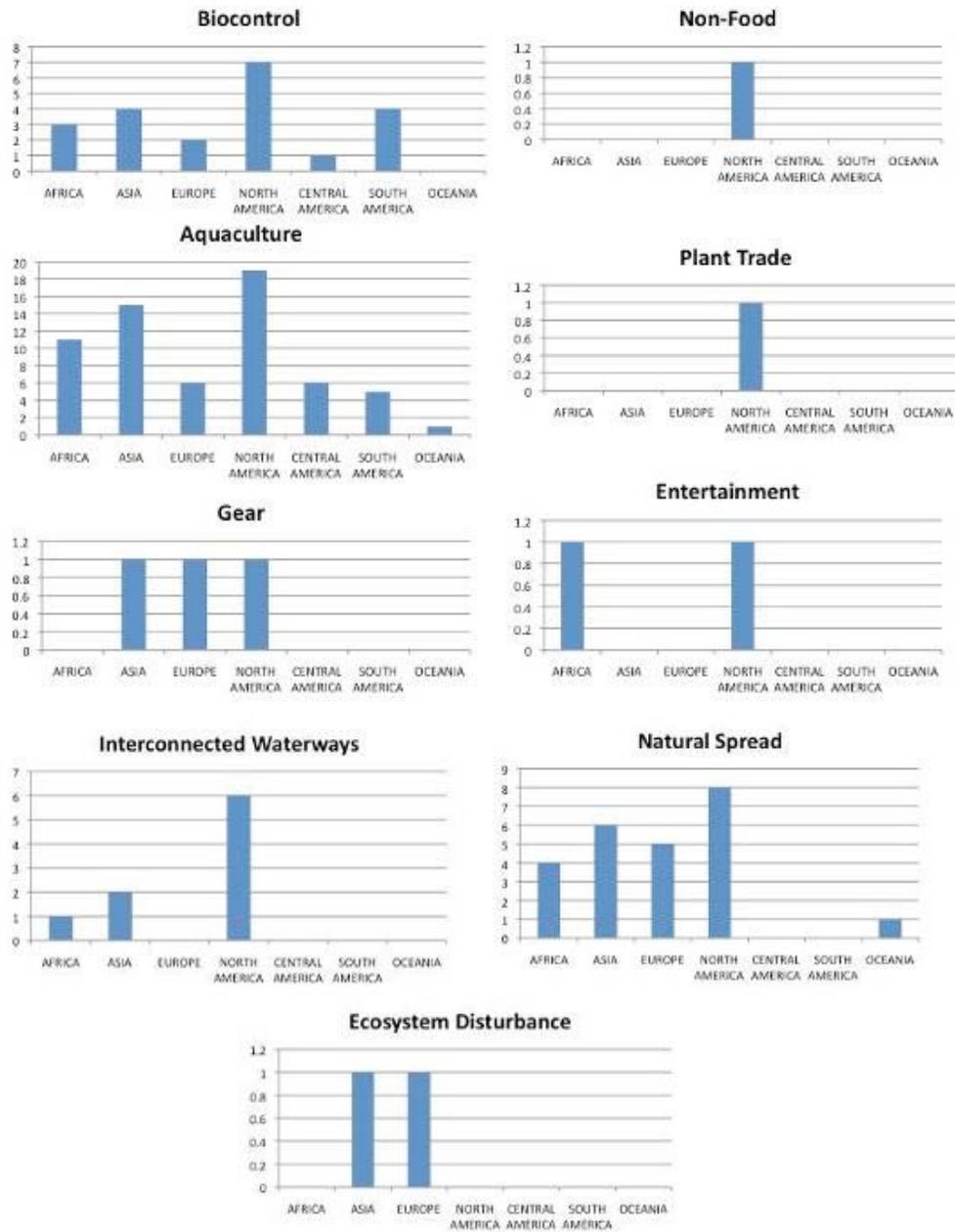


El análisis de las rutas de los peces por continente fuente revela la importancia de América del Norte como región de origen en la mayoría de las rutas. Las rutas de especies que no son para acuarios domésticos (que incluye el repoblamiento de peces de interés para la pesca deportiva) y de carnada están obviamente relacionadas y ambas denotan la importancia de las especies provenientes de la región (como *Morone saxatilis*, *Esox lucius*, *Cyprinella lutrensis* y *Astianax mexicanus*). Por otra parte, Asia es una fuente importante de peces e invertebrados vivos debido a la tradición cultural de las comunidades asiáticas en América del Norte. Otras rutas importantes como el comercio de especies para acuarios son Asia y América pero, como se esperaba, América del Sur es un factor de contribución importante como fuente de muchos peces amazónicos de muy alto valor (véase la gráfica 53).

Gráfica 53. Importancia de las rutas de introducción de peces, por región fuente

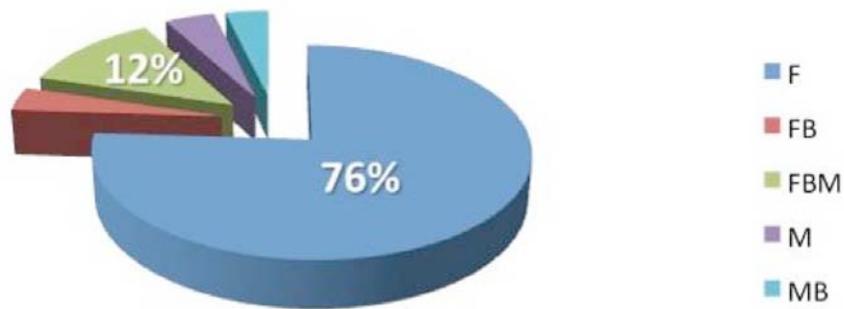


Gráfica 53. Importancia de las rutas de introducción de peces, por región fuente (cont.)



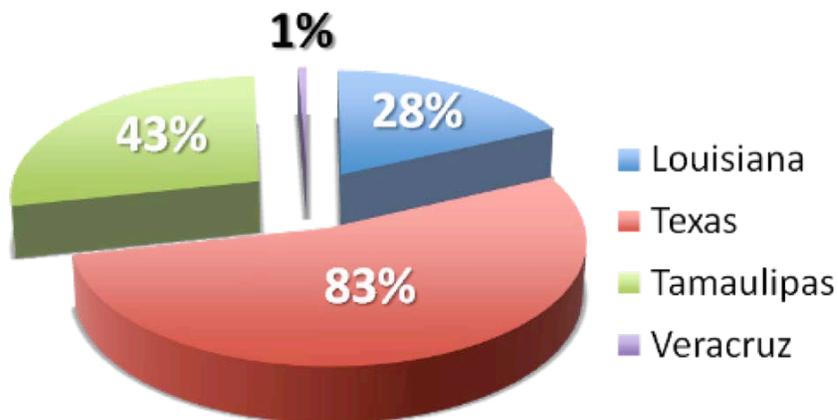
La mayoría de estos peces invasores son especies de agua dulce, seguidas de los que prosperan en ámbitos salobres y marinos (véase la gráfica 54). Texas y California tienen las cifras más altas de peces exóticos en Estados Unidos (véase la gráfica 55) (Fuller *et al.*, 1999).

Gráfica 54. Fuente de los peces invasores, por ambiente acuático



F = agua dulce, FB = agua dulce y agua salobre, FBM = agua dulce, salobre y de mar, M = agua de mar, MB = agua de mar y salobre.

Gráfica 55. Presencia de especies exóticas, por estado



Porcentajes relativos a un total de 162 peces encontrados.

Anfibios y reptiles

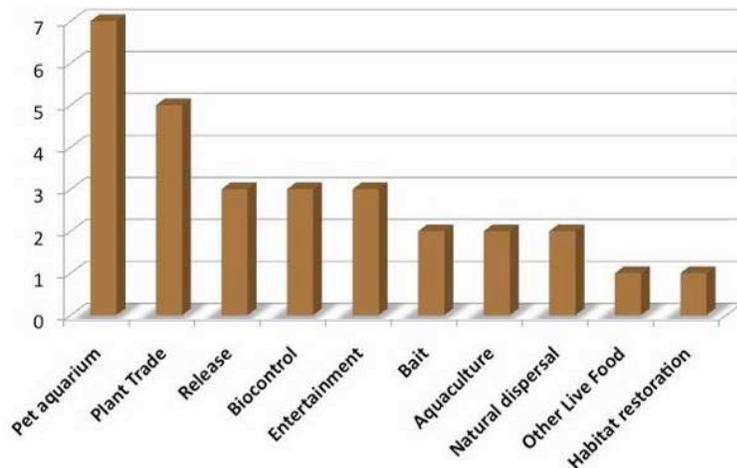
Un total combinado de 14 especies de anfibios acuáticos y reptiles se ha introducido en la región 11; la gran mayoría (86 por ciento) es nativa de América del Norte, sobre todo de la vertiente del Atlántico (78.6 por ciento) (véase la gráfica 56), en parte a raíz de la elevada biodiversidad de estos grupos en la región. Algunos representantes de ambos grupos (*Bufo marinus*, *Eleutherodactylus coqui*, *Lithobates catesbeianus* y *Trachemys scripta elegans*) se consideran amenazas graves y, como tales, están clasificadas entre las "Cien de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras.

Gráfica 56. Fuentes de los anfibios y reptiles invasores en la región 11



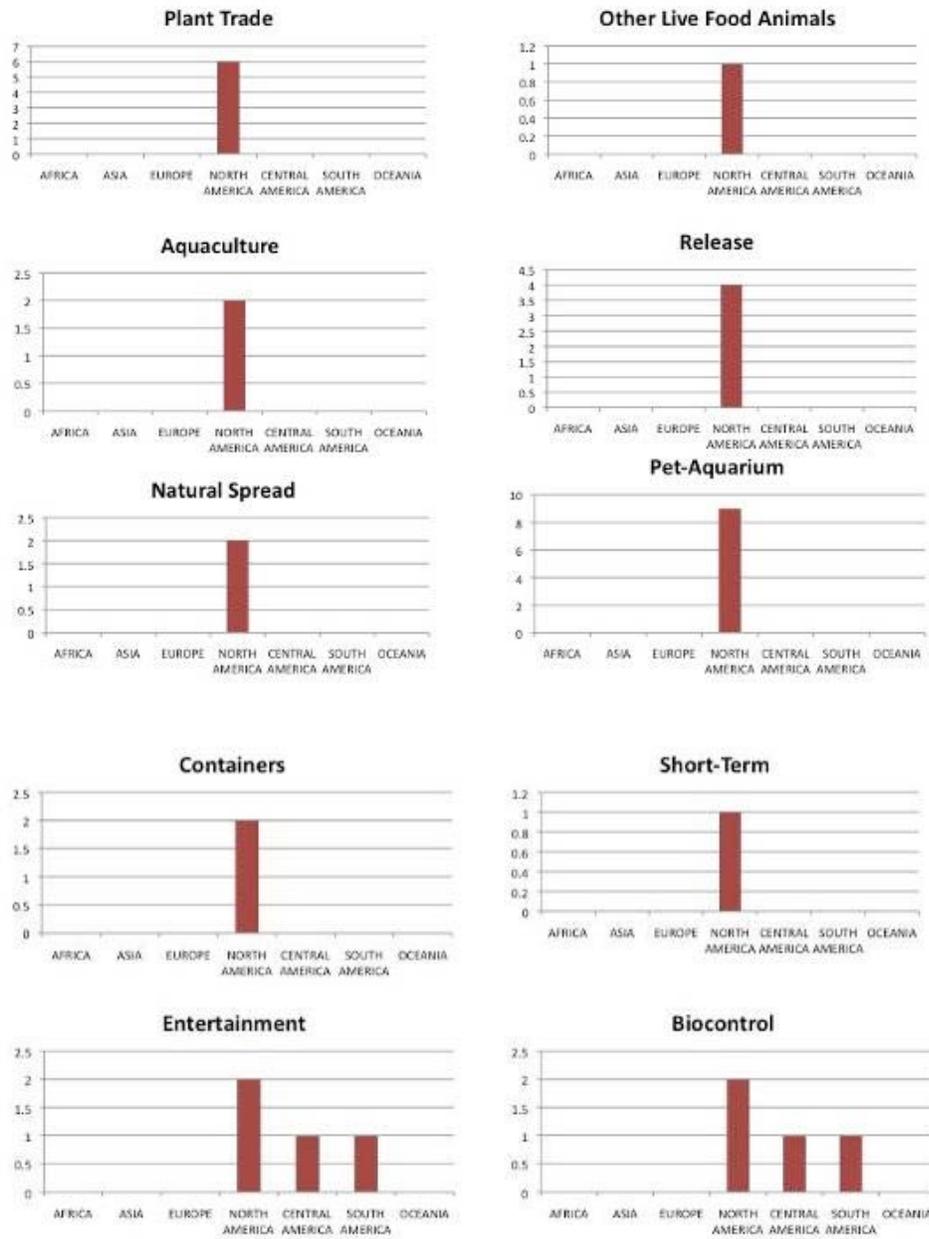
La ruta más importante de introducción de estos grupos es el comercio de especies para acuarios domésticos y, considerando la asociación ecológica natural de dichos grupos con las plantas, la ruta del comercio de plantas le sigue en importancia. Otras rutas menores, como liberación para diversos propósitos, control biológico o entretenimiento (véase la gráfica 57), también son factores de introducción de estos grupos.

Gráfica 57. Rutas relacionadas con las especies de anfibios y reptiles presentes en la región 11



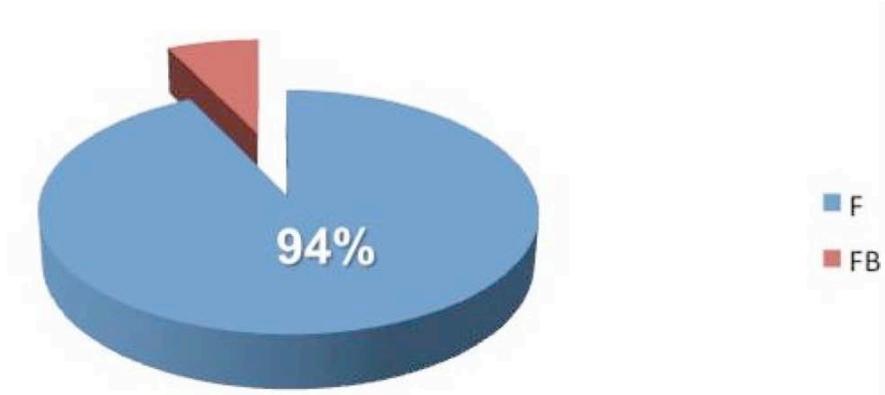
En virtud de que la mayoría de las especies son trasplantes nativos, América del Norte fue, a través de todas las rutas, la principal fuente de origen de especies exóticas en la región 11 (véase la gráfica 58).

Gráfica 58. Importancia de las rutas de introducción de anfibios y reptiles, por región fuente



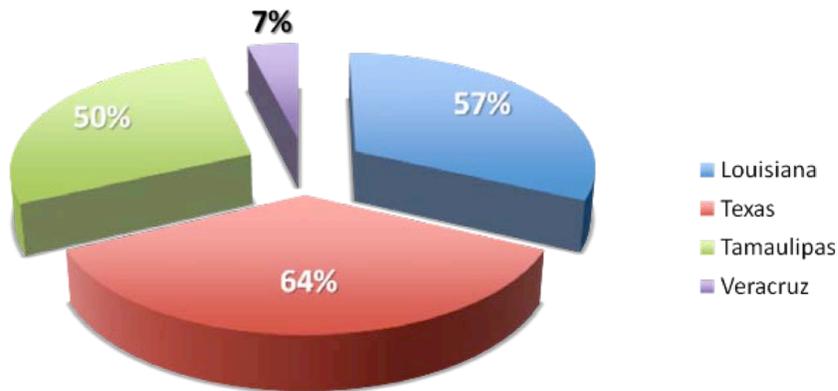
La gran mayoría de los anfibios y los reptiles invasores es de origen dulceacuícola y se distribuye de manera uniforme en todas las zonas invadidas (Texas, Louisiana y Tamaulipas) (véanse las gráficas 59 y 60).

Gráfica 59. Fuentes de los anfibios y reptiles invasores, por ambiente acuático



F = agua dulce, FB = agua dulce y salobre.

Gráfica 60. Presencia de especies exóticas, por estado

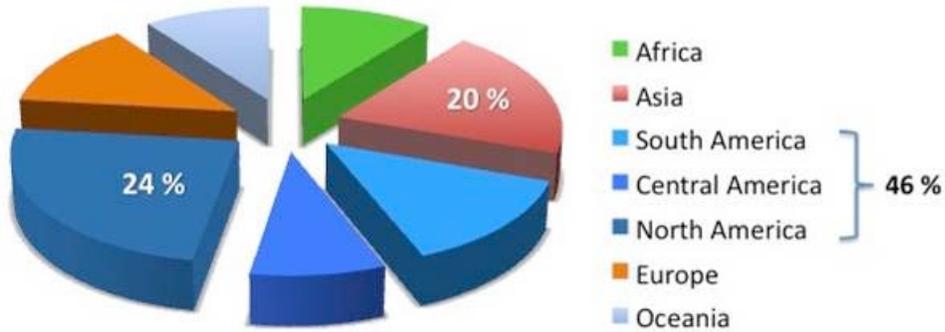


Porcentajes relativos a un total de 14 anfibios y reptiles encontrados.

Invertebrados

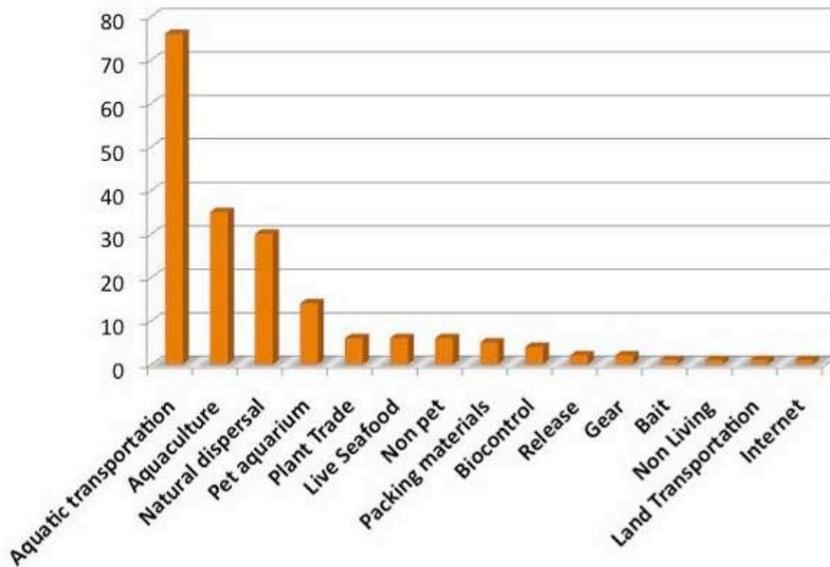
Las especies invasoras de invertebrados presentes en la región 11 son nativas de todos los continentes y, al igual que ocurre con otros grupos, su principal lugar de origen es el continente americano (46 por ciento), en particular América del Norte (véase la gráfica 61). Algunos de estos invertebrados (*Aedes albopictus*, *Carcinus maenas*, *Dreissena polymorpha*, *Eriocheir sinensis*, *Linepithema humile* y *Pomacea canaliculata*), que se caracterizan por representar graves amenazas económicas, ambientales y de salud, figuran en la lista de las "Cien de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la UICN a partir de una selección de la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras.

Gráfica 61. Fuentes de los invertebrados invasores, por continente

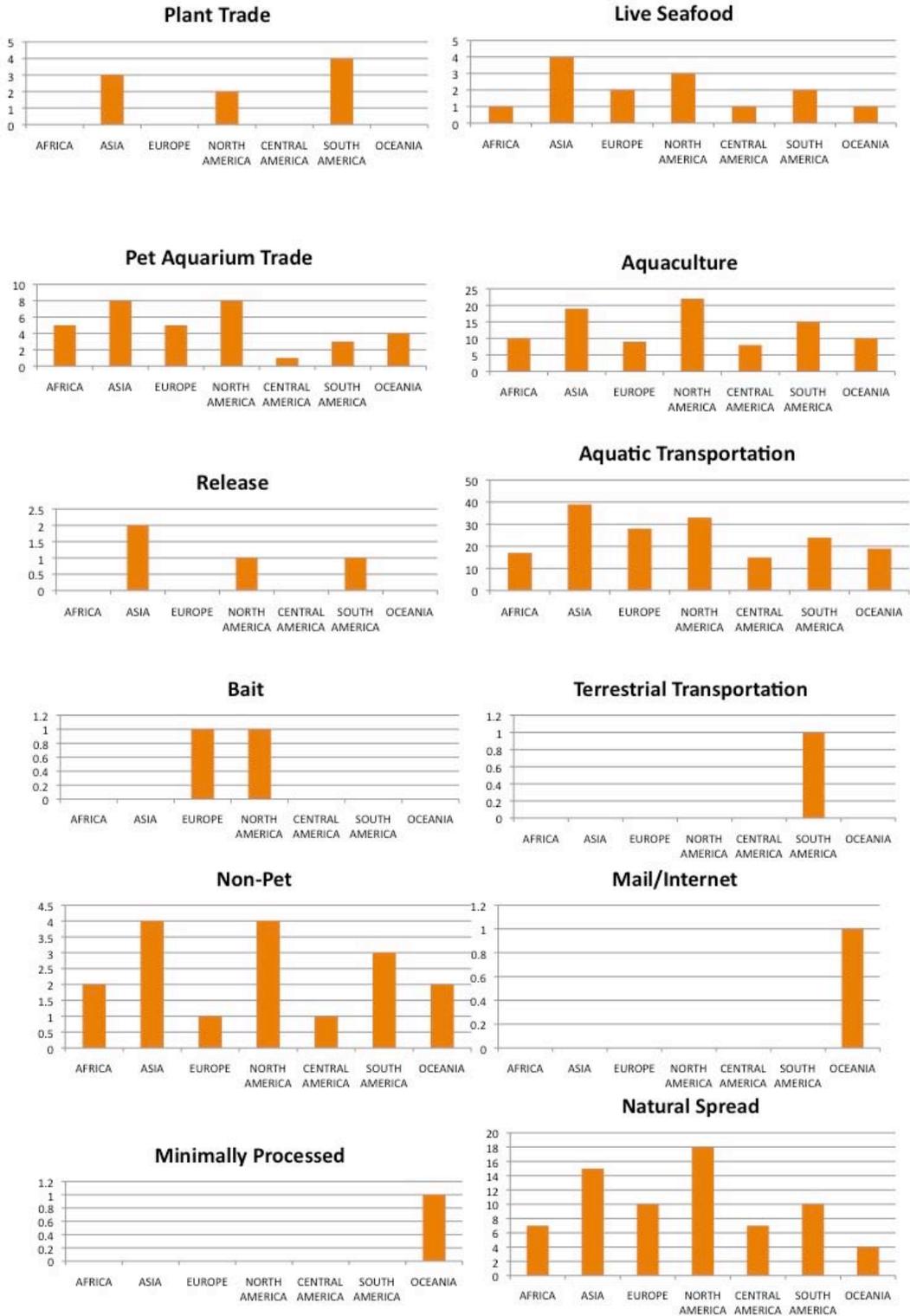


A los invertebrados invasores originarios de América del Norte les siguen en número las especies provenientes de Asia (20 por ciento) y América del Sur (13 por ciento). La mayoría (59.7 por ciento) de los trasplantes nativos proviene de la vertiente del Atlántico y se introdujo principalmente por el transporte acuático y rutas alternas (agua de lastre, encrustamiento en cascos). Otras rutas importantes relacionadas con la introducción de invertebrados a la región 11 son la acuicultura y el comercio de especies para acuarios domésticos (véanse las gráficas 62 y 63). La ruta más importante de este grupo es la dispersión natural.

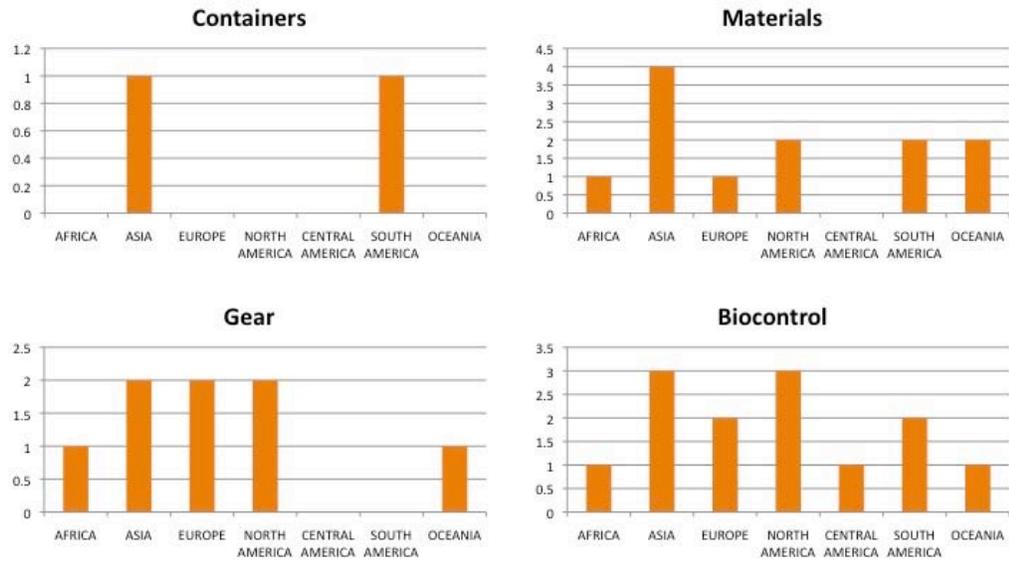
Gráfica 62. Rutas relacionadas con las especies de invertebrados presentes en la región 11



Gráfica 63. Importancia de las rutas de invertebrados, por región fuente

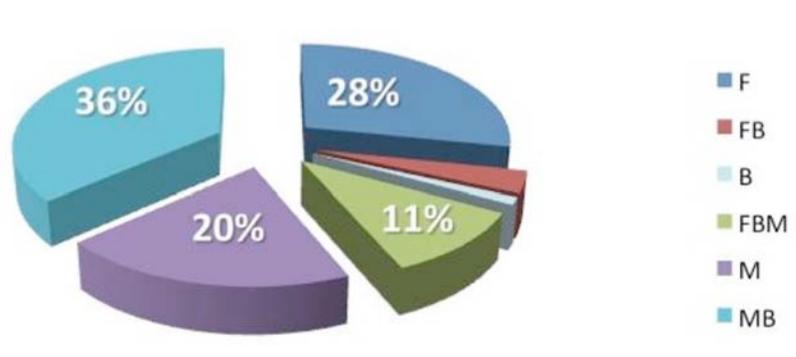


Gráfica 63. Importancia de las rutas de invertebrados, por región fuente (cont.)



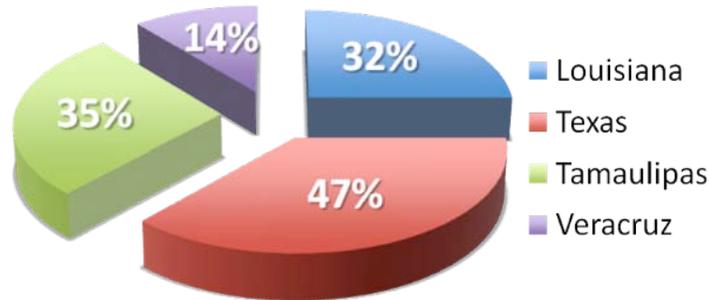
En cuanto al papel desempeñado por el propio ambiente acuático, en comparación con el caso de otros grupos de especies, es apenas un poco más probable que la introducción de invertebrados provenga de ambientes marinos y marino-salobres que de fuentes de agua dulce (véanse las gráficas 64 y 65).

Gráfica 64. Fuentes de los invertebrados invasores, por ambiente acuático



F = agua dulce, FB = agua dulce y agua salobre, B = agua salobre, FBM = agua dulce, salobre y de mar, M = agua de mar, MB = agua de mar y salobre.

Gráfica 65. Presencia de especies exóticas, por estado

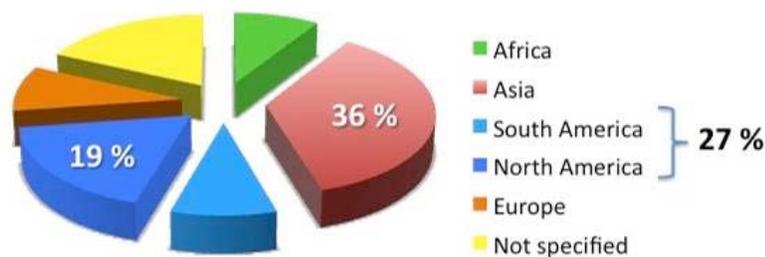


Porcentajes relativos a un total de 85 invertebrados encontrados.

Otros

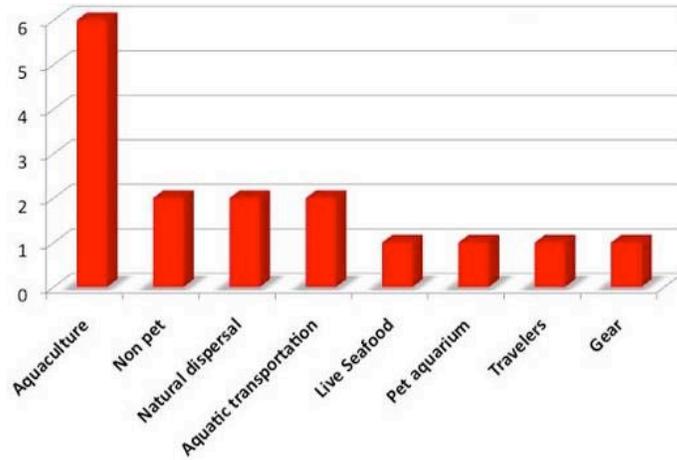
Los microorganismos pertenecientes a grupos como bacterias y virus caen en esta categoría. Estas especies se originan en un número relativamente limitado de continentes y regiones; algunos son cosmopolitas o de fuente desconocida. Es éste uno de los pocos grupos cuya fuente principal no es el continente americano, ya que la mayoría es nativa de Asia (véase la gráfica 66). En este grupo están las especies más peligrosas en términos de daños a la economía y la salud (incluida la salud humana). Con todo, ninguna figura en la lista de las "cien de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la UICN a partir de una selección de la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras.

Gráfica 66. Fuentes de introducción de microorganismos, por continente



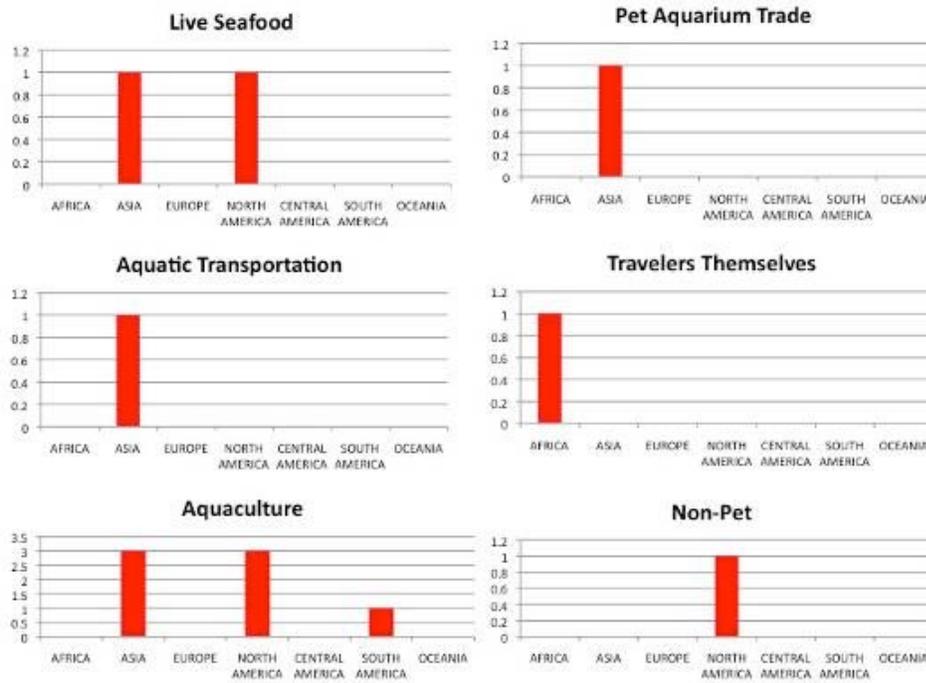
La acuicultura ha sido la ruta de introducción más importante de estos grupos en la región 11, dada su asociación natural con sus hospederos (como el camarón). El comercio de especies que no son para acuarios domésticos (sino para investigación, con fines distintos del alimentario, etcétera) y las rutas de transporte acuático (principalmente a través del agua de lastre) también son significativos, junto con la dispersión natural (véase la gráfica 67).

Gráfica 67. Rutas relacionadas con la introducción de microorganismos en la región 11

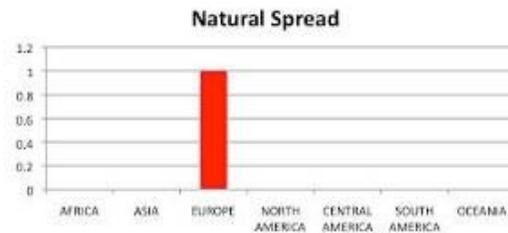


Muchas de estas especies son de origen asiático, como se puede corroborar en las rutas de transporte acuático, acuicultura, peces e invertebrados vivos y especies para acuarios domésticos. Otras son translocaciones subcontinentales que llegaron por la vía de la acuicultura (véase la gráfica 68).

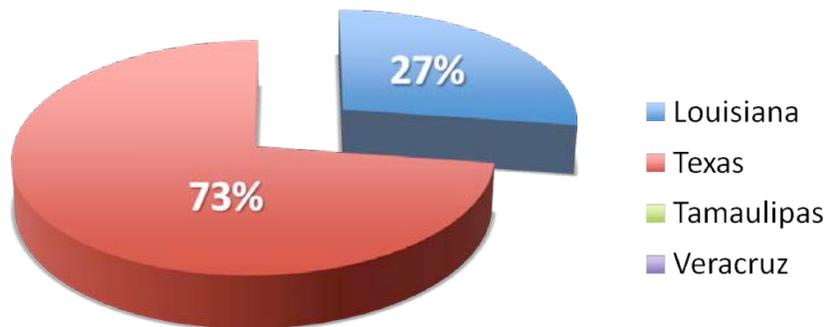
Gráfica 68. Importancia de las rutas de introducción de microorganismos, por región fuente



Gráfica 68. Importancia de las rutas de introducción de microorganismos, por región fuente (cont.)



Gráfica 69. Presencia de especies exóticas, por estado



Porcentajes relativos a un total de 11 microorganismos encontrados.

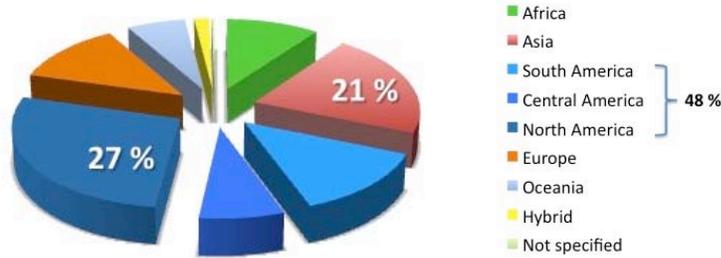
Mamíferos

Sólo se encontró una especie exótica de mamíferos acuáticos en todos los estados de la región 11: la nutria (*Myocastor coypus*). Esta especie de agua dulce tuvo una sola ruta: su dispersión natural.

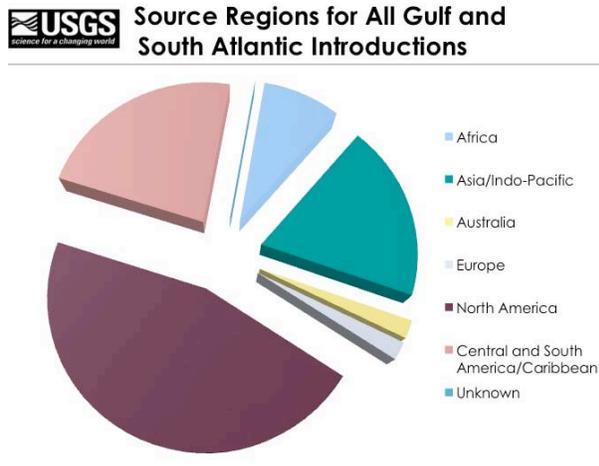
Conjunto

Hay una estrecha similitud entre las fuentes de introducción de la región 11 y las del golfo de México y el Atlántico Sur (Benson *et al.*, 2001; Fuller, 2005). En cada caso América del Norte sobresale como la fuente principal y las Américas en conjunto son el origen principal de las especies exóticas presentes en la región 11. De manera similar, el segundo continente en importancia en términos de origen es Asia (véanse las gráficas 70 y 71).

Gráfica 70. Origen por continente o región del conjunto de taxones presentes en la región 11 o estados vecinos



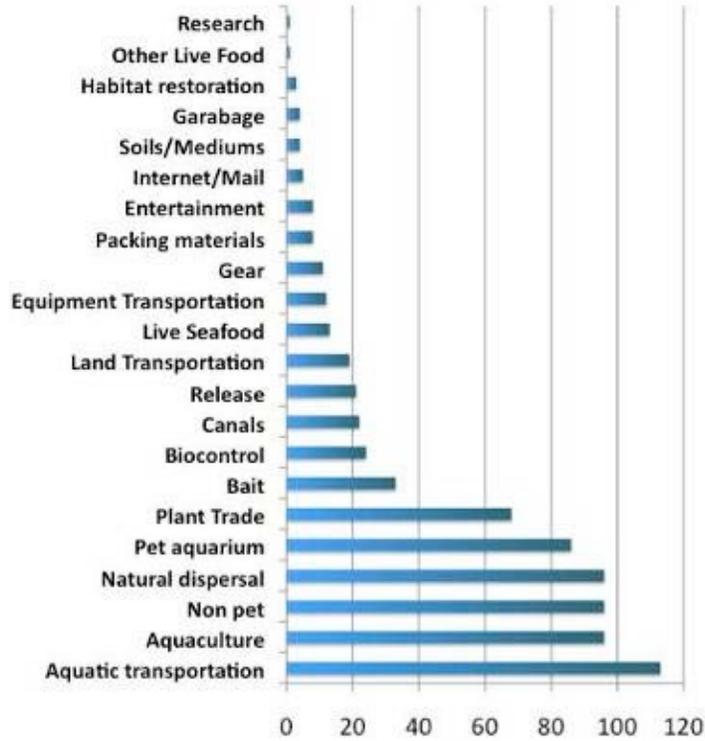
Gráfica 71 Origen por continente o región del conjunto de especies acuáticas exóticas presentes en el golfo de México y el Atlántico Sur



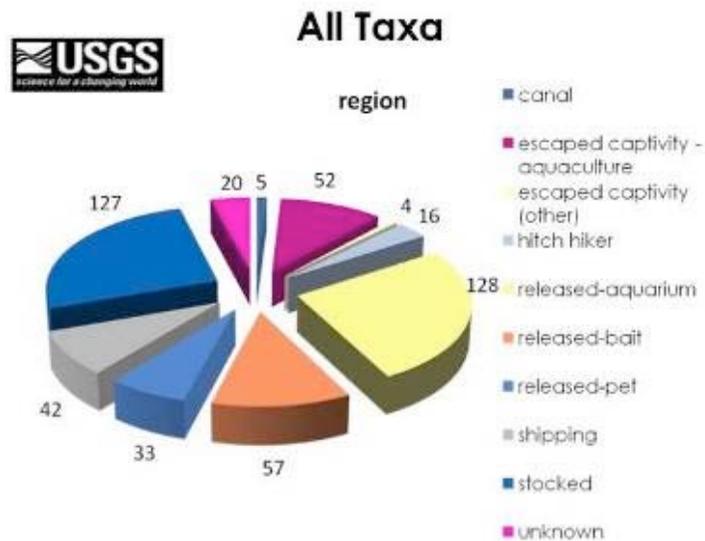
Fuente: Fuller, 2005.

También hay similitudes en las rutas de introducción de todos los taxones. Por ejemplo, el almacenamiento (clasificado en el rubro de especies que no son para acuarios domésticos en este análisis) y el comercio para acuarios son dos de las rutas principales. Una de las diferencias es que en la región 11 el transporte acuático (sumando agua de lastre, lastre seco, incrustamiento de cascos, etcétera) es mucho más importante que en el golfo de México y la región del Atlántico Sur. Asimismo, la ruta de la acuicultura desempeña un papel más importante en la región 11 que en el golfo de México y el Atlántico Sur (véanse las gráficas 72 y 73).

Gráfica 72 Importancia de las rutas de introducción para todos los taxones de las especies exóticas en la región 11



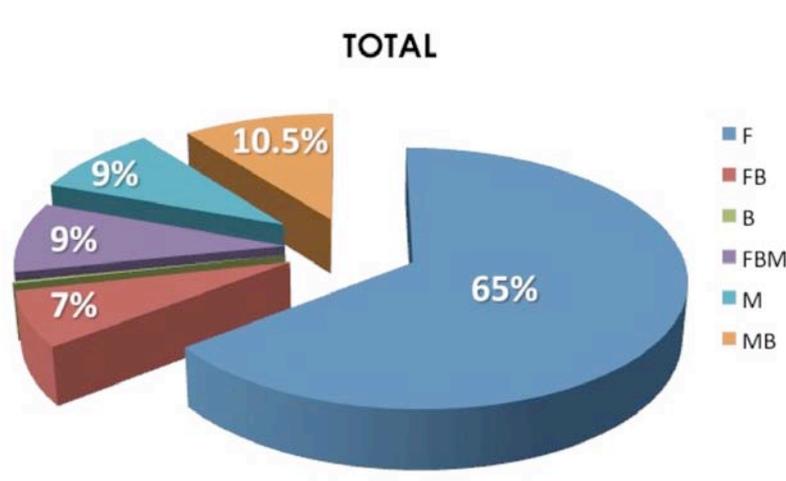
Gráfica 73 Importancia de las rutas de introducción para el conjunto de taxones de las especies acuáticas exóticas presentes en el golfo de México y el Atlántico Sur



Fuente: Fuller, 2005.

La mayoría de las especies introducidas en la región 11 provienen de ambientes dulceacuícolas; sin embargo, si se agrupan todas las especies de aguas salobres y de mar, estos ambientes también adquieren importancia (véase la gráfica 74).

Gráfica 74. Fuentes de todas las especies exóticas, por ambiente acuático



F = agua dulce, FB = agua dulce y agua salobre, B = agua salobre, FBM = agua dulce, salobre y de mar, M = agua de mar. MB = agua de mar y salobre.

Especies con calificación SIS crítica

Al aplicar el índice de calificación de invasividad de las especies (SIS, por sus siglas en inglés) a las especies exóticas invasoras presentes en la región, el valor máximo registrado por una especie fue de 83 (para el jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*) y el mínimo de 2 (para el molusco *Tridacna maxima*, del que se encontró muy poca información). En cuanto al método de calificación, 94 especies califican como de impacto crítico (50 especies de plantas, 23 de invertebrados, 15 de peces, dos de anfibios, una de reptiles, una de mamíferos, una de bacterias y una de virus). Asimismo, 28 de las "cien de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo", de acuerdo con la UICN, se encuentran en la región y la calificación SIS demostró que 21 de ellas caen en la categoría de especies "críticas" para la región y siete son "de alto impacto" (véase la gráfica 75).

En la Laguna Madre de Tamaulipas se encuentran 29 especies invasoras (cuatro compartidas con Veracruz), de las cuales diez están incluidas en la lista de las "cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la UICN. En la parte estadounidense hay 65 especies (ya sea sólo en Texas [46],

en Louisiana [47] o en ambos estados) que no se encuentran en México y 11 de ellas figuran en dicha lista.

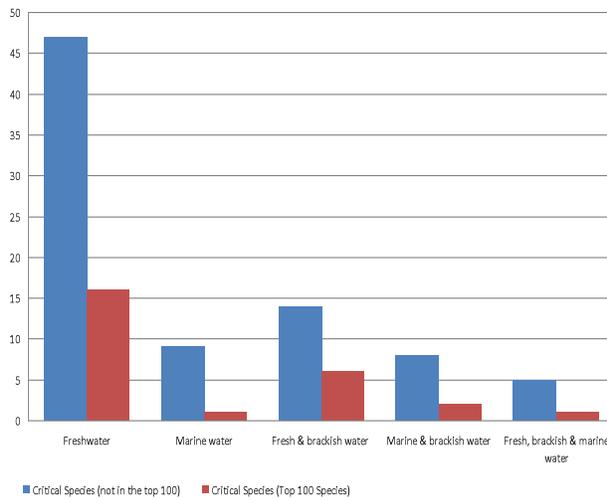
Gráfica 75. Clasificación de las especies con calificación SIS crítica

SPECIES	IMPACTS VALUE	DISTRIBUTION VALUE	STATUS VALUE	PATHWAYS VALUE	SPECIES INVASIVENESS SCORE	FAMILY	ORDER	CLASS	PHYLUM / DIVISION	Habitat	Louisiana	Texas	Tennessee	Venezuela
<i>Eichhornia crassipes</i>	50	20	10	3	83	Pontederiaceae	Liliales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Impatiens cylindrica</i>	50	20	10	2	82	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Salvinia trochiloides</i>	50	20	10	1	81	Anacardiaceae	Sapindales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	FB	0	1	0	0
<i>Hydrilla verticillata</i>	50	16	10	2	78	Varunidae	Decapoda	Malacostraca	Arthropoda	MB	1	0	1	0
<i>Tridax sebifera</i>	50	20	5	2	77	Euphorbiaceae	Euphorbiales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	0	0
<i>Pasteurella multocida</i>	50	20	5	1	76	Pasteurellaceae	Pasteurellales	Gammaproteobacteria	Proteobacteria	F (VARIOUS)	0	1	0	0
<i>Flavivirus West Nile virus</i>	50	20	5	1	76	Flaviviridae	NA	Virus: ssRNA viruses: s	NA	F (MOSQUITOS)	0	1	0	0
<i>Ipomoea aquatica</i>	50	20	5	1	76	Convolvulaceae	Solanales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	0	1	0	0
<i>Paspalum urvillei</i>	50	20	5	0	75	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Hydrilla verticillata</i>	50	18	5	2	75	Hydrocharitaceae	Hydrocharitales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	1	0
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	50	18	5	1	74	Amaranthaceae	Caryophyllales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Pteris volitans</i>	50	18	5	1	74	Scorpaeniidae	Scorpaeniformes	Actinopterygii	Chordata	M	1	0	0	0
<i>Myriophyllum spicatum</i>	50	16	5	2	73	Haloragaceae	Haloragales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	0	0
<i>Pistia stratiotes</i>	50	16	5	2	73	Araceae	Arales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	0	0
<i>Hydrilla verticillata</i>	50	14	8	0	72	Echinymidae	Rodentia	Mammalia	Chordata	FBM	1	1	1	0
<i>Dreissena polymorpha</i>	50	12	7	3	72	Dreissenidae	Veneroida	Bivalvia	Mollusca	FB	1	1	1	0
<i>Phragmites australis</i>	50	14	5	2	71	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	1	0
<i>Trapa natans</i>	50	14	5	1	70	Trapaeeae	Myrtales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	0	1	0	0
<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	50	18	0	1	69	Brassicaceae	Capriferales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Crassostrea gigas</i>	50	12	5	1	68	Ostreidae	Ostreoida	Bivalvia	Mollusca	MB	1	1	0	0
<i>Pteris milles</i>	50	16	0	1	67	Scorpaeniidae	Scorpaeniformes	Actinopterygii	Chordata	M	1	0	0	0
<i>Balanus improbus</i>	50	18	-3	2	67	Balanidae	Sessilia	Maxillopoda	Arthropoda	MB	0	1	1	1
<i>Mylopharyngodon piceus</i>	50	14	0	2	66	Cyprinidae	Cypriniformes	Actinopterygii	Chordata	F	1	0	1	0
<i>Aedes albopictus</i>	35	18	10	1	64	Culicidae	Diptera	Insecta	Arthropoda	F	1	1	1	1
<i>Bufo marinus</i>	35	20	8	1	64	Bufoiidae	Anura	Amphibia	Chordata	FB	1	0	1	0
<i>Metabellona squamigerina</i>	35	18	10	1	64	Myrtaceae	Myrtales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	FB	1	0	1	0
<i>Esoc luctus</i>	50	16	-5	1	62	Esocidae	Esociformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Pueraria montana var. lobata</i>	30	18	10	4	62	Fabaceae	Fabales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Koeleria gracilis</i>	30	20	10	1	61	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	1	0
<i>Utricularia</i>	30	18	10	3	61	Portulacidae	Decapoda	Malacostraca	Arthropoda	MB	1	0	0	0
<i>Centrocestus formosanus</i>	50	12	-3	1	60	Heterophyidae	Opisthorchiida	Trematoda	Platyhelminthes	F	0	1	0	0
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	35	18	5	2	60	Haloragaceae	Haloragales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Lythrum salicaria</i>	30	16	10	4	60	Lythraceae	Myrtales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	1	0
<i>Clarias batrachus</i>	30	18	10	1	59	Clariidae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	0	0	0
<i>Cylindropemopsis raciborskii</i>	50	8	0	1	59	Nostocaceae	Nostocales	Cyanophyceae	Cyanobacteria	F	1	0	0	0
<i>Salvinia molesta</i>	30	20	5	3	58	Salviniaceae	Hydrotrichales	Filicopsida	Pteridophyta	F	1	1	0	0
<i>Cherax quadricarinatus</i>	35	20	0	2	57	Parastacidae	Decapoda	Malacostraca	Arthropoda	F	0	0	1	0
<i>Hydrilla verticillata</i>	30	14	10	1	57	Caulerpaceae	Cyrtosiphales	Bryosiphonophyceae	Chlorophyta	M	1	1	0	0
<i>Carassius auratus</i>	30	20	5	1	56	Cyprinidae	Cypriniformes	Actinopterygii	Chordata	F	1	1	1	0
<i>Salvinia minima</i>	30	20	5	1	56	Salviniaceae	Hydrotrichales	Filicopsida	Pteridophyta	F	1	1	0	0
<i>Trachemys scripta elegans</i>	35	16	4	1	56	Emydidae	Testudines	Reptilia	Chordata	F	0	1	1	0
<i>Colocasia esculenta</i>	35	20	0	1	56	Araceae	Arales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Lates niloticus</i>	30	14	10	1	55	Centropomidae	Perciformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Iris pseudacorus</i>	35	14	5	1	55	Iridaceae	Liliales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	0	0
<i>Paederia foetida</i>	30	18	5	2	55	Rubiaceae	Rubiales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Egeria densa</i>	30	18	5	1	54	Hydrocharitaceae	Hydrocharitales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Hogonopus emarginatus</i>	30	18	5	1	54	Serpulidae	Canalipalpata	Polychaeta	Annelida	F	0	1	1	0
<i>Sorghum halepense</i>	30	18	5	1	54	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Hydrophilus polyperma</i>	30	18	5	1	54	Acanthaceae	Scrophulariales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	0	1	0	0
<i>Amelurus nebulosus</i>	30	20	2	3	54	Ictaluridae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	1	0	0	0
<i>Nymphaeoides peltata</i>	30	16	5	2	53	Menyanthaceae	Solanales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Dioscorea bulbifera</i>	30	16	5	1	53	Dioscoreaceae	Liliales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Phyllorhiza punctata</i>	30	16	5	1	52	Mastigiidae	Rhizostomaeae	Scyphozoa	Cnidaria	M	1	0	0	0
<i>Pueraria montana</i>	30	20	0	2	52	Fabaceae	Fabales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Pomacea canaliculata</i>	30	12	7	3	52	Amphipuriidae	Archaeamniolota	Gastropoda	Mollusca	F	1	1	0	0
<i>Limnophila sessiliflora</i>	30	16	5	1	52	Scrophulariaceae	Scrophulariales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	0	1	0	0
<i>Panicum repens</i>	30	16	5	1	52	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Rumex obtusifolius</i>	30	16	5	1	52	Polygonaceae	Polygonales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Calomba caroliniana</i>	30	16	2	4	52	Cambombaceae	Nymphaeales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Eleutherodactylus coqui</i>	30	12	8	1	51	Eleutherodactylidae	Anura	Amphibia	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Hyptisotomus plicostomus</i>	30	20	0	1	51	Loricoidae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	1	0
<i>Styela pinnata</i>	30	18	2	1	51	Styeliidae	Pleurogona	Ascidacea	Chordata	M	0	1	0	0
<i>Pennisetum purpureum</i>	30	20	0	1	51	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Procambarus clarkii</i>	30	18	2	1	51	Cambaridae	Decapoda	Malacostraca	Mollusca	F	0	0	1	0
<i>Channa micropetles</i>	35	14	0	1	50	Channidae	Perciformes	Actinopterygii	Chordata	F	1	0	0	0
<i>Piaractus brachipomus</i>	35	14	0	1	50	Characidae	Characiformes	Actinopterygii	Chordata	F	1	1	0	0
<i>Corbicula manilensis</i>	30	14	5	0	49	Corbiculidae	Veneroida	Bivalvia	Mollusca	F	0	0	1	0
<i>Balanus amphitrite</i>	30	18	0	1	49	Balanidae	Sessilia	Maxillopoda	Arthropoda	M	0	1	0	0
<i>Myosotis scorpioides</i>	30	18	0	1	49	Boraginaceae	Lamiales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Balanus reticulatus</i>	30	18	0	1	49	Balanidae	Sessilia	Maxillopoda	Arthropoda	M	0	0	1	1
<i>Crassostrea virginica</i>	35	16	-3	1	49	Ostreidae	Ostreoida	Bivalvia	Mollusca	MB	1	0	1	0
<i>Echinocloa crusgalli</i>	30	18	0	1	49	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	1	0
<i>Murdannia kotschyana</i>	30	18	0	1	49	Commelinaceae	Commelinales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Noturus girellus</i>	35	16	-3	1	49	Ictaluridae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Polygonum monspeliense</i>	30	18	0	1	49	Poaceae	Cyperales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	0	0	1	0
<i>Rotala indica</i>	30	18	0	1	49	Lythraceae	Myrtales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Potamogeton crispus</i>	30	12	5	1	48	Potamogetonaceae	Najadales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	1	1	0	0
<i>Limnithana humilis</i>	15	20	10	3	48	Formicidae	Hymenoptera	Insecta	Arthropoda	F	1	1	0	0
<i>Conium maculatum</i>	35	12	0	1	48	Apiaceae	Apiales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Gymnodinium</i> sp.	30	20	0	1	48	Gymnodiniaceae	Gymnodiniales	Dinophyceae	Phytophycophyta	F	0	1	0	0
<i>Ludwigia peploides</i>	30	20	-3	1	48	Onagraceae	Myrtales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	0	1	1	0
<i>Najas marina</i>	30	20	-3	1	48	Najadales	Najadales	Lillopsida	Magnoliophyta	FB	0	1	0	0
<i>Ottelia alismoides</i>	30	16	0	2	48	Hydrocharitaceae	Hydrocharitales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	1	0	0
<i>Bikihoploporus harbali</i>	30	14	2	2	48	Panicaceae	Decapoda	Malacostraca	Mollusca	F	0	1	1	0
<i>Megalobolus cocoyensis</i>	30	16	0	1	47	Balanidae	Sessilia	Maxillopoda	Arthropoda	MB	1	0	0	0
<i>Najas minor</i>	30	16	0	1	47	Najadales	Najadales	Lillopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Rapana venosa</i>	30	10	5	2	47	Muricidae	Hyssogastropoda	Gastropoda	Mollusca	MB	0	0	0	0
<i>Penaeus monodon</i>	30	16	0	1	47	Penaeidae	Decapoda	Malacostraca	Arthropoda	MB	1	1	0	0
<i>Pterygoplichthys anisitsi</i>	30	16	0	1	47	Loricariidae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Pterygoplichthys</i> sp.	30	16	0	1	47	Loricariidae	Siluriformes	Actinopterygii	Chordata	F	0	1	0	0
<i>Rorippa sylvestris</i>	30	16	0	1	47	Brassicaceae	Caprales	Magnoliopsida	Magnoliophyta	F	1	0	0	0
<i>Balanus eburneus</i>	30	18	-3	2	47	Balanidae	Sessilia	Maxillopoda	Arthropoda	M	0	1	1	1
<i>Omphocarpum monacanthus</i>	15	20	10	2	47	Cekhidae	Perciformes	Actinopterygii	Chordata	FB	0	1	1	0
<i>Uva fasciata</i>	30	18	-3	1	46	Ulvaeeae	Ulotrichales	Chlorophyceae	Chlorophyta	M	0	0	1	0

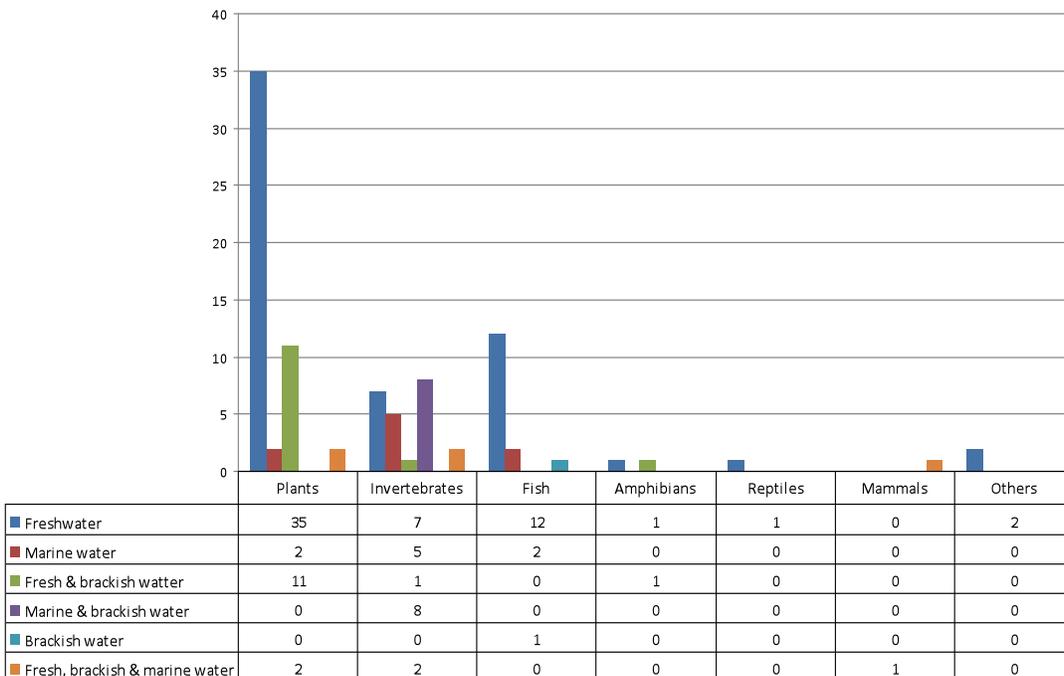
Las especies cuyos nombres están escritos en rojo son las que están incluidas en la lista de las "cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la UICN.

Los resultados muestran que 58 de las especies de impacto crítico son de origen dulceacuícola (11 de las cuales figuran en la multicitada lista de las "cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo" de la UICN), nueve son especies marinas, 14 se encuentran en aguas tanto dulces como salobres, ocho habitan en ambientes marinos y salobres y cinco pueden sobrevivir en los tres entornos. Hay 15 especies de peces listadas como críticas para la región: dos marinas, una de aguas salobres y las 12 restantes de agua dulce (véanse las gráficas 76 y 77).

Gráfica 76. Especies con calificación SIS "crítica", por hábitat



Gráfica 77. Especies con calificación SIS "crítica", por grupo y por hábitat

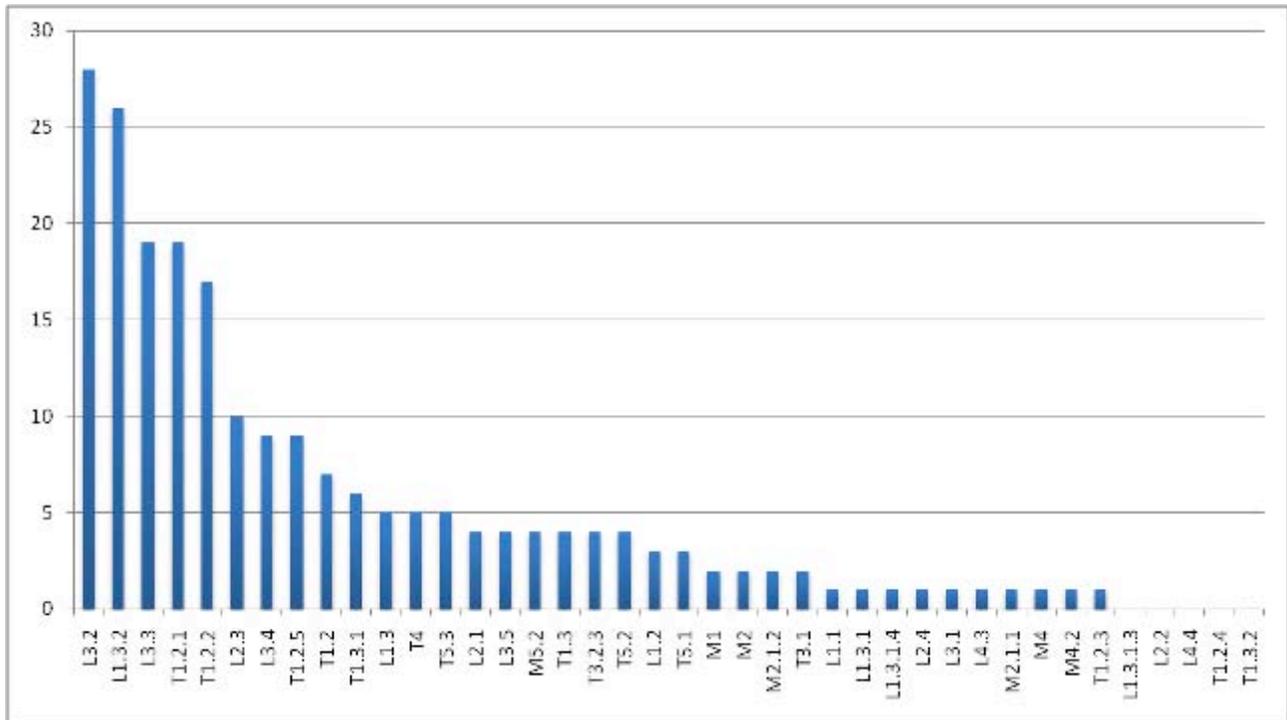


En la región Río Bravo-Laguna Madre, 20 especies de plantas, ocho de invertebrados, siete de peces, un anfibio, un reptil, un mamífero y dos microorganismos representan una amenaza para la salud humana.

Existe una estrecha coincidencia entre el número total de especies que ingresan a través de cada ruta y las especies críticas. De las 94 especies con más alto impacto en la región, la ruta más importante es el transporte acuático —agua de lastre y encrustamiento de cascos (36 especies)— (véase la gráfica 78). Otras 28 especies se importan mediante el comercio para acuarios, 26 por medio del comercio de plantas y 19 por medio de la acuicultura. El comercio de plantas completas es la ruta principal de introducción vegetal en la región Río Bravo-Laguna Madre (ocho especies), seguida del comercio de especies para acuarios domésticos (cuatro especies). Los invertebrados se importan principalmente a través de la piscicultura, el comercio para acuarios y el incrustamiento en la superficie de los cascos.

El comercio para acuarios, el repoblamiento intencional de peces y la acuicultura son las principales rutas de introducción de las especies de peces. Reptiles y anfibios llegan a través del comercio de mascotas o para acuarios, en tanto que los virus ingresan mediante la acuicultura, vía el agua de lastre o bien portados por animales que no son domésticos.

Gráfica 78. Importancia de las rutas, por grupo de especies con SIS crítica



Pathways list:

(T) Transportation

- T1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
- T1.2.1 Ship Ballast Water
- T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
- T1.2.3 Stowaways in Holds
- T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
- T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
- T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs, Trailers for recreational boats
- T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
- T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
- T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
- T2.1 Baggage/Gear
- T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
- T3.1 Containers
- T3.2 Packing Materials
- T3.2.1 Wood Packing Materials
- T3.2.2 Seaweed
- T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
- T5.1 Travelers Themselves
- T5.2 Baggage/Gear
- T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
- T5.4 Travel Consumables
- T5.5 Service Industries

(L) Living Industry

- L1 Plant Pathways
- L1.1 Importation of Plants for Research
- L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sodds and Other Materials
- L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
- L1.3.1 Plant Parts
- L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
- L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
- L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
- L1.3.1.4 Aquatic Propagules
- L1.3.2 Whole Plants
- L2 Food Pathways
- L2.1 Live Seafood
- L2.2 Other Live Food Animals
- L2.3 Plants and Plant Parts as Food
- L3 Non-Food Animal Pathways
- L3.1 Bait

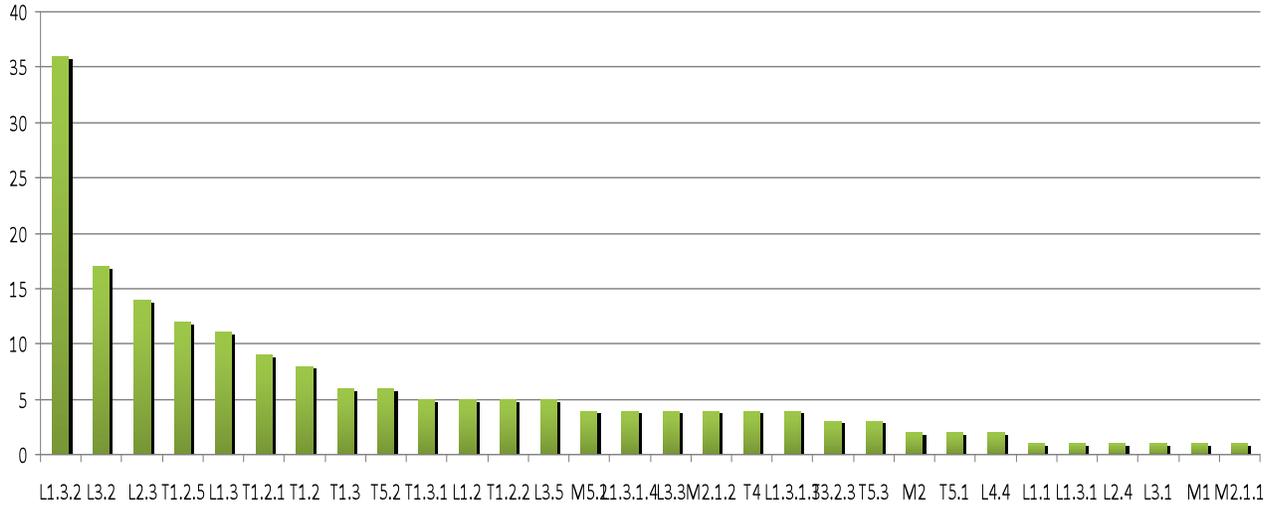
- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
- L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
- L4.2 Frozen Seafood
- L4.3 Minimally Processed Animal Products
- L4.4 Minimally Processed Plant Products

(M) Miscellaneous

- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
- M2.1 Interconnected Waterways
- M2.1.1 Freshwater Canals
- M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
- M2.1.3 Domestic Waste Streams
- M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
- M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
- M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
- M5.1 Garbage Transport
- M5.2 Garbage Landfill

Gráfica 78. Importancia de las rutas por grupo de especies con SIS crítica (cont.)

PLANTS



Pathways list:

(T) Transportation

- T 1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
- T1.2.1 Ship Ballast Water
- T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
- T1.2.3 Stowaways in Holds
- T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
- T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
- T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs, Trailers for recreational boats
- T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
- T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
- T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
- T2.1 Baggage/Gear
- T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
- T3.1 Containers
- T3.2 Packing Materials
- T3.2.1 Wood Packing Materials
- T3.2.2 Seaweed
- T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
- T5.1 Travelers Themselves
- T5.2 Baggage/Gear
- T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
- T5.4 Travel Consumables
- T5.5 Service Industries

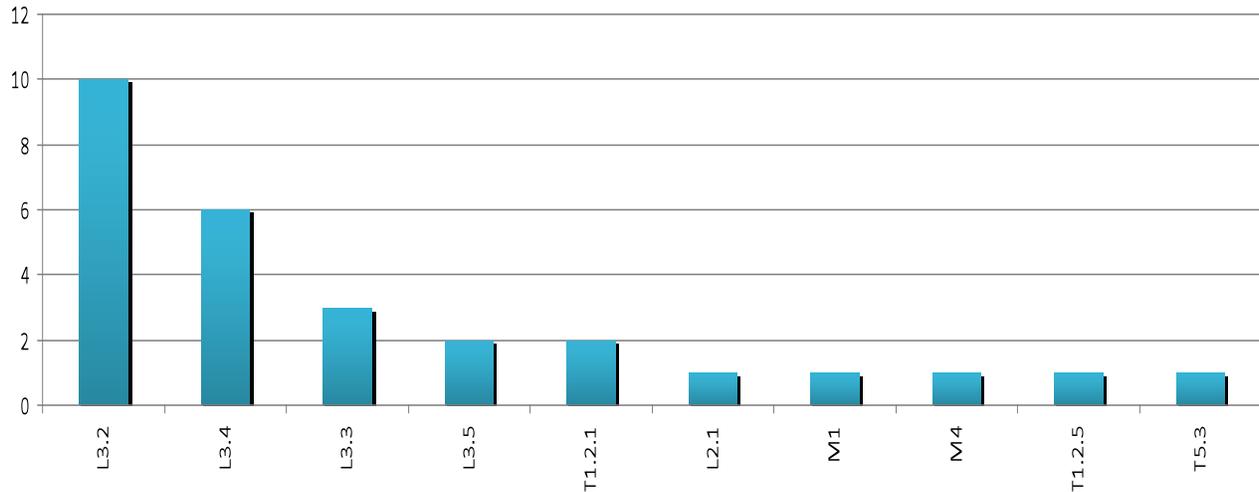
(L) Living Industry

- L1 Plant Pathways
- L1.1 Importation of Plants for Research
- L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sods and Other Materials
- L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
- L1.3.1 Plant Parts
- L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
- L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
- L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
- L1.3.1.4 Aquatic Propagules
- L1.3.2 Whole Plants
- L2 Food Pathways
- L2.1 Live Seafood
- L2.2 Other Live Food Animals
- L2.3 Plants and Plant Parts as Food
- L3 Non-Food Animal Pathways
- L3.1 Bait

- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
- L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
- L4.2 Frozen Seafood
- L4.3 Minimally Processed Animal Products
- L4.4 Minimally Processed Plant Products
- (M) Miscellaneous**
- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
- M2.1 Interconnected Waterways
- M2.1.1 Freshwater Canals
- M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
- M2.1.3 Domestic Waste Streams
- M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
- M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
- M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
- M5.1 Garbage Transport
- M5.2 Garbage Landfill

Gráfica 78. Importancia de las rutas por grupo de especies con SIS crítica (cont.)

FISHES



Pathways list:

(T) Transportation

- T 1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
- T1.2.1 Ship Ballast Water
- T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
- T1.2.3 Stowaways in Holds
- T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
- T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
- T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs. Trailers for recreational boats
- T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
- T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
- T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
- T2.1 Baggage/Gear
- T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
- T3.1 Containers
- T3.2 Packing Materials
- T3.2.1 Wood Packing Materials
- T3.2.2 Seaweed
- T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
- T5.1 Travelers Themselves
- T5.2 Baggage/Gear
- T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
- T5.4 Travel Consumables
- T5.5 Service Industries

(L) Living Industry

- L1 Plant Pathways
- L1.1 Importation of Plants for Research
- L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sods and Other Materials
- L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
- L1.3.1 Plant Parts
- L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
- L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
- L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
- L1.3.1.4 Aquatic Propagules
- L1.3.2 Whole Plants
- L2 Food Pathways
- L2.1 Live Seafood
- L2.2 Other Live Food Animals
- L2.3 Plants and Plant Parts as Food
- L3 Non-Food Animal Pathways
- L3.1 Bait

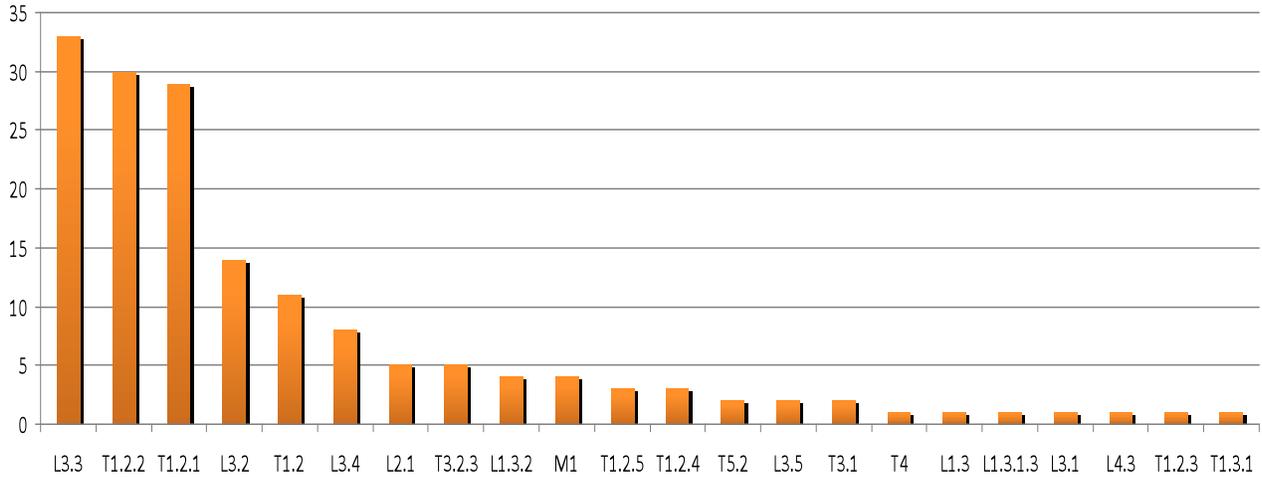
- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
- L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
- L4.2 Frozen Seafood
- L4.3 Minimally Processed Animal Products
- L4.4 Minimally Processed Plant Products

(M) Miscellaneous

- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
- M2.1 Interconnected Waterways
- M2.1.1 Freshwater Canals
- M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
- M2.1.3 Domestic Waste Streams
- M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
- M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
- M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
- M5.1 Garbage Transport
- M5.2 Garbage Landfill

Gráfica 78. Importancia de las rutas por grupo de especies con SIS crítica (cont.)

INVERTEBRATES



Pathways list:

(T) Transportation

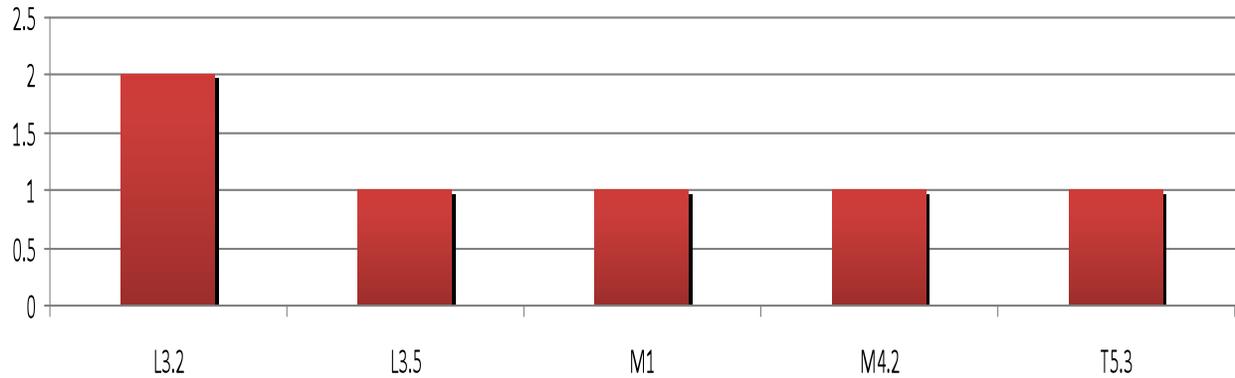
- T 1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
- T1.2.1 Ship Ballast Water
- T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
- T1.2.3 Stowaways in Holds
- T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
- T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
- T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs. Trailers for recreational boats
- T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
- T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
- T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
- T2.1 Baggage/Gear
- T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
- T3.1 Containers
- T3.2 Packing Materials
- T3.2.1 Wood Packing Materials
- T3.2.2 Seaweed
- T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
- T5.1 Travelers Themselves
- T5.2 Baggage/Gear
- T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
- T5.4 Travel Consumables
- T5.5 Service Industries
- (L) Living Industry**
- L1 Plant Pathways
- L1.1 Importation of Plants for Research
- L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sods and Other Materials
- L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
- L1.3.1 Plant Parts
- L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
- L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
- L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
- L1.3.1.4 Aquatic Propagules
- L1.3.2 Whole Plants
- L2 Food Pathways
- L2.1 Live Seafood
- L2.2 Other Live Food Animals
- L2.3 Plants and Plant Parts as Food
- L3 Non-Food Animal Pathways
- L3.1 Bait

- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
- L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
- L4.2 Frozen Seafood
- L4.3 Minimally Processed Animal Products
- L4.4 Minimally Processed Plant Products
- (M) Miscellaneous**
- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
- M2.1 Interconnected Waterways
- M2.1.1 Freshwater Canals
- M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
- M2.1.3 Domestic Waste Streams
- M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
- M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
- M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
- M5.1 Garbage Transport
- M5.2 Garbage Landfill

Gráfica 78. Importancia de las rutas por grupo de especies con SIS crítica (cont.)

AMPHIBIANS AND REPTILES



Pathways list:

(T) Transportation

- T 1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
- T1.2.1 Ship Ballast Water
- T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
- T1.2.3 Stowaways in Holds
- T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
- T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
- T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs. Trailers for recreational boats
- T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
- T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
- T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
- T2.1 Baggage/Gear
- T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
- T3.1 Containers
- T3.2 Packing Materials
- T3.2.1 Wood Packing Materials
- T3.2.2 Seaweed
- T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
- T5.1 Travelers Themselves
- T5.2 Baggage/Gear
- T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
- T5.4 Travel Consumables
- T5.5 Service Industries

(L) Living Industry

- L1 Plant Pathways
- L1.1 Importation of Plants for Research
- L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sods and Other Materials
- L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
- L1.3.1 Plant Parts
- L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
- L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
- L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
- L1.3.1.4 Aquatic Propagules
- L1.3.2 Whole Plants
- L2 Food Pathways
- L2.1 Live Seafood
- L2.2 Other Live Food Animals
- L2.3 Plants and Plant Parts as Food
- L3 Non-Food Animal Pathways
- L3.1 Bait

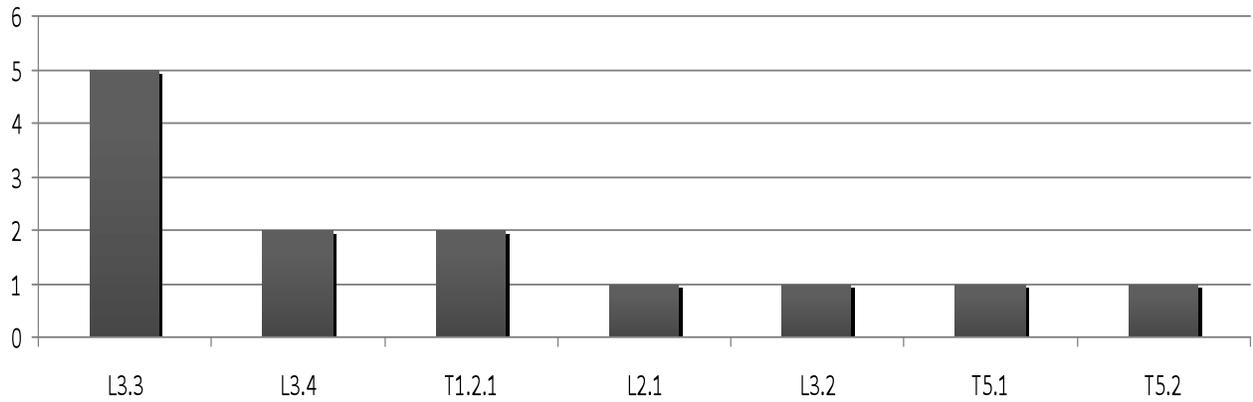
- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
- L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
- L4.2 Frozen Seafood
- L4.3 Minimally Processed Animal Products
- L4.4 Minimally Processed Plant Products

(M) Miscellaneous

- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
- M2.1 Interconnected Waterways
- M2.1.1 Freshwater Canals
- M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
- M2.1.3 Domestic Waste Streams
- M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
- M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
- M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
- M5.1 Garbage Transport
- M5.2 Garbage Landfill

Gráfica 78. Importancia de las rutas por grupo de especies con SIS crítica (cont.)

OTHERS



Pathways list:

(T) Transportation

- T 1 Modes of Transportation
- T1.1 Air
- T1.2 Water/Aquatic
 - T1.2.1 Ship Ballast Water
 - T1.2.2 Hull/Surface Fouling (i.e., Recreational Boats and Vessels)
 - T1.2.3 Stowaways in Holds
 - T1.2.4 Superstructures/Structures Above Water Line
 - T1.2.5 Transportation/Relocation of Dredge Spoil Material
- T1.3 Land Terrestrial
 - T1.3.1 Cars, Buses, Trucks, ATVs. Trailers for recreational boats
 - T1.3.2 Trains, Subways, Metros, Monorails
 - T1.3.3 Construction/Firefighting Vehicles
 - T1.3.4 Hikers, Horses Pets
- T2 Military Travel and Transportation of Military Vehicles
 - T2.1 Baggage/Gear
 - T2.2 Equipment
- T3 Items used in the Shipping Process
 - T3.1 Containers
 - T3.2 Packing Materials
 - T3.2.1 Wood Packing Materials
 - T3.2.2 Seaweed
 - T3.2.3 Other Plant Materials

- T3.2.4 Sand/Earth
- T4 Mail/Internet Overnight shipping
- T5 Travel Tourism/Relocation
 - T5.1 Travelers Themselves
 - T5.2 Baggage/Gear
 - T5.3 Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment
 - T5.4 Travel Consumables
 - T5.5 Service Industries

(L) Living Industry

- L1 Plant Pathways
 - L1.1 Importation of Plants for Research
 - L1.2 Potting Soils, Growing Mediums, Sods and Other Materials
 - L1.3 Plant Trade (agricultural nursery, landscape, floral, raw logs)
 - L1.3.1 Plant Parts
 - L1.3.1.1 Above-Ground Plant Parts
 - L1.3.1.2 Below Ground Plant Parts
 - L1.3.1.3 Seeds and the Seed Trade
 - L1.3.1.4 Aquatic Propagules
 - L1.3.2 Whole Plants
 - L2 Food Pathways
 - L2.1 Live Seafood
 - L2.2 Other Live Food Animals
 - L2.3 Plants and Plant Parts as Food
 - L3 Non-Food Animal Pathways
 - L3.1 Bait

- L3.2 Pet/Aquarium Trade
- L3.3 Aquaculture
- L3.4 Non-Pet Animals
- L3.5 Release of Organisms for Religious, Cultural or Other Reasons
- L4 Nonliving Animal and Plant Related Pathways
 - L4.1 Processed and Partially Processed Meat and Meat Processing Waste
 - L4.2 Frozen Seafood
 - L4.3 Minimally Processed Animal Products
 - L4.4 Minimally Processed Plant Products

(M) Miscellaneous

- M1 Biocontrol
- M2 Other Aquatic Pathways
 - M2.1 Interconnected Waterways
 - M2.1.1 Freshwater Canals
 - M2.1.2 Marine/Estuarine Canals
 - M2.1.3 Domestic Waste Streams
 - M2.2 Interbasin Transfers
- M3 Natural Spread of Established Populations
- M4 Ecosystem Disturbance
 - M4.1 Long-Term (highway and utility rights-of-way, clearing, logging)
 - M4.2 Short Term (habitat restoration, enhancement, prescribed burning)
- M5 Garbage
 - M5.1 Garbage Transport
 - M5.2 Garbage Landfill

Análisis

La fuente más importante de introducción de plantas exóticas en la región 11 es Asia, seguida del continente americano en su conjunto, lo que concuerda con los resultados publicados por Benson et al. (2001) para el sureste de Estados Unidos. En el caso de las plantas invasoras, los trasplantes nativos no son una fuente tan importante como ocurre con otros grupos. De este estudio se concluye que el comercio de plantas, en particular de las provenientes de Asia, debe vigilarse y normarse con mucho cuidado.

Por lo que respecta al transporte acuático, un gran número de plantas llegaron asociadas con lastre seco, probablemente en forma de semillas, y encrustamiento en los cascos. El transporte en agua dulce (pescadores o botes para actividades recreativas) es fuente de introducción de plantas en el ambiente acuático. El problema es más pronunciado en Estados Unidos, ya que la navegación recreativa está más difundida en ese país.

Como grupo, los peces constituyen las especies exóticas más numerosas en la región 11 (más de 40 por ciento de todos los taxones). La mayoría es nativa del continente americano y un gran número es trasplante nativo de la vertiente del Atlántico. La ruta principal de introducción es el repoblamiento intencional de cuerpos de agua para la pesca deportiva y las rutas asociadas a esta actividad (peces empleados como carnada y acuicultura). Otros autores (Brock *et al.*, 1991) han aludido a la importancia de esta ruta, ya que muchas especies peligrosas (como la perca del Nilo, *Lates niloticus*) se han introducido por actividades ligadas a la acuicultura. La ruta es tan popular que se han producido y sembrado varios tipos de peces deportivos híbridos en cuerpos de agua dulce (por ejemplo, lobina estriada, lobina blanca, lucio común, cruces entre tilapia azul y tilapia del Nilo, Mozambique y Zanzíbar) (Cox, 2004).

El comercio para acuarios también sobresale como ruta de introducción de peces exóticos. Sin duda, ésta es una industria de la “moda” que depende de la variedad, lo que implica la introducción de varias especies cada día. En la esfera internacional, este tipo de comercio es reconocido como ruta de introducción importante de especies acuáticas invasoras a nuevos ambientes (Taylor *et al.*, 1984; Welcomme, 1992). En particular, las granjas de peces de ornato para comercio de acuarios constituyen una de las

principales rutas de introducción de especies exóticas en el entorno natural, incluidos peces híbridos como cíclido convicto (*Amatitlania nigrofasciata*) con mojarra boca de fuego (*Thorichthys meeki*), mojarra terror verde (*Aequidens rivulatus*) con mojarra azul (*A. pulcher*), molli (*Poecilia sphenops*) con gupi (*P. reticulata*), etcétera (Cox, 2004). Ello es resultado, en parte, del elevado número de especies y variedades de peces en constante cambio que se producen y a la cercanía a cuerpos naturales de agua dulce (Copp *et al.*, 2005). La mayoría de las especies proviene de ambientes dulceacuícolas y Texas es el estado con la mayor presencia de especies exóticas (Fuller *et al.*, 1999).

El grupo de anfibios y reptiles está representado por pocas especies, todas nativas del continente americano y en su mayor parte de América del Norte, principalmente de la vertiente del Atlántico. Esto es comprensible, dada la rica biodiversidad en anfibios y reptiles de la región. El comercio de mascotas es la ruta más importante y demuestra que las tiendas de animales de compañía deben ser objeto de cuidadosas inspecciones. El comercio de plantas también es una importante ruta para este grupo, debido quizá a la asociación natural entre anfibios y reptiles y plantas (fuente de alimentación, refugio, hábitat, etcétera).

La gran mayoría de las especies de anfibios y reptiles proviene de ambientes de agua dulce y se distribuye de manera uniforme en toda la región 11.

También el continente americano es la principal región fuente de introducción de especies exóticas de invertebrados a la región 11. Este grupo difiere de los demás en que es el único en el que las especies de origen marino y salobre son más importantes que las de origen dulceacuícola. El transporte acuático (agua de lastre e incrustamiento de los cascos) es la ruta más importante y ha permitido la introducción de especies de todos los continentes; por tanto, deben aplicarse medidas preventivas y de control a todas las embarcaciones internacionales que arriben a la región 11. La acuicultura y el comercio para acuarios también son rutas importantes a raíz de introducciones por contaminación (acuicultura) o intencionales (comercio para acuarios). En el caso de la acuicultura se deben aplicar los métodos del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (*Hazard Analysis and Critical Control Point*, HACCP) para evitar la introducción no intencional de especies invasoras (Pitman 2003), mientras que para el comercio de especies para acuarios, el análisis de riesgos para especies invasoras debe ser obligatorio (Mendoza *et al.*, 2009).

La contaminación biológica de especies de acuicultura comercial es también la ruta principal de introducción de bacterias y virus, en particular

provenientes de países asiáticos. En este caso, además de los métodos del HACCP, debe practicarse también una inspección sanitaria a fondo siguiendo las normas internacionales (como las de la Organización Mundial de Sanidad Animal, OIE).

De las seis especies de mamíferos invasores de agua dulce registradas como presentes en Estados Unidos (*Castor canadensis*, *Hydrochaeris hydrochaeris*, *Myocastor coypus*, *Ondatra zibethicus*, *Otaria flavescens*, *Zalophus californicus*) se determinó que sólo una, la nutria (*M. coypus*), es con mucho la especie más establecida e invasora de la región 11 (NAS, 2010). Es probable que las pérdidas económicas generadas por su impacto en la infraestructura y los cultivos agrícolas (caña de azúcar y arroz, principalmente) excedan un millón de dólares al año. La nutria fue traída a Estados Unidos por empresarios que pensaron que su piel tendría gran demanda; sin embargo, esta demanda nunca se materializó y los posibles criadores liberaron a la nutria en el campo. Una vez ahí, sus elevadísimos índices de reproducción le permitieron infestar con el tiempo las marismas marinas del sur en los estados de Louisiana y Texas, consumiendo gran parte de la vegetación existente y ocasionando grandes daños. Posteriormente, la nutria se trasladó tierra adentro para alimentarse de los campos de caña de azúcar y arroz de los dos estados (Trade Environment Database, 2010).

Conclusión

En general, 94 de las 373 especies invasoras de la región se consideran de preocupación crítica. A pesar de que no constituyen mayoría, su número sigue siendo significativo. Si bien gran parte de las especies exóticas son trasplantes nativos de la vertiente del Atlántico y su introducción se debe a la pesca deportiva, la acuicultura, el comercio para acuarios, el uso como carnada y el transporte acuático, la mayoría de las especies críticas provienen de otros continentes. Su distribución en América del Norte tampoco es uniforme. De las 94, actualmente seis se encuentran sólo en México, 65 sólo en Estados Unidos y sólo dos son posibles especies invasoras registradas en estados vecinos a la región. Por tanto, la amenaza actual para la Laguna Madre proviene del mayor número de especies invasoras ya establecidas en la región del lado de Estados Unidos o presentes en las inmediaciones.

Algunas rutas de introducción, como el repoblamiento de peces, la liberación de carnada y las relativas a la navegación (por ejemplo, peces que se cultivan para almacenarlos luego en cuerpos de agua dulce fuera de su región nativa y utilizarlos en la pesca deportiva; peces a los que se alimenta con peces de carnada de otras regiones, o la pesca que requiere embarcaciones que son introducidas en cuerpos de agua diferentes y que posiblemente estén contaminadas por organismos que viajan como polizones). Por último, el transporte acuático y el comercio para acuarios son rutas significativas para plantas, peces e invertebrados.

Con el fin de proteger el ecosistema nativo de la región 11 será necesario aplicar medidas no sólo preventivas, como el HACCP y el análisis de riesgo, sino también bilaterales coordinadas de control y erradicación de las especies que en el presente estudio se determinan como críticas.

Referencias bibliográficas

Allen, J., "Showdown in the Rio Grande", NASA Earth Observatory, 2002, <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RioGrande/printall.php>>.

Anderson, R. P. y E. Martínez Meyer, "Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador", *Biological Conservation*, núm. 116, 2004, pp. 167-179.

ANSTF-NISC, "Training and Implementation Guide for Pathway Definition, Risk Analysis and Risk Prioritization", elaborado por el Aquatic Nuisance Species Task Force (ANSTF) y el National Invasive Species Council (NISC) Prevention Committee a través del Pathways Work Team, 2007.

Arriaga, L., V. Castellanos, E. Moreno y J. Alarcón, "Potential Ecological Distribution of Alien Invasive Species and Risk Assessment: a Case Study of Buffel Grass in Arid Regions of Mexico", *Conservation Biology*, 18(6), 2004, pp. 1504-1514.

Arriaga Cabrera, L. *et al.*, "Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad", en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*, Conabio, México, 2009, pp. 433-457.

Arriaga Cabrera, L., V. Aguilar Sierra, J. Alcocer Durán, R. Jiménez Rosemberg, E. Muñoz López y E. Vazques Domínguez (coords.), "Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1:4,000,000)", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), México, 1998.

Baillie, J. E. M., C. Hilton Taylor y S. N. Stuart (comps.), "2004 IUCN Red list of Threatened Species. A Global Assessment", UICN, Gland, Suiza, y Cambridge, Reino Unido, 2004.

Bailey, R. G., *Descriptions of the ecoregions of the United States*, 2a. ed., Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de EU, Miscellaneous Publication [publicaciones varias] núm. 1391, 1995.

- Baldwin, S., "The Rio Grande river", 2002,
<http://www.essortment.com/all/riogrande/river_rngi.htm>.
- Barraza, E., y T. Calnan, "Coastal Management and the Lower Laguna Madre", *Conserveonline*, 2006,
<http://conserveonline.org/library/CZM_LLM.pdf/view.html>.
- Barrett O'Leary, M., H. Folmar, P. Fuller, B. Holland, H. Kumpf, R. Lukens y D. Roberts, "An initial survey of aquatic invasive species issues in the Gulf of Mexico region", Battelle Coastal Resources and Ecosystems Management, EPA-OCPCD Contract No. 68-C-00-121 Work Assignment 1-07, 2001.
- Beck, M. W., M. Odaya, J. J. Bachant, J. Bergan, B. Keller, R. Martin, R. Mathews, C. Porter y G. Ramseur, *Identification of Priority Sites for Conservation in the Northern Gulf of Mexico: An Ecoregional Plan*, The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, 2000.
- Benke, A. y C. Cushing (comps.), "Rio Grande", en *Rivers of North America*, Elsevier, Ámsterdam, 2005, pp 186-192.
- Benson, A. J., "Documenting Over a Century of Aquatic Introductions in the United States", en R. Claudi y J. H. Leach (comps.), *Non-indigenous Freshwater Organisms: Vectors, Biology, and Impacts*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2000, pp. 1-31.
- Benson, A. J., C. C. Jacono, P. L. Fuller, E. R. McKercher y M. M. Richerson, *Summary Report of Non-indigenous Aquatic Species in U.S. Fish and Wildlife Service Region 5*, U.S. Geological Survey y Johnson Controls World Services, Inc., Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EU, Arlington, Virginia, 2004.
- Berger, D., "Precious Resource: Water Issues in the Lower Rio Grande Basin", Population-environment Report of the Lower Rio Grande Basin, National Audubon Society, 1995.
- Bezaury Creel, J. E., R. Waller, L. Sotomayor, X. Li, S. Anderson, R. Sayre y B. Houseal, "Conservation of biodiversity in Mexico: Ecoregions, sites and conservation targets", *Synthesis of identification and priority setting exercises*, The Nature Conservancy, Conservation Science and Stewardship, 2000.
- Bestgen, K. R. y S. P. Platania, "Extirpation of *Notropis simus simus* Cope and *Notropis orca* Woolman (Pisces: Cyprinidae) from the Rio Grande in New Mexico: with notes on their life history", *Occ. Pap. Univ. New Mex., Mus. Southwest. Biol.*, 6, 1990, pp. 1-8.

Bestgen, K. R. y S. P. Platania, "Status and conservation of the Rio Grande silvery minnow, *Hybognathus amarus*", *The Southwestern Naturalist*, 36(2), 1991, pp. 225-232.

Bilbe, L., *Anthropogenic Effects on the Rio Grande: A Biogeographic Assessment, Draft Executive Summary*, River Systems Institute, Texas State University, 2006.

BirdLife International, "BirdLife's online World Bird Database: The Site for Bird Conservation", versión 2.0, Cambridge, Reino Unido, BirdLife International, 2003, en <<http://www.birdlife.org>> (consulta realizada el 21 de septiembre de 2009).

BirdNature, 2009, <<http://www.birdnature.com/flyways.html>>.

Buck, E., "Ballast Water Management to Combat Invasive Species", CRS Report for Congress [informe del CRS al Congreso], Order Code RL32344, Congressional Research Service, 2007.

Buckler, D. y E. Strom, "Science Data in Support of Environmental Health: Studies in the U.S.-Mexico Border Region", hoja de datos del Servicio Geológico de EU (*US Geological Survey*), 2004, pp. 2004-3013.

Burgiel, S. e I. March, *Phase 1: Invasive Species Assessment of the CEC's Priority Conservation Regions* [Fase 1: evaluación sobre especies invasoras en regiones de conservación prioritaria de la CCA], informe presentado a la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008.

Brock, R. J., T. L. Crisman, W. R. Courtenay y V. Nilakantan, "The ecological effects of exotic species in North American lakes. Hydrology of Natural and Manmade Lakes", Actas del Simposio de Viena, *IAHS Publ.*, núm. 206, agosto de 1991.

CCA, *Regiones ecológicas de América del Norte: Hacia una perspectiva común*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 1997.

CCA, "Prevención de la introducción y propagación de especies acuáticas invasoras en América del Norte", acta del taller, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 28-30 de marzo de 2001.

CCA, *Plan estratégico de cooperación para la conservación de la biodiversidad de América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2003.

CCA, "Cierre de las rutas a las especies acuáticas invasoras en América del Norte: Panorama y guía de recursos", Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2003.

Campbell, S., "A Global Perspective on Forest Invasive Species: The Problem, Causes, and Consequences", FAO-RAP Publication 2005/18, The Unwelcome Guests, Proceedings of the Asia-Pacific Forest Invasive Species Conference, 17-23 de agosto de 2003, Kunming, provincia de Yunnan, China, editado por Philip McKenzie, Chris Brown, Sun Jianghua y Wu Jian, 2005.

Canonico, G., A. Arthington, J. K. McCrary y M. L. Thieme, "The effects of introduced tilapias on native biodiversity", *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*, 15, 2005, pp. 463-483.

Cantú, C., S. Casas, J. García, A. Moreno, J. M. Scott, G. Requena, A. Moreno y M. González, *National Gap Analysis Conference and Interagency Symposium*, Reno, Nevada, 5-8 de diciembre de 2005.

Carrera, E., *Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR)*, 2004.

Castelberry, D. T. y J. J. Chech Jr., "Physiological responses of a native and introduced desert fish to environmental stressors", *Ecology*, 67(4), 1986, pp. 912-918.

CILA, *Binational Study Regarding the Presence of Toxic Substances in the Rio Grande/Rio Bravo and its Tributaries Along the Boundary Portion Between the United States and Mexico*, Comisión Internacional de Límites y Aguas (International Boundary and Water Commission, IBWC), 1994.

CILA, *Informe anual 2006*, Comisión Internacional de Límites y Aguas (International Boundary and Water Commission, IBWC), 2006.

Ciruna, K. A., L. A. Meyerson y A. Gutiérrez, *The Ecological and Socio-Economic Impacts of Alien Invasive Species in Inland Water Ecosystems*, informe del Programa Mundial sobre Especies Invasoras presentado al Convenio sobre la Diversidad Biológica, Washington D.C., 2004.

Conabio, *Regiones Terrestres Prioritarias de México*, coord. por L. Arriaga, J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez y L. Gómez, RTP-83, Laguna Madre, 2000, pp. 352-354.

Conabio, "Estrategia nacional para prevenir, controlar y erradicar a las especies invasoras de México", versión 15 de julio de 2009, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 2009.

Conabio, "Río Bravo Internacional",
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_042.html>.

Conabio-Conanp-TNC-Pronatura, "Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C., México, D.F., 2007.

Conagua, "Informe Hidrométrico del 10 de enero de 2011. Puntos de control en la cuenca del río Bravo", Comisión Nacional del Agua, México, 2011.

Conanp, *Los humedales prioritarios de México*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 2006.

Conner, W. H., J. W. Day Jr., R. H. Baumann y J. M. Randall, "Influence of hurricanes on coastal ecosystems along the northern Gulf of Mexico", *Wetlands Ecology and Management*, 1(1), 1989, pp. 45-56.

Contreras Balderas, S., "Cambios de composición de especies en comunidades de zonas semiáridas de México", *Publicaciones Biológicas*, 1(7), Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 1975, pp. 181-194.

Contreras Balderas, S., "Freshwater Ecoregions of the World. 135: Lower Rio Grande-Bravo", 2008, <http://www.feow.org/ecoregion_details.php?eco=135>.

Contreras Balderas, S., R. J. Edwards, M. de Lourdes Lozano Vilano y M. E. García Ramírez, "Fish biodiversity changes in the Lower Rio Grande/Rio Bravo, 1953-1996", *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, núm. 12, 2002, pp. 219-240.

Copp, G. H., K. Wesley y L. Vilizzi, "Pathways of ornamental and aquarium fish introductions into urban ponds of Epping Forest (London, England): the human vector", *J. Appl. Ichtyol.* 21, 2005, pp. 263-274.

Courtenay, W. y J. Williams, "Snakeheads (*Pices, Channidae*) - A Biological Synopsis and Risk Assessment", USGS Circular 1251, 2004.

Cox, G. W., *Alien Species and Evolution. The Evolutionary Ecology of Exotic Plants, Animals, Microbes and Interacting Native Species*, Island Press, 2004.

Crossman, E. J. y B. C. Cudmore, "Summary of Fishes Intentionally Introduced in North America", en R. Claudi y J. H. Leach (comps.), *Non-indigenous Freshwater Organisms: Vectors, Biology, and Impacts*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2000, pp. 99-112.

Custer, C. M., T. W. Custer y P. J. Zwank, "Migration chronology and distribution of Readheads on the Lower Laguna Madre, Texas", *The Southwestern Naturalist*, 42(1), 1997, pp. 40-51.

DeBlieu, J., M. Beck, D. Dorfman, P. Ertel, *Conservation in the Carolinian Ecoregion: An Ecoregional Assessment*. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, 2005.

Denoncourt, R. F., T. B. Robbins y R. Hesser, "Recent introductions and reintroductions to the Pennsylvania fish fauna of the Susquehanna River drainage above Conowingo Dam", *Proceedings of the Pennsylvania Academy of Science*, 49, 1975, pp. 57-58.

De Poorter, M., S. Pagad y M. Irfan Ullah, "Alien Invasive Species in Protected Areas: A Scoping Report", elaborado por el Banco Mundial para el Global Invasive Species Programme (GISP), parte I: *Scoping the Scale and Nature of Alien Invasive Species Threats to Protected Areas, Impediments to AIS Management, and Means to Address those Impediments*, 2007.

Diffenbaugh, N. S., F. Giorgi y J. S. Pal, "Climate change hotspots in the United States", *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L16709, doi:10.1029/2008GL035075, 2008.

DOF, "Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Laguna Madre y Delta del Río Bravo, ubicada en los municipios de Matamoros, San Fernando y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas, con una superficie total de 572,808-60-94.22 hectáreas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)", *Diario Oficial de la Federación*, México, 14 de abril de 2005.

Edwards, R. J. y S. Contreras, "Historical changes in the ichthyofauna of the Lower Rio Grande (Rio Bravo del Norte), Texas and Mexico", *The Southwestern Naturalist*, 36(2), 1991, pp. 201-212.

El-Hage, A. y D. Moulton, "Ecologically Significant River and Stream Segments of the Rio Grande (Region M) Water Planning Area. Arroyo Colorado Tidal. A report offered to the Rio Grande Water Planning Area", 2000, <http://www.tpwd.state.tx.us/publications/pwdpubs/pwd_rp_t3200_1059e/index.phtml>.

Evaluación Alianza para el Campo, "Informe de Evaluación Estatal: Programa de Acuacultura y Pesca del Estado de Tamaulipas, Gobierno del Estado de Tamaulipas", Sagarpa, 2006.

Everitt, J. H., M. A. Alaniz y M. R. Davis, "Using Spatial Information Technologies to Detect and Map Waterhyacinth and Hydrilla Infestations in the Lower Rio Grande", *J. Aquat. Plant Manage*, 41, 2003, pp. 93-98.

Federal Register, "Voluntary Guidelines for Recreational Activities to Control the Spread of Zebra Mussels and Other Aquatic Nuisance Species", *Federal Register*, vol. 65(72), 13 de abril de 2000.

Fuller, P., "Aquaculture, Fisheries and Live Trade in the Gulf of Mexico and Caribbean Region", en R. Osman y T. Shirley (comps.), *Proceedings and Final Report of the Gulf of Mexico and Caribbean Marine Invasive Species Workshop*, taller celebrado el 26 y 27 de febrero de 2007 por Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas; informe publicado por el Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies y el Smithsonian Environmental Research Center, 1997.

Fuller, P. L., L. G. Nico y J. D. Williams, "Non-indigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States", *American Fisheries Society Special Publication*, núm. 27, Bethesda, Maryland, 1999.

Gallaway, B., "Shelf Communities on Plataforms", en R. Osman y T. Shirley (comps.), *Proceedings and Final Report of the Gulf of Mexico and Caribbean Marine Invasive Species Workshop*, taller celebrado el 26-27 de febrero de 2007 por Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas; informe publicado por el Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies y el Smithsonian Environmental Research Center, 2007.

Giordano, Meredith A. y Aaron T. Wolf, "The World's Freshwater Agreements: Historical Developments and Future Opportunities", United National Environment Programme, 2002,
<<http://www.transboundarywaters.orst.edu/publications/atlas/>>.

Good Neighbor Environmental Board, "Annual Report. A Presidential and Congressional Advisory Committee on U.S.-Mexico Border Issues", julio de 1998.

Gore, R. H., *The Gulf of Mexico*, Pineapple Press, Inc., Sarasota, Florida, 1992.

Gulf of Mexico and South Atlantic Regional Panel on Aquatic invasive Species, "Strategic Plan 2005-2009".

Gunter, G., "Vertebrates in hypersaline waters", *Contr. Mar. Sci.*, núm. 12, 1967, pp. 230-241.

Gyory, J., A. J. Mariano y E. H. Ryan, "The Loop Current. Ocean Surface Currents", 2009, <<http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/loop-current.html>>.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis, "Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas", *Int. J. Climatol.*, núm. 25, 2005.

Hildebrand, H. H., "Laguna Madre, Tamaulipas: Observations on its hydrography and fisheries", en *Lagunas costeras, un simposio*, memoria del simposio organizado por UNAM-Unesco, México, 1969, pp. 679-686.

Hinck, J. E., "Widespread Occurrence Of Intersex Bass Found In U.S. Rivers", *Science Daily*, 15 de septiembre de 2009, <<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/09/090914172648.htm>> (consulta realizada el 7 de enero de 2011).

Hinck, J. E., C. J. Schmitt, K. A. Chojnacki y D. E. Tillitt, "Environmental contaminants in freshwater fish and their risk to piscivorous wildlife based on a national monitoring program", *Environ Monit Assess*, 152, 2009, pp. 469-494.

Hoagstrom, C. W., W. J. Remshardt, J. R. Smith y J. E. Brooks, "Changing Fish Faunas in Two Reaches of the Rio Grande in the Albuquerque Basin", *The Southwestern Naturalist*, 55(1), 2010, pp. 78-88.

Hogan, J. F., "Geologic origins of salinization in a semi-arid river: The role of sedimentary basin brines", *Geology*, 35(12), 2007, pp.1063-1066.

Holt, R., "Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives", *PNAS*, vol. 106, suppl. 2, 17 de noviembre de 2009, pp. 19659-19665.

Hulme, P. E., S. Bacher, M. Kenis, S. Klotz, I. Kuhn, D. Minchin, W. Nentwig, S. Olenin, V. Panov, J. Pergl, P. Pysek, A. Roques, D. Sol, W. Solarz y M. Vila, "Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy", *Journal of Applied Ecology*, 45(2), 2008, pp. 1-12.

Hurd, B. H. y J. Coonrod, "Climate Change and Its Implications for New Mexico's Water Resources and Economic Opportunities", *Technical Report*, 45, New Mexico State University, Agricultural Experiment Station, Las Cruces, Nuevo México, 2007.

Hutchinson, G. E., "Concluding remarks", *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22, 1957, pp. 415-457.

ICAAN, "Continently important proposals: An introduction", Iniciativa para la Conservación de las Aves de América del Norte, 2007.

IMO, *International Shipping and World Trade - Facts and figures*, International Maritime Organization, Maritime Knowledge Centre, noviembre de 2008.

IPCC, *Climate Change 1998*, Cambridge University Press, 1998.

IPCC, *Climate Change 2001*, Cambridge University Press, 2001.

ISAC, *Invasive Species Definition Clarification and Guidance White Paper*, Invasive Species Advisory Committee, abril de 2006.

Kaschner, K., J. S. Ready, E. Agbayani, J. Rius, K. Kesner Reyes, P. D. Eastwood, A. B. South, S. O. Kullander, T. Rees, C. H. Close, R. Watson, D. Pauly y R. Froese (comps.), "AquaMaps Environmental Dataset: Half-Degree Cells Authority File (HCAF)", <www.aquamaps.org/data>, enero de 2008.

Kelly, M. y S. Contreras, *The 1994 Rio Grande Toxics Study: An Evaluation and User's Guide*, 1994.

Kerr, R., "Climate Change Hot Spots Mapped Across the United States", *Science*, 321, 2008, pp. 909ss.

Krasny, M., *Invasion Ecology* (compilado por C. Reinburg, J. Cusick, C. Duval y B. Smith), National Science Teachers Association Press, Washington, 2003.

Lacewell, R. D., M. Edward Rister, A. W. Sturdivant, M. DuBois, C. Rogers y E. Seawright, *Expected Economic Benefits of the El Morillo Drain*, The Texas Water Resource Institute, TR-299, 2007.

Levings, W., Denis F. Healy, Steven F. Richey y Lisa F. Carter, "Water Quality in the Rio Grande Valley, Colorado, New Mexico, and Texas, 1992-95", U.S. Geological Survey Circular 1162, 1998.

Lokkeborg, S., "Impacts of trawling and scallop dredging on benthic habitat communities", *FAO Technical paper*, 472, 2005.

Louisiana Department of Wildlife and Fisheries, *Louisiana Sea Grant*, Louisiana Aquatic Invasive Species Task Force, M. McElroy y M. Barrett O'Leary, State Management Plan for Aquatic Invasive Species in Louisiana, 2004.

McAllister, D., J. Craig, N. Davidson, D. Murray y Mary Seddon, *Background Paper*, núm.1, UICN, PNUMA, WCD, 2001.

McNeese, T., *Rivers in the world history: The Rio Grande*, Chelsea House Publishers, Filadelfia, 2005.

Martínez Meyer, E., “El modelado de nichos ecológicos y de distribuciones de especies: fundamentos y aplicaciones”, curso de posgrado, Instituto de Biología, UNAM, 2009.

Mendoza, J., J. Botsford, J. Hernández, A. Montoya, R. Sáenz, A. Valles, A. Vázquez y M. Álvarez, “Microbial contamination and chemical toxicity of the Rio Grande”, *BMC Microbiol.*, 224, 2004, pp. 17ss.

Mendoza, R., B. Coudmore, R. Orr, J. Fisher, S. Contreras, W. Courtenay, P. Koleff, N. Mandrak P. Álvarez, M. Arroyo, C. Escalera, A. Guevara, G. Greene, D. Lee, A. Orbe, C. Ramírez y O. Stabridis (compilado por J. Fisher), *Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras: casos de prueba para el pez cabeza de serpiente (Channidae) y el pleco (Loricariidae) en aguas continentales de América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), Montreal, 2009.

Metcalf, J., V. Pritchard, S. Silvestri, J. Jenkins, J. S. Wood, D. Cowley, R. P. Evans, D. K. Shiozawa y A. P. Martin, “Across the great divide: genetic forensics reveals misidentification of endangered cutthroat trout populations”, *Molecular Ecology*, 16(21), 2007, pp. 4445-4454.

Middlemas, K., “Local angler hooks a peculiarity”, *The News Herald*, 25 de septiembre de 1994, Panama City, Florida, 1994.

Miller, C., M. Kettunen y C. Shine, “Scope Options for EU Action on Invasive Alien Species”, *Final report for the European Commission*, Institute for European Environmental Policy (IEEP), Bruselas, Bélgica, 2006.

Miller, R. R., “Man and the changing fish fauna of the American Southwest”, *Pap. Michigan Academy Science Arts. Letters* 46, 1961, pp. 365-404.

Miller, W., “Shipping vectors within the Gulf of Mexico and Caribbean: Ballast Water and Hull Fouling”, en R. Osman y T. Shirley (comps.), *Proceedings and Final Report of the Gulf of Mexico and Caribbean Marine Invasive Species Workshop*, taller celebrado en Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas, los días 26-27 de febrero de 2007; informe publicado por Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies y Smithsonian Environmental Research Center, 2007.

Murray, S. N., L. Fernández y J. A. Zertuche González, *Estado, amenazas ambientales y consideraciones políticas respecto de las algas marinas*

invasoras de la costa del Pacífico de América del Norte, informe preparado para la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), Montreal, 2007.

NAPPO, “Acuerdo Norteamericano de Protección a las Plantas”, firmado en Yosemite, Estados Unidos, el 13 de octubre de 1976, Organización Norteamericana de Protección a las Plantas, 1976.

Nico, L. G. y J. D. Williams, “Risk assessment on black carp (*Pisces: Cyprinidae*)”, *Final report to the Risk Assessment and Management Committee of the Aquatic Nuisance Species Task Force*, US Geological Survey, Biological Resources Division, Gainesville, Florida, 1996.

Olson, D., E. Dinerstein, P. Canevari, I. Davidson, G. Castro, V. Morisset, R. Abell y E. Toledo (comps.), *Freshwater biodiversity of Latin America and the Caribbean: A conservation assessment*, Biodiversity Support Program, Washington, D.C., 1998.

Onuf, C., “Laguna Madre”, en L. Handley, D. Altsman y R. DeMay (comps.), *Seagrass Status and Trends in the Northern Gulf of Mexico: 1940–2002: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5287*, 2007.

Patiño Gómez, C. y D. C. McKinney, *Water Quality Data Model in GIS for the Rio Bravo/Grande Basin*, Center for Research in Water Resources, CRWR Online Report 06-13 (informe en línea), 2006, <<http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>>.

Parcher, J. W., D. G. Woodward y R. A. Durall, “A Descriptive Overview Of The Rio Grande-Rio Bravo Watershed”, *Journal of Transboundary Water Resources*, vol. 1, 2010, pp. 159-178.

Pérez Arteaga, A., K. J. Gaston y M. Kershaw, “Undesignated sites in Mexico qualifying as wetlands of international importance”, *Biological Conservation*, núm. 107, 2002, pp. 47-57.

Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire, “Maximum entropy modeling of species geographic distributions”, *Ecological Modelling*, 190, 2006, pp. 231-259.

Phillips, S. J., M. Dudik y R. E. Schapire, “A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling”, *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, Banff, Canadá, 2004.

Pimentel, D., R. Zúñiga y D. Morrison, “Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States”, *Ecological Economics*, núm. 52, 2005, pp. 273-288.

Pitman, B., "Preventing Spread of Non-Target Species", 2003, <www.haccp-nrm.org/Documents/Pitman2003.pdf>.

PNUMA, "Status, impacts and trends of alien species that threaten ecosystems, habitats and species", nota del secretario ejecutivo, Organismo Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (*Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice*), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, sexta reunión del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, 12-16 de marzo de 2001.

PNUMA, "Implications of the findings of the Millennium Ecosystem Assessment for the future work of the Convention – Addendum - Summary for decision makers of the biodiversity synthesis report", PNUMA/CBD/SBSTTA/11/7/Add.1, 31 de agosto de 2005.

PNUMA, *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being; Biodiversity Synthesis*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Instituto de Recursos Mundiales, Washington, DC, 2005.

PNUMA-GRID-Arendal, "Major pathways and origins of invasive species infestations in the marine environment", PNUMA-GRID-Arendal Maps and Graphics Library, febrero de 2008, <<http://maps.grida.no/go/graphic/major-pathways-and-origins-of-invasive-species-infestations-in-the-marine-environment>>.

Pronatura-UAT-Conanp, *Estudio previo justificativo para proponer la región de Laguna Madre de Tamaulipas, como área natural protegida*, 2002.

Pronatura Noreste, 2009, <http://www.pronaturane.org/tamaulipecan_wetlands.php[9/18/09]>.

Ramsar, "The Annotated Ramsar List of Wetlands of International Importance", México, 2009, <http://www.ramsar.org/cda/ramsar/display/main/main.jsp?zn=ramsar&cp=1^16517_4000_0>.

Revenga, C, S. Murray, J. Abramovitz y A. Hammond, "Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability", World Resources Institute, Washington, DC, 1998, <http://pubs.wri.org/pubs_description.cfm?PubID=2900>.

Revenga, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem y R. Payne, "Pilot Analysis of Global Ecosystems (PAGE): Freshwater Systems", World Resources Institute. Washington, DC, 2000, <http://pubs.wri.org/pubs_pdf.cfm?PubID=3056>.

RGBI, *Rio Grande Basin Initiative*, Texas A & M University, 2010, en: <<http://riogrande.tamu.edu/>>.

Rinne, J. N., "Fish habitats: Conservation and management implications", en P. F. Ffolliott, M. B. Baker, L. F. DeBano y D. G. Neary (comps.), *Ecology and management of riparian areas in the southwestern United States*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2003, pp. 277-297.

Rinne, J. N., "Native and introduced fishes: their status, threat, and conservation", en P. F. Ffolliott, M. B. Baker, L. F. DeBano y D. G. Neary (comps.), *Ecology, hydrology and management of riparian areas in the southwestern United States*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2003, pp. 194-213.

Ruesink, L. E., *Dividing the Waters*, núm 7, vol. 6, Texas Water Resources Institute, septiembre de 1980.

Ruiz, G. M., A. W. Miller, R. A. Everett, B. Steves, K. Lion, C. Whitcraft, A. Arnwine, E. Collinetti, M. Sigala y D. Lipski, "National Ballast Information Clearinghouse Interim Report (October 2000)", *Results of the First Year of Data Management and Analysis: Shipping Industry Compliance with Mandatory Ballast Water Reporting Requirements Shipping Industry Compliance with Voluntary Ballast Water Management Guidelines*, 2000.

Ruiz, G. M., A. W. Miller, K. Lion, B. Steves, A. Arnwine, E. Collinetti y E. Wells, *Status and Trends of Ballast Water Management in the United States*, First Biennial Report of the National Ballast Information Clearinghouse, primer informe bienal elaborado para la Guardia Costera de Estados Unidos, 2001.

Ruiz, G. M. y J. T. Carlton, *Invasive Species: Vectors and Management Strategies*, Island Press, Washington, DC, 2003.

Ryu, H., A. Alum, M. Álvarez, J. Mendoza y M. Abbaszadegan, "An assessment of water quality and microbial risk in Rio Grande basin in the United States-Mexican border region", *Journal of Water and Health*, 3(2), 2005, pp. 209-218.

Sammarco, P., "Invasive Species on Oil and Gas Platforms in the Northern Gulf of Mexico: Island-Hopping and Biogeographic Expansion", en R. Osman y T. Shirley (comps.), *Proceedings and Final Report of the Gulf of Mexico and Caribbean Marine Invasive Species Workshop*, Held at Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas, 26-27 de febrero de 2007, publicado por el Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies y Smithsonian Environmental Research Center, 2007.

Schmitt, C. J., G. M. Dethloff, J. E. Hinck, T. M. Bartish, V. S. Blazer, J. J. Coyle, N. D. Denslow y D. E. Tillitt, *Biomonitoring of Environmental Status and Trends (BEST) Program: Environmental Contaminants and their Effects on Fish in the Rio Grande Basin*, Scientific Investigations Report 2004-5108, Servicio Geológico de Estados Unidos, Departamento del Interior, 2004.

Semarnat, *Situación ambiental de la zona costera y marina, en particular humedales costeros y manglares*, elaborado por el Instituto Politécnico Nacional, 2006.

Simberloff, D., "Introduced species: The threat to biodiversity and what can be done", artículo publicado en *Action Bioscience*, 2000, <<http://www.actionbioscience.org/>>.

Small, M. F., T. H. Bonner y John T. Baccus, "Hydrologic alteration of the lower Rio Grande terminus: a quantitative assessment", *River Research and Applications*, 25(3), 2009, pp. 241-252.

Smith, E., "Barrier Islands", en J. W. Tunnell y F. W. Judd (comps.), *The Laguna Madre of Texas and Tamaulipas*, Texas A&M University Press, 2002.

Stockwell, D. y D. Peters, "The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction", *International Journal of Geographical Information Science*, núm. 13, pp. 143-158.

Tamelander, J., L. Riddering, F. Haag y J. Matheickal, "Guidelines for Development of National Ballast Water Management Strategies", *GloBallast Monographs*, núm. 18, GEF-UNDP-IMO GloBallast, Londres, y UICN, Gland, Suiza, 2010.

Tate, D. E., "Bringing Technology to the Table: Computer Modeling, Dispute Resolution, and the Rio Grande", tesis de maestría, Universidad de Texas en Austin, 2002.

Taylor, J. N., W. R. Courtenay, Jr. y J. A. McCann, "Known impacts of exotic fishes in the continental United States", en W. R. Courtenay, Jr. y J. R. Stauffer, Jr. (comps.), *Distribution, Biology, and Management of Exotic Fishes*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1984.

TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality), "Rio Grande Toxic Substances Study Summary", 2010, <<http://www.tceq.state.tx.us/compliance/monitoring/water/quality/data/wqm/mtr/riosum.html>>.

TFDD (Transboundary Freshwater Dispute Database), "Rio Grande (North America) Basin", 2011,
<http://ocid.nacse.org/tfdd/map/result.php?bcode=RGNA&bccode=RGNA_MEX&maptype=Population>.

TWCA (Texas Water Conservation Association), "Texas Water Day 2010. Controlling Invasive Aquatic and Riparian Species", 2010,
<<http://www.twca.org/waterday/2010/>>.

Texas Parks y Wildlife Department, E. Chilton, L. Robinson y R. Howells, *The Texas State Comprehensive Management Plan for Aquatic Nuisance Species*, 2006.

Texas Water Development Board, Texas Parks y Wildlife Department, "Freshwater inflows to Texas bays and estuaries: ecological relationships and methods for determination of needs", informe preliminar, enero de 1992.

The Nature Conservancy, NOAA, *Texas Coastal Management Program. 2001. Conservation Plan for the Texas Portion of the Laguna Madre*, 2006.

TNC-Pronatura-Conanp, *Plan de Conservación para la Laguna Madre y su área de influencia*, Tamaulipas, México, 2009.

Trade Environment Database, "Nutrias in the US and Trade. Case 288", 2010, <<http://www1.american.edu/ted/NUTRIA.HTM>>.

Tunnell, J. W., N. L. Hilburn y K. Withers, *Comprehensive bibliography of the Laguna Madre of Texas and Tamaulipas*, Center for Coastal Studies, Texas A&M University-Corpus Christi for The Nature Conservancy of Texas, 2002.

Tunnell, J. W. y F. W. Judd (comps.), *The Laguna Madre of Texas and Tamaulipas*, Texas A&M University Press, 2002.

Unesco, "Laguna Madre y delta del río Bravo", información sobre la reserva de la biosfera, Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB Programme), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), 2009,
<<http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=MEX+26&mode=all>>.

Union of Concerned Scientists, "Laguna Madre, salty balance: The Laguna Madre and South Texas Coastal Plain", 2009,
<<http://www.ucsusa.org/gulf/gcplaceslag.html>>.

US EPA, "Handbook: Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning", Environmental Protection Agency, EPA/625/R-93-004, septiembre de 1993, p. 7.

US EPA "Nonpoint Source Pollution: The Nation's Largest Water Quality Problem", Environmental Protection Agency, <www.epa.gov/OWOW/NPS/facts/point1>, 21 de enero de 1997.

US EPA, "Pathways for Invasive Species Introduction", Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), 2009, <http://www.epa.gov/owow/invasive_species/pathways.html>.

US EPA, "Storm Water Discharges Potentially Addressed by Phase II of the National Pollutant Discharge Elimination System Storm Water Program", Environmental Protection Agency, EPA 833/K-94/002, marzo de 1995, pp. 3-42.

US FWS, "Invasive Species Pathways", US Fish and Wildlife Service, 2009, <<http://alaska.fws.gov/fisheries/invasive/pathways.htm>>.

US Hurricanes Information, 2009, <<http://www.geocities.com/hurricane/gulfcoast.htm>>.

USGS, "GIS Applications for Multinational Watershed Assessment", IV Foro Mundial del Agua: Acciones locales, celebrado en México, D.F., 16-22 de marzo de 2006, US Geological Survey, 2006.

USGS, "Science Data in Support of Environmental Health Studies in the US-Mexico Border Region", US Geological Survey, USGS Fact Sheet 2004-3013, febrero de 2004.

Van Schoick, R., "Conservation Biology in the U.S. – Mexican Border Region", *World Watch Magazine*, World Watch Institute, 2004, pp. 36-39.

Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. Reidy Liermann y P. M. Davies, "Global threats to human water security and river biodiversity", *Nature*, núm. 467, 2010, pp. 555-561.

Weir, E., N. Wilkins y W. E. Grant, "Spatial Relations of Aquatic Bird Species and Water Management in the Lower Rio Grande Valley", Discussion paper 207, The Beijer Institute of Ecological Economics, 2006.

Welcomme, R., "Pesca Fluvial", *FAO Documento Técnico de Pesca*, Roma, 1992.

WHRSN, "Western Hemisphere Shorebird Reserve Network", 2009, <<http://www.whsrn.org/site-profile/laguna-madre>>.

Whyte, J. J., R. E. Jung, C. J. Schmitt, D. E. Tillitt, "Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activity in fish as a biomarker of chemical exposure", *Crit Rev Toxicol*, 30(4), 2000, pp. 347-570.

Williams, J. D. y G. K. Meffe, "Factors Affecting Biological Resources – Non-indigenous Species", en *Status and Trends of the Nation's Biological Resources*, vol. 1, 1999, pp. 117-129.

Winemiller, K., N. Lujan, R. N. Wilkins, R. T. Snelgrove, A. M. Dube, K. L. Skow y A. Grones Snelgrove, *Status of Freshwater Mussels in Texas*, Texas A&M Department of Wildlife and Fisheries Sciences y Texas A&M Institute of Renewable Natural Resources, 2010.

Wohl, E. y S. Rathburn, "Mitigation of sedimentation hazards downstream from reservoirs", *International Journal of Sediment Research*, 18(2), 2003, pp. 97-106.

Wong, C. M., C. E. Williams, J. Pittock, U. Collier y P. Schelle, *World's top 10 rivers at risk*, WWF International, Gland, Suiza, 2007.