Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

IMPACTO DE LAS ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN Y EL CARIBE MEXICANO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

PRESENTA

M en C. EDUARDO RENDÓN HERNÁNDEZ

COMITÉ TUTORAL

Dr. Luis Amado Ayala Pérez (Director)

Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa (Asesor)

Dr. Ricardo Torres Lara (Asesor)

Ciudad de México, septiembre de 2026.

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Ecología Aplicada del Departamento El Hombre y su Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, bajo la dirección del Dr. Luis Amado Ayala Pérez. La asesoría estuvo a cargo del Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa del Laboratorio de Taxonomía y Sistemática Vegetal del Departamento El Hombre y su Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, y del Dr. Ricardo Torres Lara del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Quintana Roo.

El autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para sus estudios de doctorado, con el número de registro 803729, que comprendió del periodo de agosto de 2021 a julio de 2025. El Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Sistema Nacional de Posgrados de la SECIHTI, con número de referencia 001480.

El jurado designado por la Comisión Académica del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana aprobó la tesis que presentó:

M en C. Eduardo Rendón Hernández
Fecha de aprobación de la tesis: 25 de septiembre de 2026

JURADO:

_____
Dr. Luis Amado Ayala Pérez
Presidente

_____
Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa
Secretario

_____
Dr. Ricardo Torres Lara
Vocal 1

_____
Dra. Martha Elena Valdez Moreno
Vocal 2

_____
Dra. Julia Ramos Miranda
Vocal 3

DEDICATORIA

A Esmeralda Rendón y Fabiola Zamarripa

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco por brindarme la oportunidad de cursar el Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Ha sido muy productivo y enriquecedor estudiar en esta casa de estudios.

A la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, y a la Coordinación del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, por el financiamiento para presentar los resultados de la tesis en Congresos nacionales e internacionales.

A mi director de tesis, Dr. Luis Amado Ayala Pérez por su confianza y apoyo desde que surgió la idea del proyecto doctoral hasta su conclusión. Muchas gracias por todo.

A mi Comité tutoral: Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa y Dr. Ricardo Torres Lara, por su tiempo en las revisiones de la tesis y por sus valiosas aportaciones en los seminarios de investigación que enriquecieron este trabajo. A mi Comité predoctoral: Dra. Martha Elena Valdez Moreno, Dra. Julia Ramos Miranda, Dra. Ileana Ortegón Aznar y Dr. Everardo Barba Macias, por sus revisiones, observaciones y recomendaciones que fueron fundamentales para fortalecer esta investigación.

A Brenda Iliana Vega Rodríguez, María Franco Avalos y a Miguel Ángel Salinas por su apoyo en la revisión de la tesis, el sistema de información geográfica y los análisis estadísticos.

A mis colegas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, y de la Red: Coastal Ocean Marine Biosecurity International Network of the Americas (COMBINA).

A mi familia y amigos, por su acompañamiento y ánimo permanente durante este importante proyecto profesional.

A mi esposa Fabiola Zamarripa Vázquez, por su apoyo en cada etapa del doctorado, y por su comprensión en todo lo que implicó realizar esta investigación. A mi hija Esmeralda, por su alegría y energía infinita.

Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Declaración de originalidad

El que suscribe Eduardo Rendón Hernández, alumno del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, y autor de la tesis titulada: "Impacto de las especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán y el Caribe mexicano",

Declaro que:

1. La tesis que presento ante el Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, para la obtención del grado de Doctor es de mi autoría y original creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis no he reproducido párrafos completos; ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y/o fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el 25 de septiembre de 2026.

Atentamente

_____

Eduardo Rendón Hernández

Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Carta de Cesión de Derechos

En la Ciudad de México, el día 25 de septiembre de 2026, quien suscribe Eduardo Rendón Hernández, alumno del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana, manifiesta que es autor intelectual de la tesis titulada “Impacto de las especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán y el Caribe mexicano”, bajo la dirección del Comité Tutoral conformado por los Doctores: Luis Amado Ayala Pérez, Jordan Kyril Golubov Figueroa y Ricardo Torres Lara, cede los derechos del trabajo de tesis a la Universidad Autónoma Metropolitana para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin permiso expreso del autor o del Comité Tutoral del trabajo. Con el fin de solicitar autorización, los usuarios podrán escribir al correo electrónico occelott@gmail.com; si el permiso es otorgado, el usuario deberá dar el seguimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Eduardo Rendón Hernández

2212801853

ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
CAPÍTULO I. Marco teórico conceptual	5
I.1. Especies exóticas invasoras	5
I.2. Áreas naturales protegidas y servicios ecosistémicos	14
Pregunta de investigación	18
Hipótesis, relación y descripción de variables de estudio	18
Objetivo general y específicos	19
CAPÍTULO II. Área de estudio	20
CAPÍTULO III. Diagnóstico de la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán y el Caribe mexicano	26
III.1. Metodología	26
III.2. Resultados	28
III.3. Discusión	43
III.4. Conclusiones	56
III.5. Recomendaciones	56
CAPÍTULO IV. Impacto de las especies exóticas invasoras en los servicios ecosistémicos	58
IV.1 Propuesta de acciones prioritarias en áreas naturales protegidas	80
Literatura citada	90
Anexo A. Origen geográfico de las especies exóticas invasoras	100
Anexo B. Bioseguridad insular como estrategia de prevención, detección temprana y respuesta rápida en áreas naturales protegidas	101
Anexo 1. Referencias sobre la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán, Caribe mexicano y sureste del Golfo de México	110
Anexo 2. Artículos científicos publicados en el marco de la tesis doctoral: i) Aquatic Invasive Species in the Protected Areas of the Yucatan Peninsula and Adjacent Marine Zone, Mexico; ii) Especies exóticas invasoras y sus implicaciones sobre los bosques de manglar en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos**;** iii) Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors	128

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Impulsores de deterioro en ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos	6
Figura 2.	Modelo del proceso de invasión biológica	7
Figura 3.	Red de hipótesis en biología de la invasión	8
Figura 4.	Vinculación entre las fases del proceso de invasión y las acciones de gestión	12
Figura 5.	Costos de la atención a especies exóticas invasoras en áreas naturales protegidas del mundo	13
Figura 6.	Vínculos entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano	16
Figura 7.	Clasificación de los servicios de los ecosistemas	17
Figura 8.	Mapa de las áreas naturales protegidas de competencia federal de la península de Yucatán y la zona marina adyacente	23
Figura 9.	Número de especies exóticas invasoras por grupo taxonómico en la zona de estudio	29
Figura 10.	Proporción de grupos taxonómicos presentes en las áreas naturales protegidas de la zona de estudio	30
Figura 11.	Número de especies exóticas invasoras presentes en las áreas naturales protegidas de la zona de estudio	36
Figura 12.	Dendrograma de similitud entre las especies exóticas invasoras presentes en las áreas naturales protegidas	37
Figura 13.	Número de documentos de referencia sobre la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán y la zona marina adyacente	40
Figura 14.	Nivel de riesgo de las especies exóticas invasoras de acuerdo con el Método de Evaluación Rápida de Invasividad o Análisis de Riesgo	41
Figura 15.	Actividades productivas implementadas en las áreas naturales protegidas de la zona de estudio	42
Figura 16.	Número de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de los estados de la península de Yucatán	43
Figura 17.	Pérdida de capital natural en México	44
Figura 18.	Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Campeche	44
Figura 19.	Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Quintana Roo	45
Figura 20.	Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Yucatán	45
Figura 21.	Análisis de correspondencias múltiples de las especies exóticas invasoras en función de su presencia en áreas naturales protegidas	49
Figura 22.	Análisis de correspondencias múltiples de las especies exóticas invasoras en función de su presencia en áreas naturales protegidas con especies $cos^2 \geq 0.5$ en dos dimensiones	50
Figura 23.	Dendrograma de agrupamiento jerárquico de especies exóticas invasoras con base en sus vías de introducción	53
Figura 24.	Macroecosistemas impactados según agrupación de vías de introducción	53
Figura 25.	Macroecosistemas afectados según grupo taxonómico	54
Figura 26.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por plantas exóticas invasoras	73

Figura 27.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por invertebrados exóticos invasores	74
Figura 28.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por peces exóticos invasores	74
Figura 29.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por herpetofauna exótica invasora	75
Figura 30.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por aves exóticas invasoras	75
Figura 31.	Proporción de servicios ecosistémicos afectados por mamíferos exóticos invasores	75
Figura 32.	Diagrama de cuerdas de la relación de los servicios ecosistémicos afectados por grupos taxonómicos de especies exóticas invasoras	77
Figura 33.	Proporción de grupos taxonómicos que afectan servicios ecosistémicos	78
Figura 34.	Proporción de vías de introducción que afectan servicios ecosistémicos	79
Figura 35.	Proporción de ecosistemas impactos por especies exóticas invasoras y servicios ecosistémicos afectados	80

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1.	Lista de hipótesis de invasiones biológicas	9
Tabla 2.	Superficie de las áreas naturales protegidas de la zona de estudio	24
Tabla 3.	Designaciones internacionales de las áreas naturales protegidas de la zona de estudio	25
Tabla 4.	Especies exóticas invasoras identificadas en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán y la zona marina adyacente	31
Tabla 5.	Presencia-ausencia de las especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán y la zona marina adyacente, y su ponderación de acuerdo con las variables de referencia	38
Tabla 6.	Especies exóticas invasoras erradicadas en las áreas naturales protegidas de la región	41
Tabla 7.	Principales vías de introducción de las especies exóticas invasoras identificadas en las áreas naturales protegidas y ecosistemas afectados	52
Tabla 8.	Impactos de las especies exóticas invasoras a los servicios ecosistémicos de acuerdo con la categorización de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio	58
Tabla 9.	Valores de proporción de grupos taxonómicos que afectan servicios ecosistémicos	78
Tabla 10.	Valores de proporción de especies exóticas invasoras que afectan servicios ecosistémicos según vía de introducción	79
Tabla 11.	Valores de proporción de especies exóticas invasoras que afectan servicios ecosistémicos según el macroecosistema en el que se encuentran	79

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANP	Área Natural Protegida
APFF	Área de Protección de Flora y Fauna
AR	Análisis de Riesgo
CABI	Centro de Biociencia Agrícola Internacional
CDB	Convención sobre Diversidad Biológica
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
EEI	Especie Exótica Invasora
ENCTIM	Estrategia Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable del Territorio Insular Mexicano
ENEI	Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México
GBIF	Sistema Mundial de Información sobre Biodiversidad
GISD	Compendio del Programa Mundial sobre Especies Invasoras
IPBES	Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas
MAB	Programa El Hombre y la Biosfera
MERI	Método de Evaluación Rápida de Invasividad
PN	Parque Nacional
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
RAMSAR	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional
SECIHTI	Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
SEMAR	Secretaría de Marina – Armada de México
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
SIMEC	Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación
SNIB	Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

RESUMEN

La introducción de especies exóticas invasoras es considerada la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el mundo, en áreas naturales protegidas su impacto es mayor al desencadenar la pérdida en cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos, en las comunidades locales también afecta a la economía y a la salud pública. En este trabajo se determinó la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de competencia federal de la península de Yucatán y la zona marina adyacente, a través de un análisis en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad, los listados taxonómicos de los Estudios Previos Justificativos y los Programas de Manejo de las áreas naturales protegidas, artículos científicos y Planes, Programas y Protocolos. De las especies identificadas, se realizó una validación taxonómica y biogeográfica, y de acuerdo con las características biológicas y ecológicas de las especies se determinó la afectación a los servicios ecosistémicos con información de la Base de Datos Mundial sobre Especies Invasoras y del Centro de Biociencia Agrícola Internacional. Posteriormente, se realizó un análisis de similitud de especies en las áreas naturales protegidas utilizando el índice de Jaccard, y se identificaron las actividades productivas que se implementan en las áreas naturales protegidas, las cuales están vinculadas con las vías de introducción. Como resultado, se obtuvo un valor de ocurrencia de 92 especies exóticas invasoras en 40 áreas naturales protegidas, las cuales se ordenaron en 12 grupos taxonómicos: macroalgas (una especie), plantas (46), insectos (6), arácnidos (una especie), hidrozoos (2), crustáceos (2), moluscos (2), peces (11), anfibios (una especie), reptiles (4), aves (10) y mamíferos (6); 96% de las especies tienen un riesgo de invasividad entre “alto” y “muy alto” de acuerdo con el Método de Evaluación Rápida de Invasividad. El área natural protegida con mayor presencia de especies fue el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos con 57, mientras que las especies con mayor ocurrencia en las áreas naturales protegidas fueron: *Streptopelia decaocto* y *Bubulcus ibis* con el 82.5%, y *Columba livia* con el 77.5%. De acuerdo con la clasificación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los servicios ecosistémicos que son afectados por las especies exóticas invasoras son: aprovisionamiento (alimentos, agua potable, materias primas); regulación (agua, erosión, clima, calidad del aire, control de plagas y enfermedades, polinización, purificación del agua y tratamiento de residuos, moderación de eventos extremos); sustento (fotosíntesis, ciclo de nutrientes, formación de suelo); y culturales (recreación y ecoturismo, valores estéticos, salud física y mental). Las áreas naturales protegidas con mayor similitud de especies fueron Bajos del Norte - Tiburón Ballena – Costa Occidental de Isla Mujeres con valor de 1, con una sola especie (*Pterois volitans*); Arrecifes de Cozumel – Isla de Cozumel con valor de 0.91, con 22 especies; y Ría Celestún – Ría Lagartos con valor de 0.79, con 23 especies. Respecto a las actividades productivas, se identificaron: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuacultura, industria, turismo y aprovechamiento en unidades de manejo de vida silvestre. Finalmente, se elaboró una propuesta de acciones de atención inmediata para especies exóticas invasoras prioritarias en cada área natural protegida.

Palabras clave: áreas naturales protegidas, bioseguridad insular, Caribe mexicano, especies exóticas invasoras, Golfo de México, riesgo de invasividad, servicios ecosistémicos, vías de introducción.

ABSTRACT

The introduction of invasive alien species is considered the second cause of biodiversity loss in the world, in protected areas its impact is greater, triggering the loss of the quantity and quality of ecosystem services, and in local communities also affects the economy and public health. This study determined the presence of invasive alien species in federally protected areas in the Yucatan Peninsula and the adjacent marine zone, through an analysis of the National Biodiversity Information System; the Global Biodiversity Information System; taxonomic lists of the Previous Justifying Studies and Management Programs for protected areas; scientific articles; and Plans, Programs, and Protocols. A taxonomic and biogeographic validation of the identified species was carried out, and according to their biological and ecological characteristics, the impact on ecosystem services was determined with information from the Global Invasive Species Database and the Center for Agricultural Bioscience International. Subsequently, a species similarity analysis was carried out in the protected areas using the Jaccard index, and the productive activities implemented in the protected areas were identified, which are linked to the introduction pathways. The results showed the occurrence of 92 invasive alien species in 40 protected areas, which were classified into 12 taxonomic groups: macroalgae (1), plants (46), insects (6), arachnids (1), hydrozoans (2), crustaceans (2), mollusks (2), fish (11), amphibians (1), reptiles (4), birds (10) and mammals (6); 96% of species have a “high” to “very high” invasiveness risk according to the Rapid Invasiveness Assessment Method. The protected area with the highest presence of species was the Laguna de Terminos Flora and Fauna Protection Area with 57, while the species with the highest occurrence in the protected areas were *Streptopelia decaocto* and *Bubulcus ibis* with 82.5%, and *Columba livia* with 77.5%. According to the Millenium Ecosystem Assessment classification, the ecosystem services that are affected by invasive alien species are: provisioning (food, drinking water, raw materials); regulating (water, erosion, climate, air quality, pest and disease control, pollination, water purification and waste treatment, moderation of extreme events); supporting (photosynthesis, nutrient cycling, soil formation); and cultural (recreation and ecotourism, aesthetic values, physical and mental health). The protected areas with the highest species similarity were Bajos del Norte – Tiburon Ballena – Costa Occidental de Isla Mujeres with a value of 1, with a single species (*Pterois volitans*); Arrecifes de Cozumel – Isla de Cozumel with a value of 0.91, with 22 species; and Ria Celestún – Ria Lagartos with a value of 0.79, with 23 species. Regarding productive activities, the following were identified: agriculture, livestock, forestry, fishing, aquaculture, industry, tourism and use in wildlife management units. Finally, a proposal for immediate action was developed for priority invasive alien species in each protected area.

Keywords: protected areas, island biosecurity, Mexican Caribbean, invasive alien species, Gulf of Mexico, invasiveness risk, ecosystem services, introduction pathways.

INTRODUCCIÓN

Las especies exóticas son aquellas cuya presencia en una región es atribuible a acciones humanas, deliberadas o involuntarias, que les permitieron superar barreras biogeográficas (Pyšek et al. 2020). Una vez que las especies exóticas logran establecerse, reproducirse y dispersarse en los ecosistemas receptores, inician un proceso de invasión con repercusiones ecológicas, económicas y sociales, lo que las convierte en especies exóticas invasoras (**EEI**) (Cuthbert et al. 2021; Hulme, 2006; Pimentel et al. 2001), lo cual contribuye al deterioro de los ecosistemas de los cuales depende la humanidad (IPBES, 2023).

Las EEI se encuentran entre las principales amenazas para la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (**ANP**) (Hulme et al. 2025), ya que, en estos espacios la biodiversidad suele ser significativamente mayor que en los paisajes circundantes (Beaury et al. 2020; Levine et al. 2004; Naughton-Treves et al. 2005). Las ANP son consideradas la “piedra angular” de la conservación natural global, y son el eje principal de los esfuerzos nacionales e internacionales para mitigar los impactos de múltiples impulsores de pérdida de la biodiversidad (Hulme et al. 2025; Maxwell et al. 2020).

En un estudio realizado por Moodley et al. (2022), se demuestra que diversas EEI han causado daños en ANP en todos los continentes, con costos significativos en la gestión para controlarlas y/o erradicarlas, mientras que la resiliencia de las ANP a invasiones biológicas sigue siendo en gran parte desconocida (Carneiro et al. 2024; Ziller et al. 2020). Se ha estimado que el costo económico total de las EEI en ANP entre 1975 y 2020 ha sido de más de 20,000 millones de dólares estadounidenses (Moodley et al. 2022). Según la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (**IPBES**), el costo económico mundial de las especies exóticas invasoras superó los 423,000 millones de dólares estadounidenses en 2019, y los costos se han cuadruplicado cada década desde 1970 (IPBES, 2023). Es importante resaltar que las inversiones actuales en prevención y erradicación podrían ahorrar millones de dólares en el sector de la agricultura y la silvicultura, así como en la salud pública y los recursos para la preservación de los sistemas naturales y los servicios que brindan (Pejchar & Mooney, 2009).

Las EEI causan graves impactos en los servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano, estos cambios incluyen, la pérdida o alteración generalizada de bienes (p. ej., productos pesqueros, agrícolas y forestales), y servicios [p. ej., agua potable y abundante, estabilización

climática, polinización, valores culturales y paisajísticos (Chauhan et al. 2026; Millennium Ecosystem Assessment)]. Las invasiones biológicas también interactúan sinérgicamente con otros problemas ambientales aumentando su impacto global, como los cambios en el uso de la tierra y el mar, y el cambio climático, lo que facilita su expansión e impactos (Pyšek et al. 2020).

Derivado de esta problemática mundial, en México se han identificado diversas regiones con presencia de EEI, entre estas, la Península de Yucatán y su zona marina adyacente, la cual presenta un elevado valor biológico y ecológico por la biodiversidad con la que cuenta, y los servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades locales. En esta región maya se encuentran 40 ANP de competencia federal (CONANP, 2026) con una importante conectividad (Arriaga et al. 1998a; 1998b) donde se conservan diversos ecosistemas, como selvas, arrecifes coralinos, manglares, pastos marinos, petenes, dunas costeras, lagunas, rías, islas, cenotes y un sistema cavernario inundado, los cuales están amenazados por la presencia de numerosas EEI de diversos grupos taxonómicos, entre los que se encuentran: macroalgas marinas, plantas terrestres y acuáticas, insectos, arácnidos, hidrozoos, crustáceos, moluscos, peces continentales y marinos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

La problemática de las EEI se agrava debido a la presencia de diversas actividades productivas que se realizan dentro de los polígonos de las ANP y en las zonas de influencia, como la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuacultura, industria, turismo y aprovechamiento de unidades de manejo de vida silvestre, lo cual repercute en la conservación de los ecosistemas de las ANP. De acuerdo con un estudio realizado por la CONABIO (2022), los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo han reducido su capital natural de forma alarmante entre 1985 y 2021, y se han convertido en los de mayor pérdida a nivel nacional.

Uno de los ecosistemas con mayor afectación por EEI son las islas, las cuales requieren de estrategias de bioseguridad eficientes para lograr su conservación y restauración, estas se fundamentan en tres líneas de acción: prevención, detección temprana, y respuesta rápida, las cuales deben ser vinculantes con los diversos instrumentos de política pública como los Programas de Manejo de las ANP, y tener una coordinación intersectorial e interinstitucional.

Este trabajo presenta un diagnóstico de la presencia de EEI en las ANP del área de estudio, información sobre sus vías de introducción, afectaciones a los ecosistemas y sus servicios, y se plantean las acciones de atención inmediata de las EEI prioritarias en cada ANP.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

I.1 Especies exóticas invasoras

Las EEI han afectado la diversidad biológica autóctona en todas las regiones del mundo (IPBES, 2023). Como uno de los mayores impulsores de la pérdida de biodiversidad, estas representan una amenaza para la integridad y la función de los ecosistemas y, por lo tanto, para el bienestar humano (Devi et al. 2026; SCDB, 2009). Las barreras naturales como los océanos, las montañas, los ríos y los desiertos que permitieron la intrincada coevolución de las especies y el desarrollo de ecosistemas únicos, se han fragmentado en los últimos siglos (Wittenberg & Cock, 2001). Desde el siglo XVII, las EEI han contribuido al 40% de todas las extinciones de animales de las que se conoce la causa (SCDB, 2006), y los registros acumulados en el mundo sobre EEI han aumentado un 40% desde 1980 derivado del aumento del comercio, el transporte y el turismo, con un costo significativo para la salud humana, animal y para el bienestar socioeconómico y ecológico del mundo (IPBES, 2019; SCDB, 2009).

Las EEI son especies introducidas y establecidas fuera de su hábitat natural, se reproducen rápidamente, se propagan y se imponen sobre las especies locales por competencia y diversas asociaciones ecológicas directas e indirectas (Gallien y Carboni, 2017; SCDB, 2011). Además, causan impactos negativos a la salud humana, a la economía y a los servicios ecosistémicos (IPBES, 2019). En México, la Ley General de Vida Silvestre, define una EEI como “Aquella especie o población que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública” (DOF, 2010), concepto que fue utilizado en la conceptualización operativa en el desarrollo de la tesis.

Las formas en que las especies alóctonas afectan a las especies y ecosistemas autóctonos son numerosas y generalmente irreversibles, las especies alóctonas invasoras son taxonómicamente diversas, aunque algunos grupos (p. ej., mamíferos, peces, insectos y plantas) han producido un número especialmente elevado de invasores perjudiciales (Lowe et al. 2004). Miles de especies están en peligro a causa de las EEI, especialmente en las islas, y muchos ecosistemas nativos se han perdido irremediablemente a causa de las invasiones biológicas (Wittenberg & Cock, 2001). Actualmente, las EEI son consideradas la segunda causa de amenaza y extinción de especies, precedida tan sólo por la pérdida de hábitat (Lowe et al. 2004) y son uno de los principales agentes de cambio ambiental en el planeta (Chauhan et al. 2026; Sala et al. 2000).

Algunas EEI pueden desencadenar cambios extensos a nivel de paisaje (Pimentel et al. 2001; Schüttler y Karez, 2009) y como consecuencia, la degradación de los ecosistemas vuelve a las especies nativas y a sus hábitats más vulnerables ante los efectos de las EEI (Aguirre-Muñoz et al. 2009). Las EEI representan aproximadamente el 12% de los impulsores de deterioro en los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos a escala mundial (Fig. 1), y los daños causados se pueden agravar por el cambio de uso de la tierra y el mar, y el cambio climático (Zhan et al. 2025).

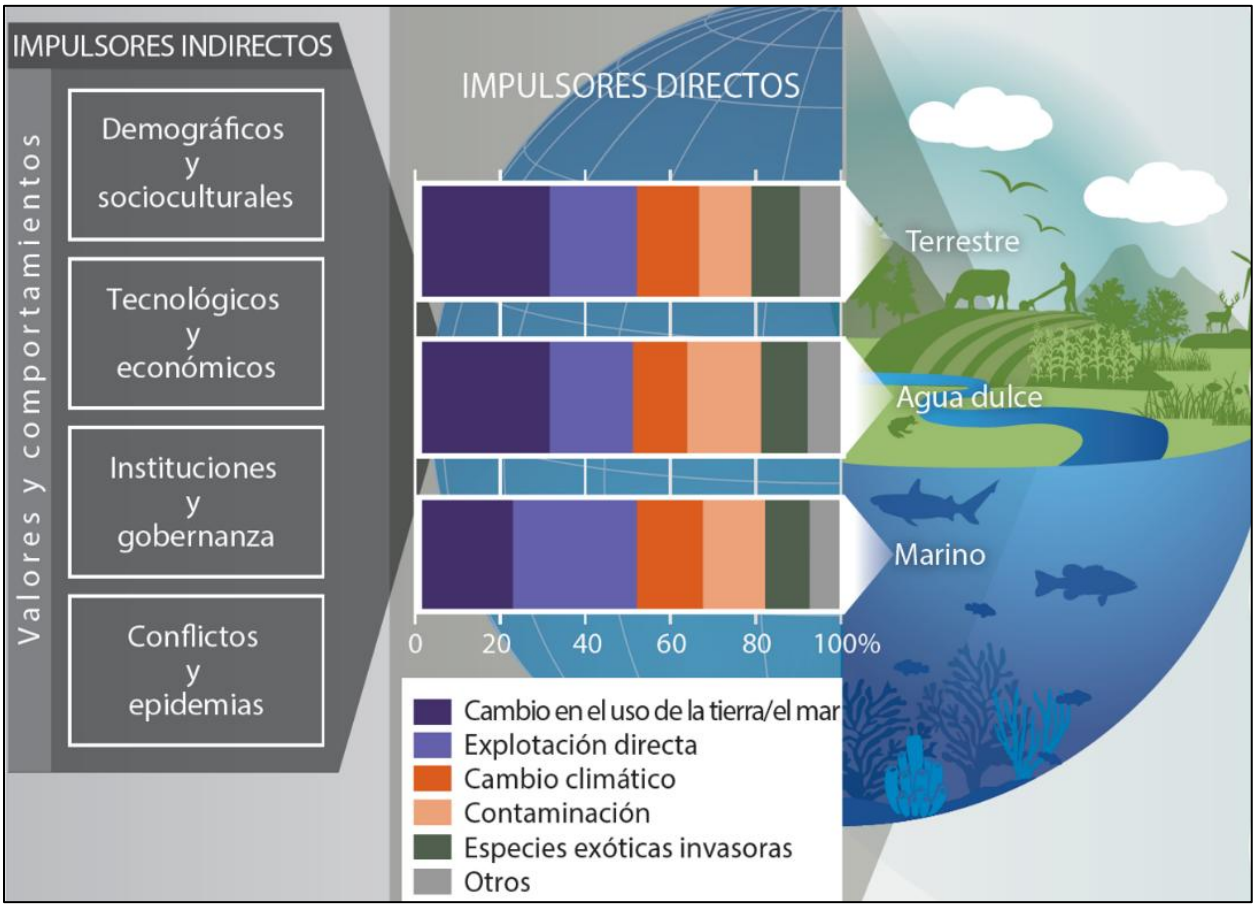
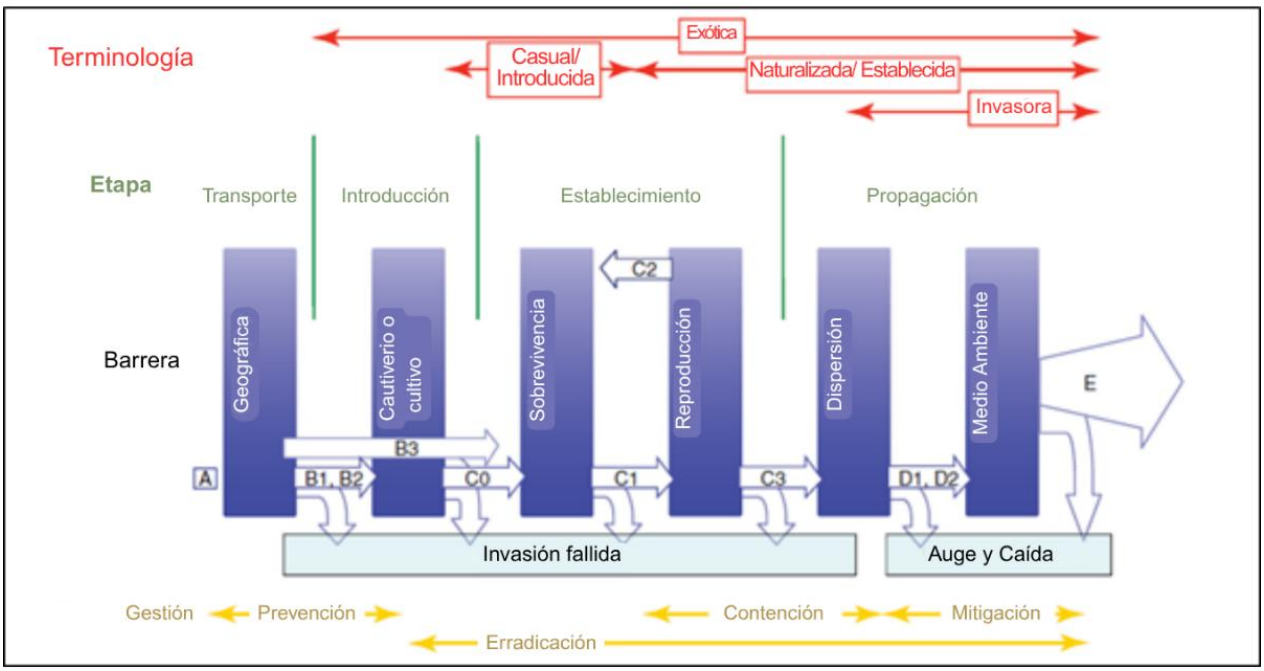


Figura 1. Impulsores de deterioro en ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos. Fuente: IPBES, 2019.

De acuerdo con Blackburn et al. (2011), el proceso de invasión de cualquier taxón en cualquier región del mundo puede dividirse en una serie de etapas, en cada una de estas hay barreras que deben superarse para que una especie o población pase a la siguiente, estos autores generaron un modelo que esquematiza el proceso, e incluyen la terminología de la etapa en la que se encuentran las especies y los elementos de gestión e intervención (Fig. 2).



Categoría	Definición
A	No se transporta más allá de los límites del área de distribución nativa.
B1	Individuos transportados más allá de los límites del área de distribución nativa, en cautiverio o cuarentena (es decir, individuos provistos de condiciones adecuadas para ellos, pero con medidas explícitas de contención).
B2	Individuos transportados más allá de los límites del área de distribución nativa, en cultivo (es decir, individuos provistos de condiciones adecuadas para ellos, pero las medidas explícitas para evitar la dispersión son limitadas en el mejor de los casos).
B3	Individuos transportados más allá de los límites del área de distribución nativa y liberados directamente en un entorno nuevo.
C0	Individuos liberados en el medio silvestre (es decir, fuera del cautiverio o del cultivo) en el lugar donde fueron introducidos, pero incapaces de sobrevivir durante un periodo significativo.
C1	Individuos que sobreviven en el medio silvestre (es decir, fuera del cautiverio o del cultivo) en el lugar donde se introdujo, sin reproducción.
C2	Individuos que sobreviven en el medio silvestre en el lugar donde fueron introducidos, se reproducen, pero la población no es autosuficiente.
C3	Individuos que sobreviven en el medio silvestre en el lugar donde fueron introducidos, se reproducen y la población es autosuficiente.
D1	Población autosuficiente en el medio silvestre, con individuos que sobreviven a una distancia considerable del punto de introducción original.
D2	Población autosostenible en el medio silvestre, con individuos que sobreviven y se reproducen a una distancia considerable del punto de introducción original.
E	Especies totalmente invasivas, con individuos que se dispersan, sobreviven y se reproducen en múltiples sitios a través de un mayor o menor espectro de hábitats y extensión de ocurrencia.

Figura 2. Modelo del proceso de invasión biológica (Las flechas del bloque sin rellenar describen el movimiento de las especies a lo largo de la invasión con respecto a las barreras, y los códigos alfanuméricos asociados a las flechas se refieren a la categorización de las especies con respecto al proceso de invasión). Fuente: Blackburn et al. 2011.

La biología de las invasiones es tan compleja que desde su aparición a mediados del siglo XX se han generado diversas hipótesis sobre los procesos e interacciones, algunas compiten, otras se complementan y en algunos casos se contradicen (Fig. 3; Tabla 1). Para explicar esta diversidad y determinar la estructura teórica actual, Enders et al. (2020) desarrollaron y aplicaron un enfoque Delphi (proceso de consenso prospectivo donde participa un grupo de expertos que responden, de manera anónima y sin interactuar entre ellos, a una serie sucesiva de cuestiones referidas al futuro) para crear una red de 39 hipótesis de invasión (Tabla 1).

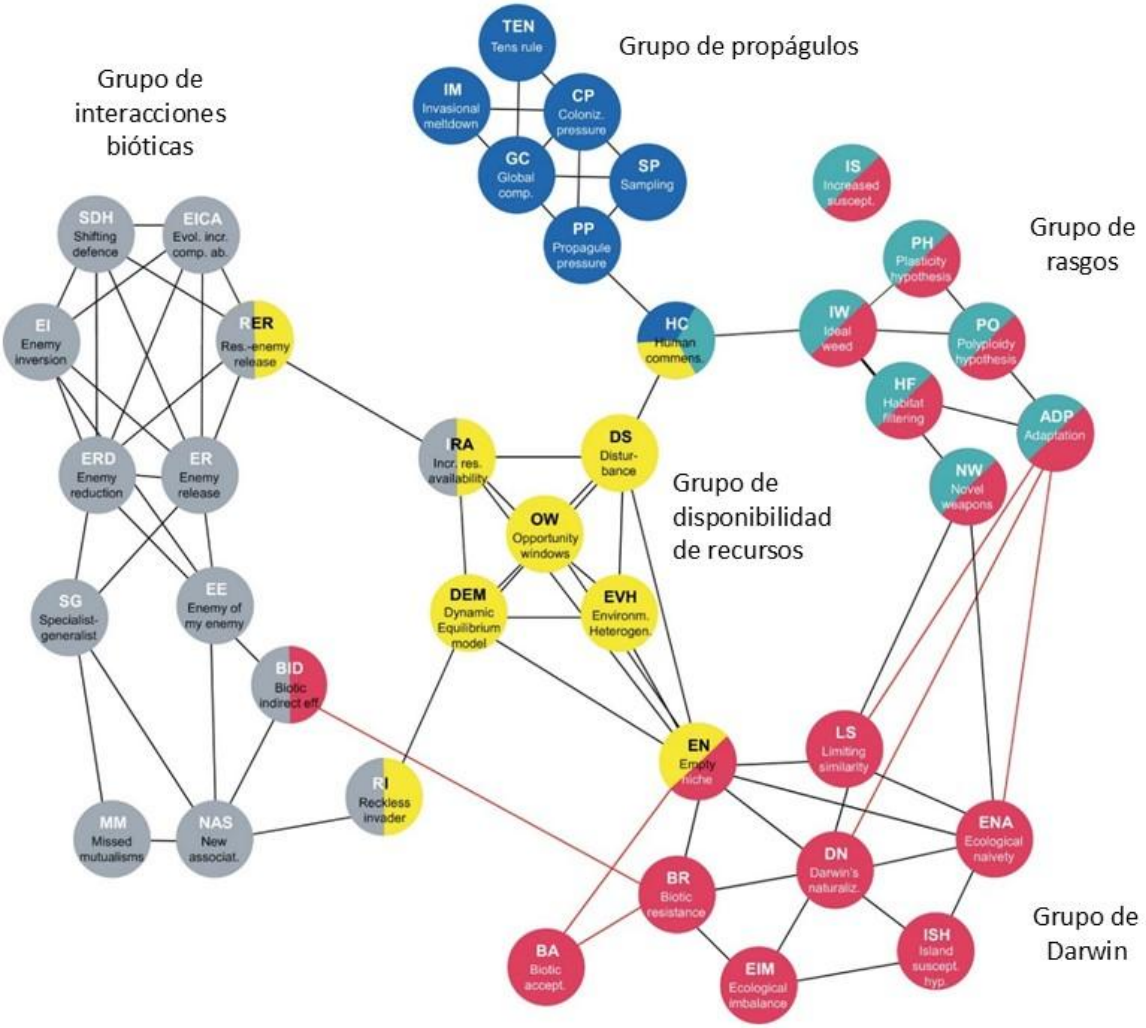


Figura 3. Red de hipótesis en biología de la invasión. Calculado con el algoritmo de agrupamiento de enlaces locales (claves de acuerdo con la Tabla 1). Los colores indican la afinidad de las hipótesis a los grupos. La representación se simplifica en el sentido de que, por ejemplo, el nicho vacío del nodo (EN) parece estar dividido en dos partes iguales, mientras que en realidad pertenece un poco más al clúster de Darwin que al clúster de disponibilidad de recursos. Las hipótesis similares se conectan con líneas negras, mientras que las hipótesis contradictorias se conectan con líneas rojas.
Fuente: Enders et al. 2020.

Tabla 1. Lista de hipótesis de invasiones biológicas (Enders et al. 2020).

Clave	Hipótesis	Descripción
ADP	Adaptación	El éxito de la invasión de especies no autóctonas depende de la adaptación a las condiciones después de la introducción. Las especies no nativas que están relacionadas con las especies nativas tienen más éxito en esta adaptación.
BA	Aceptación biótica	Los ecosistemas tienden a acomodar el establecimiento y coexistencia de especies no autóctonas a pesar de la presencia y abundancia de especies nativas.
BID	Efectos indirectos bióticos	Las especies no autóctonas se benefician de diferentes efectos indirectos provocados por las especies autóctonas.
BR	Resistencia biótica	Un ecosistema con alta biodiversidad es más resistente contra especies no nativas que un ecosistema con menor biodiversidad.
CP	Presión de colonización	Se define como el número de especies introducidas en un lugar determinado. A medida que aumenta la presión de colonización, se prevé que aumente la cantidad de especies no nativas invasoras o establecidas en ese lugar.
DEM	Modelo de equilibrio dinámico	El establecimiento de una especie no autóctona depende de las fluctuaciones naturales del ecosistema, que influyen en el nivel de competencia de las especies locales.
DN	La naturalización de Darwin	El éxito de invasión de especies no nativas es mayor en áreas que son pobres en especies estrechamente relacionadas que en áreas que son ricas en especies estrechamente relacionadas.
DS	Disturbio	El éxito de invasión de especies no nativas es mayor en ecosistemas altamente perturbados que en ecosistemas relativamente no perturbados.
EIM	Desequilibrio ecológico	Los patrones de invasión son una función de las características evolutivas tanto de la región receptora como de las regiones donantes potenciales. Las especies de regiones con linajes evolutivos muy diversos tienen más probabilidades de convertirse en invasores exitosos en regiones menos diversas.
ENA	Ingenuidad ecológica	El impacto de una especie no nativa sobre la biodiversidad está influenciado por la experiencia evolutiva de la comunidad invadida. Por lo tanto, los mayores impactos son causados por especies (p. ej., depredadores, herbívoros, patógenos) que invaden sistemas donde no existen especies filogenética o funcionalmente similares.
EE	Acumulación de patógenos locales	Los enemigos introducidos de una especie no nativa son menos dañinos para la especie no nativa que para la nativa.
EI	Inversión enemiga	Los enemigos introducidos de especies no nativas son menos dañinos para ellas en el rango exótico que en el nativo, debido a las condiciones bióticas y abióticas alteradas.
EICA	Evolución del aumento de la capacidad competitiva	Después de haber sido liberadas de los enemigos naturales, las especies no nativas destinarán más energía al crecimiento y/o reproducción (esta reasignación se debe a cambios genéticos), lo que las hace más competitivas.
EN	Nicho vacío	El éxito de invasión de especies no nativas aumenta con la disponibilidad de nichos vacíos en el rango exótico.
ER	Liberación de enemigos	La ausencia de enemigos en el rango exótico es una causa del éxito de la invasión.
ERD	Reducción de enemigos	La liberación parcial de enemigos en el rango exótico es una de las causas del éxito de la invasión.
EVH	Heterogeneidad ambiental	El éxito de invasión de especies no nativas es alto si el área de distribución exótica tiene un ambiente altamente heterogéneo.

GC	Competencia global	Un gran número de diferentes especies no autóctonas tiene más éxito que un pequeño número.
HC	Comensalismo humano	Las especies que viven muy cerca de los humanos tienen más éxito en la invasión de nuevas áreas que otras especies.
HF	Filtrado de hábitat	El éxito de invasión de especies no autóctonas en la nueva área es alto si se adaptan previamente a esta área.
IM	Fusión invasiva	La presencia de especies no autóctonas en un ecosistema facilita la invasión de especies adicionales, aumentando su probabilidad de supervivencia o impacto ecológico.
IRA	Mayor disponibilidad de recursos	El éxito de invasión de especies no autóctonas aumenta con la disponibilidad de recursos.
IS	Mayor susceptibilidad	Si una especie no autóctona tiene una diversidad genética menor que la especie autóctona, habrá una baja probabilidad de que la especie no autóctona se establezca.
ISH	Susceptibilidad de la isla	Las especies no autóctonas tienen más probabilidades de establecerse y tener un mayor impacto ecológico en las islas que en los continentes.
IW	Maleza ideal	El éxito de la invasión de una especie no nativa depende de sus características específicas (ej. historia de vida).
LS	Similitudes limitantes	El éxito de invasión de las especies no nativas es alto si difieren mucho de las especies nativas y bajo si son similares a las especies nativas.
MM	Mutualismos perdidos	En su rango exótico, las especies no autóctonas sufren la falta de mutualistas.
NAS	Nuevas asociaciones	Las nuevas relaciones entre las especies no autóctonas y las autóctonas pueden influir positiva o negativamente en el establecimiento de las especies no autóctonas.
NW	Armas novedosas	En el rango exótico, las especies no nativas pueden tener una ventaja competitiva contra las especies nativas porque poseen un arma novedosa, es decir, un rasgo que es nuevo para la comunidad residente de especies nativas y, por lo tanto, las afecta negativamente.
OW	Ventanas de oportunidad	El éxito de la invasión de especies alóctonas aumenta con la disponibilidad de nichos vacíos en el área de distribución exótica, y la disponibilidad de estos nichos fluctúa espacial y temporalmente.
PH	Plasticidad	Las especies invasoras son fenotípicamente más plásticas que las no invasoras o las nativas.
PO	Poliploidía	Se predice que los organismos poliploides, particularmente las plantas, tendrán un mayor éxito de invasión, ya que la poliploidía puede conducir a una mayor aptitud durante la fase de establecimiento y/o un mayor potencial para la adaptación posterior.
PP	Presión de propágulos	Una alta presión de propágulos (una medida compuesta que consiste en el número de individuos introducidos por evento de introducción y la frecuencia de los eventos de introducción) es una causa del éxito de la invasión.
RER	Liberación de recurso-enemigo	La especie no autóctona se libera de sus enemigos naturales y puede gastar más energía en su reproducción, y el éxito de la invasión aumenta con la disponibilidad de recursos.
RI	Invasor temerario	Una población de una especie no nativa que tiene mucho éxito poco después de su introducción puede disminuir o desaparecer con el tiempo debido a diferentes razones (como la competencia con otras especies introducidas o la adaptación de las especies nativas).

SDH	Defensa cambiante	Después de haber sido liberado de enemigos naturales especializados, las especies no nativas asignarán más energía a defensas baratas (de bajo costo energético) contra enemigos generalistas y menos energía a defensas costosas contra enemigos especializados (esta reasignación se debe a cambios genéticos); la energía obtenida de esta manera se invertirá en el crecimiento y/o la reproducción, lo que hace que las especies no nativas sean más competitivas.
SG	Especialista-generalista	Las especies no autóctonas tienen más éxito en una nueva región si los depredadores locales son especialistas y los mutualistas locales son generalistas.
SP	Muestra	Un gran número de especies alóctonas diferentes tiene más probabilidades de convertirse en invasoras que un número reducido, debido a la competencia interespecífica. Además, la identidad de las especies locales es más importante que la riqueza en cuanto a la invasión de una zona.
TEN	Regla de las decenas	Aproximadamente el 10% de las especies realizan con éxito pasos consecutivos del proceso de invasión.

La predicción de los impactos sobre las especies nativas depende de entender el potencial de invasión de las EEI y de la invasibilidad del ecosistema receptor (Hui et al. 2016). La calidad y cantidad de los impactos dependen de la abundancia de las EEI, sus rasgos particulares (tasas de consumo o de uso de recursos) y de las características de las especies de la comunidad invadida (D'Antonio et al. 2001). Mientras que sólo un pequeño porcentaje de los organismos transportados a los nuevos entornos se convierten en invasoras, sus impactos negativos en el bienestar humano pueden ser sustanciales (SCDB, 2009).

Las vías por las cuales se introducen las EEI son múltiples, la globalización y el incremento del transporte —aéreo y acuático— han propiciado la entrada masiva, intencional o accidental, de especies no nativas a los ecosistemas (IPBES, 2019), aunque no se pueden eludir las vías de dispersión natural, como los ríos, cuyo movimiento entre cuencas es libre; las corrientes marinas que facilitan el movimiento sin control de miles de especies, o las aves en el caso de la vía aérea (Aguirre-Muñoz et al. 2009).

Por otra parte, el aumento en la movilidad de las personas y de los productos incrementa la probabilidad de dispersión de especies en todo el planeta, por ejemplo: el ganado, animales domésticos, de vivero, y los productos de la agricultura y la silvicultura, incluso el agua de lastre en los barcos. La identificación de la vía y el vector que transporta una especie exótica es un elemento importante en el proceso de prevención, si el vector puede ser interceptado, la invasión se puede prevenir [(la mayoría de los vectores son mecanismos de transporte de asistencia humana que mueven a los organismos a través de barreras naturales); SCDB, 2009].

En cuanto a la gestión, las evaluaciones de los impactos de las EEI y sus tendencias son esenciales para garantizar que los recursos destinados a su atención se prioricen en las especies más problemáticas, las áreas amenazadas y los procesos ecosistémicos afectados (Hulme et al. 2008, 2013; Magliozzi et al. 2025). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (**UICN**) establece los siguientes mecanismos de impacto: competencia, depredación, hibridación, transmisión de enfermedades, parasitismo, envenenamiento/toxicidad, bioincrustación u otra perturbación física directa, pastoreo o alimentación herbívora, impacto sobre el ecosistema (químico, físico o estructural), e impactos indirectos a través de interacciones con otras especies (UICN, 2023). De acuerdo con Kumschick et al. (2014), cuanto mayor sea el número de individuos o biomasa de la EEI, más recursos utilizarán y mayor será el alcance y la intensidad de sus interacciones con las especies autóctonas.

El Convenio sobre Diversidad Biológica (**CDB**) propone tres pasos sucesivos en la gestión de las EEI: prevención, erradicación y, si ninguna de las otras etapas es posible, el control (SCDB, 2005). Estos pasos sucesivos constituyen las mejores prácticas de gestión de las EEI, que a su vez se complementan con la mitigación de impactos y la restauración como formas asociadas de gestión (Robertson et al. 2020). Las respuestas de gestión reflejan las etapas secuenciales del proceso de invasión: introducción, establecimiento, propagación e impacto (Wittenberg & Cock, 2001; Fig. 4). El objetivo de estas acciones es la conservación o restablecimiento de la biodiversidad nativa y sus funciones (Hulme, 2006).

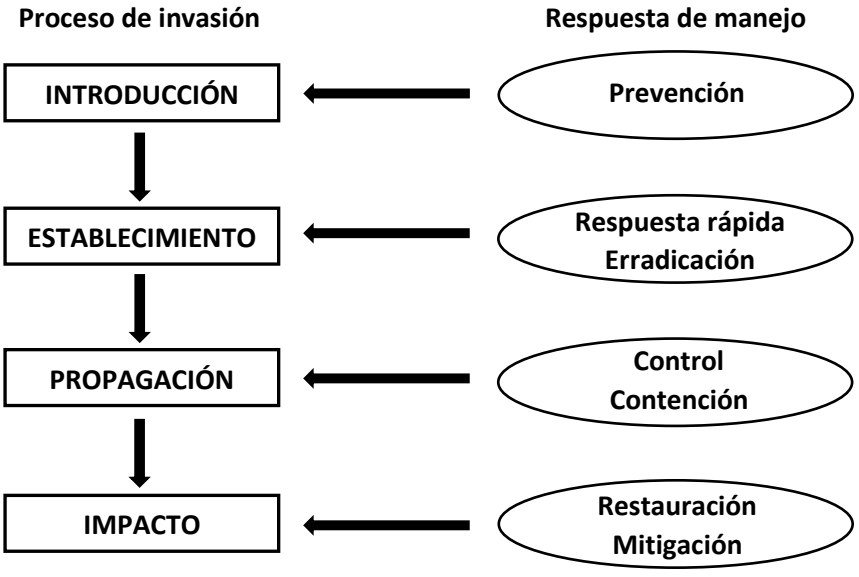


Figura 4. Vinculación entre las fases del proceso de invasión y las acciones de gestión.
Fuente: (Wittenberg & Cock, 2001).

Por otra parte, las invasiones biológicas son responsables de enormes pérdidas económicas, sus impactos pueden significar elevados costos, tanto por el daño directo como por el gasto invertido en su control o erradicación (SCDB, 2009). En el mundo se estima un costo de US$1.4 millones de billones anualmente (Pimentel et al. 2005), tan solo las invasiones de insectos cuestan US$76,000 millones al año (Bradshaw et al. 2016), y para las plantas acuáticas y semiacuáticas US$32,000 millones (1975 – 2000; Macêdo et al. 2024). En el caso de las ANP, el costo se ha estimado en US$22,240 millones (1975 – 2020; Moodley et al. 2022; Fig. 5).

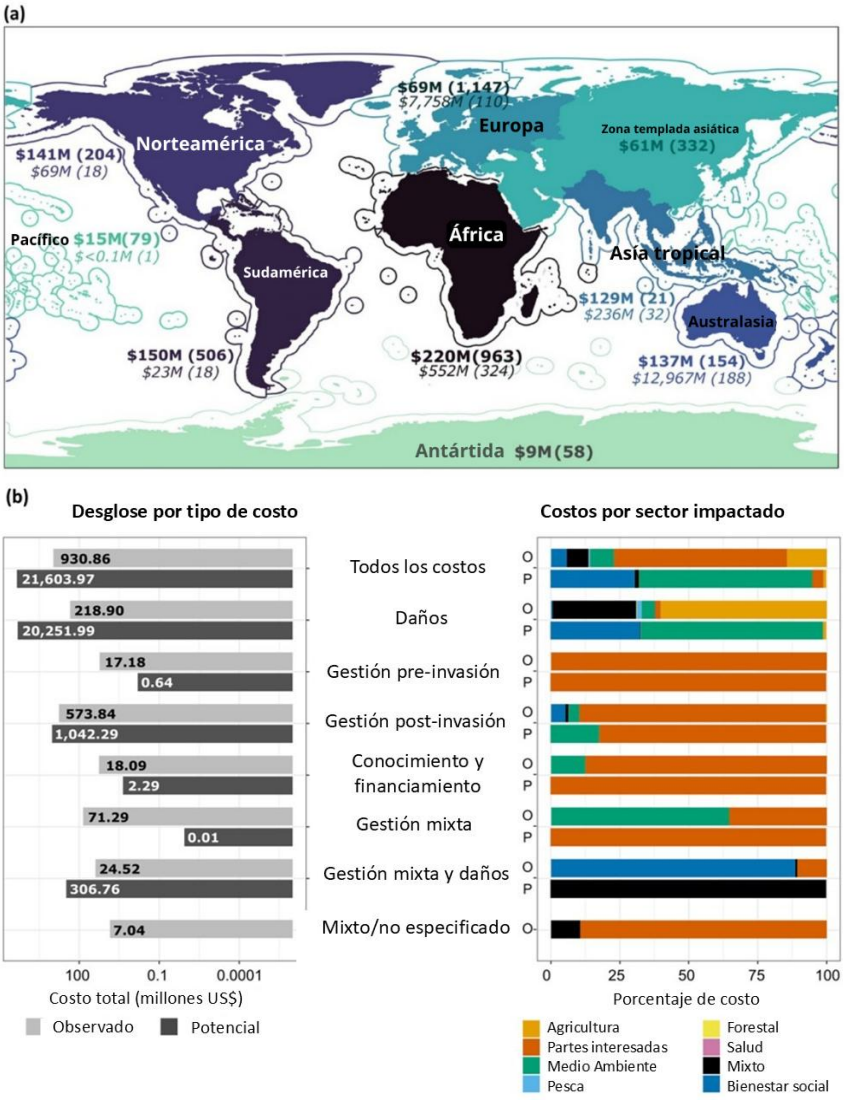


Figura 5. Costos de la atención a EEI en ANP del mundo: a) Los colores representan los continentes junto con sus territorios marinos asociados. Los costos económicos totales observados se muestran en negrita, los costos potenciales en cursiva y el número entre paréntesis corresponde al número de registros del invacost database 4.0; b) Para el sector afectado, las barras superiores corresponden a los costos observados (O) y las barras inferiores a los costos potenciales (P).
Fuente: Moodley et al. 2022.

De acuerdo con un estudio de Cuthbert et al. (2021), en el que analizaron los costos de las 10 especies económicamente más dañinas de la lista de las 100 especies más invasivas del mundo entre 1960-2020, el costo ascendió a US$13.6 billones. Las pérdidas ecológicas anuales producidas por plagas introducidas en los Estados Unidos, Reino Unido, Australia, Sudáfrica, India y Brasil se han calculado en más de US$100 millones (SCDB, 2009). En Estados Unidos, el costo anual por el control de daños de EEI en general se estima en más de US$138 mil millones (Pimentel et al. 2001; 2005).

Las EEI también amenazan con intensificar la pobreza y reducir el desarrollo sostenible a través de su impacto en las actividades productivas (SCDB, 2009). En México, el costo por invasiones biológicas se ha estimado en US$5.33 mil millones durante el periodo 1992-2019, el sector de la agricultura tiene el mayor costo (US$1.01 mil millones; MXN$19.1 mil millones), seguido por la pesca (US$517.24 millones; MXN$9.79 mil millones), mientras que la mayoría de los costos impactan simultáneamente otros sectores (Rico-Sánchez et al. 2021).

I.2 Áreas naturales protegidas y servicios ecosistémicos

Una de las mayores afectaciones de las EEI se da en ANP, por lo que la inversión de recursos de manera estratégica es fundamental (Hulme et al. 2025; Langhammer et al. 2024). Las ANP son espacios dedicados a la conservación en función de sus valores, sus características y de los servicios ecosistémicos que se obtienen para el bienestar de las personas. De acuerdo con el Grupo Internacional de Especialistas de Especies Invasoras de la UICN, todas las regiones del mundo reportan la presencia significativa de EEI como un problema para la conservación de las ANP, en América Latina las EEI constituyen la principal amenaza para la conservación de la biodiversidad en las ANP (Schüttler y Karez, 2009).

Una ANP es un espacio geográfico claramente definido, reconocido y gestionado mediante instrumentos legales u otros tipos de medios eficaces para alcanzar la conservación de la naturaleza a largo plazo, de sus servicios ecosistémicos y de sus valores culturales asociados (Dudley, 2008). En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, define a las ANP como “las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas” (DOF, 1996).

Las ANP representan uno de los principales instrumentos para la conservación del capital natural, siendo “la piedra angular” de gran parte de las estrategias nacionales e internacionales de conservación de los recursos naturales, las ANP están destinadas a proteger ecosistemas, actuar como refugios para las especies y mantener el equilibrio de los procesos ecológicos (Dudley, 2008). En México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas (**CONANP**), es la institución a nivel federal encargada de administrar estos espacios naturales y de garantizar la conservación de 232 ANP distribuidas en las siguientes categorías de protección: Reserva de la Biosfera, Parque Nacional, Área de Protección de Flora y Fauna, Área de Protección de Recursos Naturales, Monumento Natural y Santuario, representando una superficie de 98,000,719 ha, de las cuales el 23.56% corresponden al territorio terrestre incluyendo aguas continentales, y el 76.44% a la zona marina (CONANP, 2026).

Gracias a las complejas interacciones biológicas, físicas y químicas, los ecosistemas de las ANP proporcionan servicios de gran importancia para el desarrollo y la sustentabilidad (Daily, 1997). Los términos “servicios ecosistémicos” y “servicios ambientales” pueden ser utilizados indistintamente, aunque difieren en su contexto. Cuando usamos el primero queremos enfatizar los procesos de los ecosistemas, es decir el conjunto de organismos, condiciones abióticas y sus interacciones, que permiten que los seres humanos se vean beneficiados. En cambio, el término “servicios ambientales” se ha utilizado principalmente entre tomadores de decisiones y otorga más peso al concepto de “medio ambiente” en el cual no se explicitan las interacciones necesarias para proveer dichos servicios (Balbanera y Cotler, 2009).

Los servicios ecosistémicos son los procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies sostienen y mantienen la vida humana (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esta definición pone énfasis en las condiciones biofísicas cambiantes dentro de los ecosistemas, así como en las interacciones (procesos) entre éstas y sus componentes bióticos (especies). Boyd & Banzhaf (2007), mencionan que son componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano, mientras que Fisher et al. (2009) hace referencia a que son los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar. Por lo tanto, los servicios ecosistémicos son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas (Díaz et al. 2015), su flujo determina el bienestar humano (Fig. 6), y por lo tanto las condiciones de las sociedades humanas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

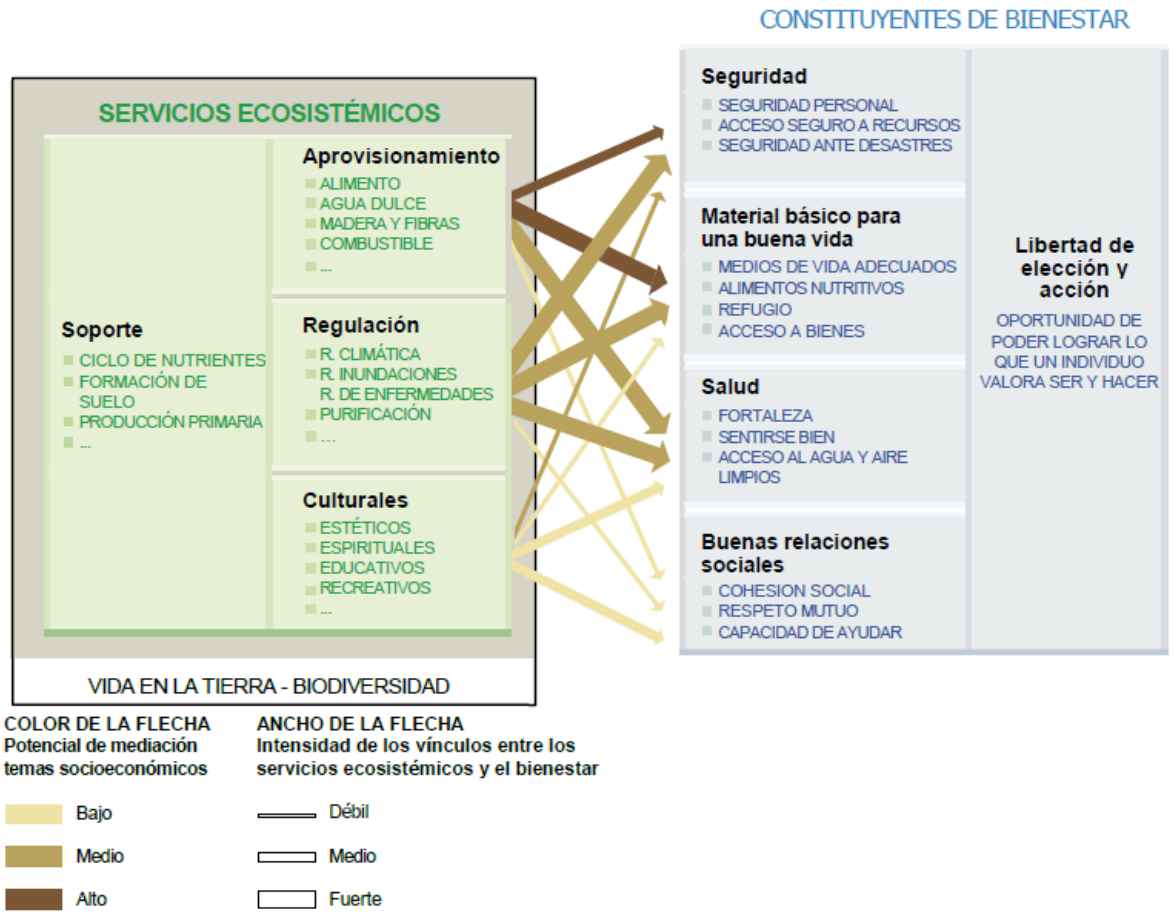


Figura 6. Vínculos entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio divide a los servicios ecosistémicos en cuatro categorías: a) **servicios de aprovisionamiento**, o el suministro de bienes con beneficio directo para las personas, y a menudo con un claro valor monetario, tal como la madera de los bosques, las plantas medicinales y los peces de los océanos, ríos y lagos; b) **servicios de regulación**, el abanico de funciones realizadas por los ecosistemas, que son a menudo de gran valor pero que generalmente no proporcionan un valor monetario en los mercados convencionales. Incluyen la regulación del clima mediante el almacenamiento de carbono y el control de la precipitación local, la eliminación de los contaminantes filtrando el aire y el agua, y la protección frente a desastres como las tormentas costeras; c) **servicios culturales**, no proporcionan beneficios materiales directos, pero contribuyen a ampliar las necesidades y deseos de la sociedad, y, por tanto, la buena disposición de las personas a pagar por la conservación. Incluyen el valor espiritual ligado a ecosistemas concretos, como los bosques sagrados, y la belleza estética de paisajes o zonas costeras que atraen a los turistas y, d) **servicios de sustento**, sin beneficio directo para las

personas, pero esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas y por tanto indirectamente responsables del resto de los servicios, un par de ejemplos son la formación de suelo y los procesos de crecimiento de las plantas (Fig. 7).

Figura 7. Clasificación de los servicios de los ecosistemas.
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005).

La vinculación entre la perdida de los servicios ecosistémicos por la presencia de EEI radica en que estas especies alteran la producción y la calidad de los servicios. A medida que ha aumentado la comprensión de la biología de la invasión, también lo ha hecho el reconocimiento de estos mecanismos, los cuales están interrelacionados con la estructura y función de los ecosistemas (Charles & Dukes, 2007).

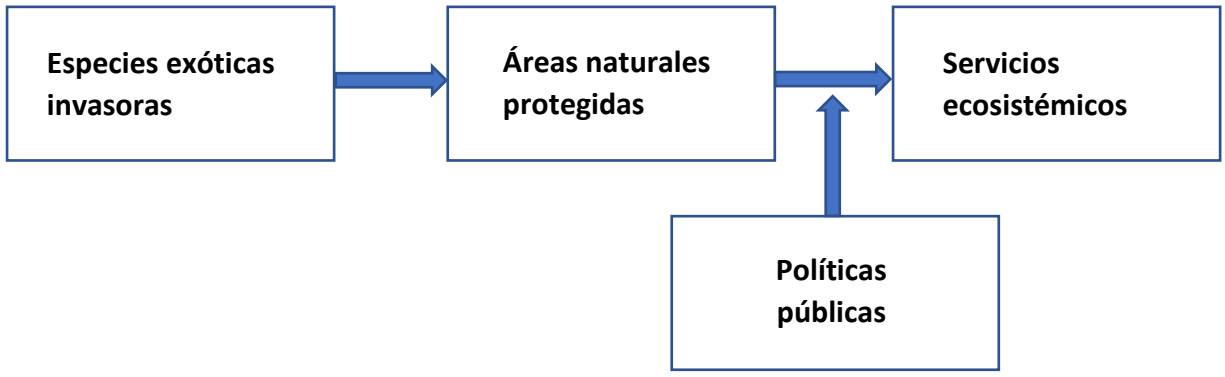
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las especies exóticas invasoras que se encuentran en las áreas naturales protegidas de competencia federal en la península de Yucatán y zona marina circundante, y que servicios ecosistémicos se ven afectados por su presencia?

HIPÓTESIS

Si se realiza un análisis para determinar la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de competencia federal en la península de Yucatán, Caribe mexicano y sureste del Golfo de México, y se documenta su impacto, entonces se podrá contar con un diagnóstico de su afectación a los servicios ecosistémicos de las zonas terrestres, costeras, marinas e insulares de la región, y por la tanto se podrán priorizar las acciones de atención a las especies exóticas invasoras de mayor riesgo en cada área natural protegida.

RELACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO



- Las especies exóticas invasoras que están afectando a los ecosistemas y la biodiversidad de las áreas naturales protegidas representan la **variable independiente**, y se analizaron para elaborar un diagnóstico de presencia – ausencia en la región.

- Las áreas naturales protegidas representan la **variable dependiente**, y se estudiaron para determinar la vulnerabilidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, costeros, marinos e insulares de la región por la presencia de especies exóticas invasoras.

- Las políticas públicas en materia de especies exóticas invasoras representan la **variable interviniente,** y se analizaron para contextualizar las acciones de atención urgente en las áreas naturales protegidas de la región.

- Los servicios ecosistémicos que generan las áreas naturales protegidas representan la **variable consecuente,** y se analizaron para determinar su afectación por la presencia de especies exóticas invasoras.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de las especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de competencia federal de la península de Yucatán, Caribe mexicano y sureste del Golfo de México, y elaborar una propuesta de acciones de atención prioritaria para las especies de mayor riesgo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un diagnóstico de la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de competencia federal de la península de Yucatán y zona marina adyacente.

- Analizar el impacto de las especies exóticas invasoras identificadas en las áreas naturales protegidas sobre los servicios ecosistémicos.

- Elaborar una propuesta de acciones prioritarias para la atención de especies exóticas invasoras de mayor riesgo en las áreas naturales protegidas de la región.

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

La península de Yucatán se sitúa en el extremo oriental de la República Mexicana, en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (138,000 km^2), y junto con las regiones septentrionales de Belice y Guatemala forman la Provincia Biótica Península de Yucatán (Pérez-Sarabia et al. 2017), esta región presenta una geología, geomorfología, paisaje y biota comunes y conforma el segundo macizo forestal tropical más grande del continente americano después de la selva amazónica (Ellis et al. 2017).

La evolución geológica y tectónica de la península está estrechamente ligada a la evolución del Golfo de México y del mar Caribe (Revolledo, 2010), la península de Yucatán se originó por movimientos tectónicos que ocasionaron el levantamiento de una gran plataforma caliza de origen marino durante el Oligoceno. Toda la península se puede concebir como un área de rocas fundamentalmente calizas con una geología cárstica (terreno calcáreo altamente fracturado) que originó un sistema hidrológico subterráneo (cavernas y cenotes) con cientos de metros de profundidad y decenas de kilómetros de longitud. (Lugo-Hubp et al. 1992).

Las elevaciones son en general menores a 350 msnm (usualmente por debajo de 250 msnm), presenta una hidrografía superficial escasa (pocos ríos en la porción meridional), con temperaturas medias anuales entre 25 y 28ºc, y un gradiente de precipitaciones que disminuye desde el sureste (1,221 a 1,261 mm anuales) hacia el noroeste (572 a 767 mm anuales) y que se refleja en cambios importantes en la cobertura vegetal y diversidad florística (Carnevali et al. 2010). Esta área está conformada por diversas comunidades vegetales, entre ellas: a) vegetación costera; b) manglar; c) selva baja caducifolia; d) selva mediana subcaducifolia; e) selva mediana subperennifolia; f) selva baja inundable; g) sabanas; h) petenes; i) comunidades de hidrófilas y j) vegetación secundaria (Flores y Espejel, 1994).

La península de Yucatán presenta dos estaciones climáticas: secas (noviembre-mayo), y lluvias (junio-octubre), y es considerada una región biogeográfica debido a que comparte una gran diversidad de especies (Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990). El margen continental es muy complejo, tiene una pendiente suave que posteriormente desciende hasta alcanzar una profundidad mayor a los 4,500 metros, toda la plataforma de Yucatán forma parte de la placa tectónica del Caribe (CONANP, 2019; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990).

La topografía del Caribe mexicano se caracteriza por dos canales paralelos a la línea de costa: uno es el Canal de Cozumel que tiene ~400 metros de profundidad y 18 kilómetros de longitud, y el otro ubicado al este de la isla de Cozumel, que tiene ~1,000 metros de profundidad. Hacia el este de ambos canales se encuentra un umbral de 2,040 metros de profundidad que forma el Canal de Yucatán. Este umbral es la única conexión entre el mar Caribe y el Golfo de México (Athié et al. 2011).

La corriente del Caribe que va de sur a norte en forma paralela a la línea de costa frente al estado de Quintana Roo, está caracterizada por aguas cálidas y salinas, que, al pasar por el canal de Yucatán, recibe el nombre de corriente de Yucatán (CONANP, 2019). Es precisamente en el canal de Yucatán donde se registra una ascensión de aguas profundas debido al cambio en la dinámica de circulación trayendo consigo los sedimentos del fondo y aflorando finalmente sobre la extensa plataforma continental del norte y occidente de la Península de Yucatán (Morales, 2004; CONANP, 2019).

El Caribe mexicano concentra la porción norte y más extensa del Sistema Arrecifal Mesoamericano, que se extiende sobre aproximadamente 1,000 km desde la frontera con Belice hasta Cabo Catoche, en esta región existe una conectividad ecológica que sustenta la productividad y el funcionamiento de toda la zona marina (Perera-Valderrama et al. 2020). Los datos de batimetría destacan una compleja topografía béntica propia de las áreas ricas en especies, favoreciendo así la presencia de una mayor cantidad de nichos disponibles y una mayor diversidad de organismos (CONANP, 2019).

Al norte de la isla Holbox, en el extremo norte del estado de Quintana Roo y al norte de los estados de Campeche y Yucatán se encuentra el Golfo de México, considerado un cuerpo de agua marino semicerrado de la vertiente atlántica norteamericana, protegido por el Arco del Caribe (la isla de Cuba y el archipiélago de las Bahamas) y limitado parcialmente por las penínsulas de Florida y Yucatán. Presenta una amplia variación de climas, desde los cálido-húmedos hasta los cálido-semisecos. Se caracteriza por tener una plataforma continental muy amplia, con una profundidad somera que varía de los 15 a los 50 m, aumentando de 200 a 300 m conforme avanza hacia el talud continental. Esta amplia plataforma de aguas someras, en su parte centro-sur es conocida como la sonda de Campeche (SCINGTDZMM, 2014). El fondo de la sonda está constituido por una capa delgada de sedimento no consolidado del Holoceno reciente que reposa sobre calizas bien litificadas (CONANP, 2006).

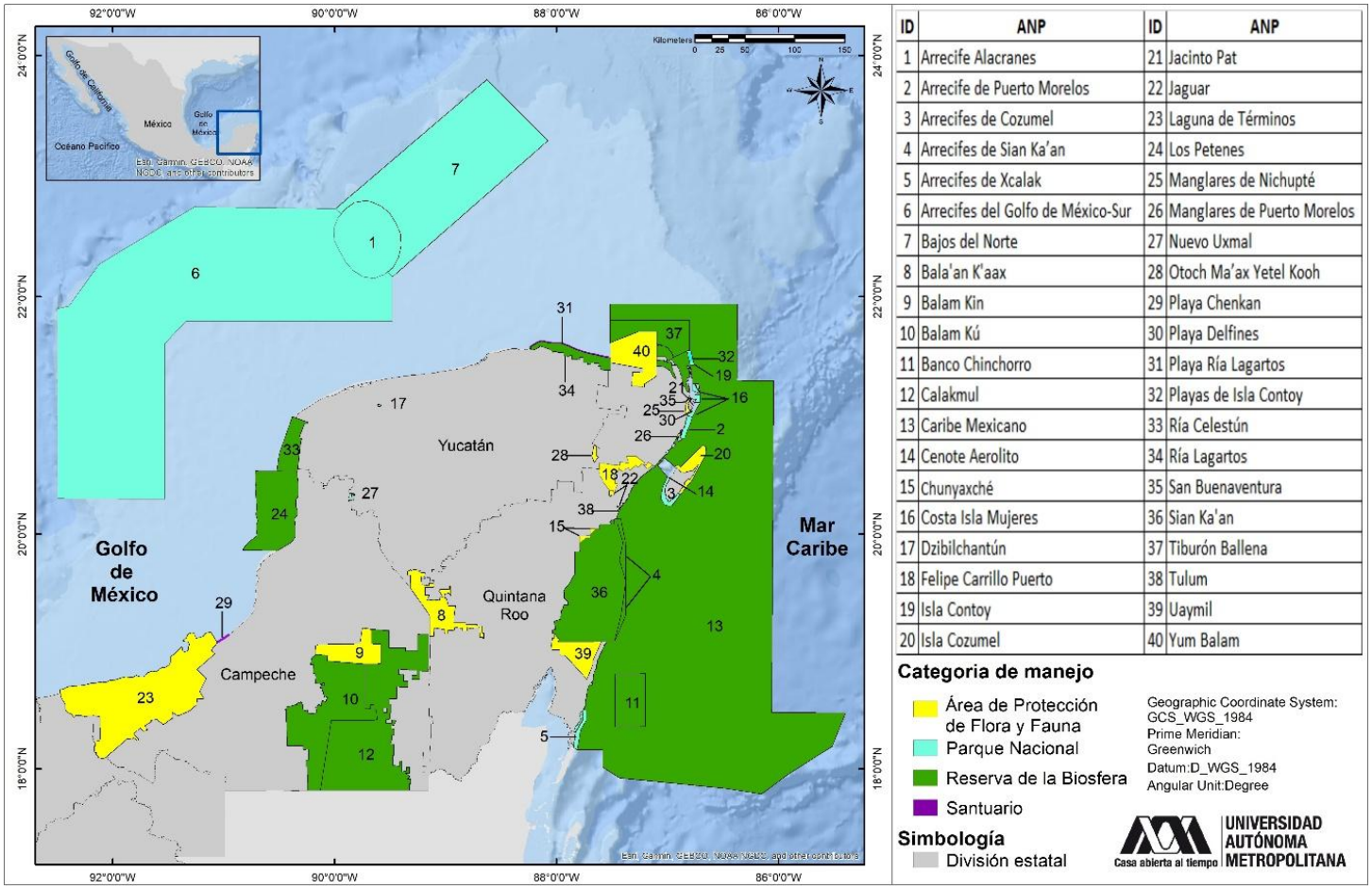
La productividad natural del Golfo de México depende de las interacciones de procesos terrestres y marinos que convergen en la zona costera, como sucede en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos donde se lleva a cabo la mayor descarga de ríos hacía el Golfo de México. Las lagunas costeras, estuarios y ecosistemas asociados al Golfo sirven como protección, reproducción y áreas para la crianza de recursos pesqueros estuarino-dependientes y son importantes tanto por su biodiversidad, como por las actividades socioeconómicas que sostienen. A nivel nacional, estas pesquerías proveen aproximadamente el 45% de la pesca de camarón, 90% de producción de ostiones, y 40% de capturas comerciales de peces (Day et al. 2004). Mar adentro se localiza el Parque Nacional Arrecife Alacranes, una de las ANP con los sistemas arrecifales e islas más importantes del Golfo de México, esta circundado por aguas tropicales poco profundas y es fuente de beneficios económicos derivados del sector pesquero y turístico (CONANP, 2006).

En el área de estudio que contiene superficie terrestre, costera, marina e insular, se encuentran representadas diversas regiones que conservan importantes recursos naturales y ecosistemas, tal es el caso de las **provincias biogeográficas** Yucatán y Petén (Conabio, 1997); las **regiones hidrológicas** 90 “Laguna de Términos”, 94 “Cabecera del río Candelaria”, 95 “Sur de Campeche”, 96 “Calakmul”, 97 “Cabecera del río Champotón”, 98 “Boca del río Champotón”, 99 “Laguna de Chichancanab”, 100 “Cono sur - Peto”, 101 “Zona citrícola”, 102 “Anillo de cenotes”, 103 “Contoy”, 104 “Isla Mujeres”, 105 “Corredor Cancún – Tulum”, 106 “Cozumel”, 107 “Cenotes Tulum - Cobá”, 108 “Sian Ka’an”, 109 “Humedales y lagunas de la bahía de Chetumal” y 110 “Río hondo” (Arriaga et al. 1998a); las **regiones marinas prioritarias** 53 “Laguna de Términos”, 57 “Escarpe Campeche”, 58 “Arrecife Alacranes”, 59 “Sonda de Campeche”, 60 “Champotón – El Palmar”, 61 “Sisal - Dzilam”, 62 “Dzilam - Contoy”, 63 “Punta Maroma - Nizuc”, 64 “Tulum – Xpuha”, 65 “Sian Ka’an”, 66 “Bahía Chetumal”, 67 “Xcalak - Mahahual”, 68 “Arrow Smith”, 69 “Cozumel” y 70 “Banco Chinchorro” (Arriaga et al. 1998b); y las **regiones terrestres prioritarias** 145 “Petenes – Ría Celestún”, 146 “Dzilam – Ría Lagartos – Yum Balam”, 147 “Sian Ka’an – Uaymil - Xcalak”, 148 “Río hondo”, 149 “Zonas forestales de Quintana Roo”, 150 “Sur del punto put” y 151 ”Silvituc - Calakmul” (Arriaga et al. 2000).

Asimismo, en la región se encuentran 40 ANP de competencia federal con una importante conectividad y estado de conservación, que suman una superficie de 15,331,682.21 hectáreas (Fig. 8; Tabla 2), las cuales cuentan con diversos reconocimientos internacionales (Tabla 3) por su elevado valor biológico y su amplia diversidad de ecosistemas, entre los que destacan: las

selvas tropicales (que forman parte de la segunda mayor extensión del continente), arrecifes coralinos (que forman parte de la segunda barrera arrecifal más extensa del mundo), manglares, pastos marinos, petenes, dunas costeras, lagunas, rías, islas, cenotes y un gran sistema cavernario inundado (CONANP, 2026).

A nivel de las ANP, destaca el caso de la Reserva de la Biosfera Calakmul, que conserva la mayor extensión de bosques tropicales de todas las ANP de México; el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, que conserva la mayor extensión de manglar de todas las ANP de México, y la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, que conserva la mayor extensión de arrecifes de coral de todas las ANP de México (Fig. 8; CONANP, 2026).



ID	ANP	ID	ANP
1	Arrecife Alacranes	21	Jacinto Pat
2	Arrecife de Puerto Morelos	22	Jaguar
3	Arrecifes de Cozumel	23	Laguna de Términos
4	Arrecifes de Sian Ka'an	24	Los Petenes
5	Arrecifes de Xcalak	25	Manglares de Nichupté
6	Arrecifes del Golfo de México-Sur	26	Manglares de Puerto Morelos
7	Bajos del Norte	27	Nuevo Uxmal
8	Bala'an K'aax	28	Otoch Ma'ax Yetel Kooh
9	Balam Kin	29	Playa Chenkan
10	Balam Kú	30	Playa Delfines
11	Banco Chinchorro	31	Playa Ría Lagartos
12	Calakmul	32	Playas de Isla Contoy
13	Caribe Mexicano	33	Ría Celestún
14	Cenote Aerolito	34	Ría Lagartos
15	Chunyaxché	35	San Buenaventura
16	Costa Isla Mujeres	36	Sian Ka'an
17	Dzibilchantún	37	Tiburón Ballena
18	Felipe Carrillo Puerto	38	Tulum
19	Isla Contoy	39	Uaymil
20	Isla Cozumel	40	Yum Balam

Figura 8. Mapa de las ANP de competencia federal de la península de Yucatán y la zona marina adyacente.
Fuente: Elaboración propia a partir de CONANP (2026).

Tabla 2. Superficie de las ANP de la zona de estudio.

Categoría de protección	Nombre del área natural protegida	Superficie terrestre y aguas continentales (ha)	Superficie marina (ha)	Superficie total (ha)
PN	Arrecife Alacranes	53	333,715.5	333,768.50
PN	Arrecife de Puerto Morelos	37.74	9,028.89	9,066.63
PN	Arrecifes de Cozumel	82.28	11,905.60	11,987.88
RB	Arrecifes de Sian Ka'an	1,361	33,566.16	34,927.16
PN	Arrecifes de Xcalak	4,521.84	13,427.62	17,949.46
PN	Arrecifes del Golfo de México-Sur	13.92	4,109,717.5	4,109,731.42
PN	Bajos del Norte	0	1,304,114.89	1,304,114.89
APFF	Bala'an K'aax	128,390.16	0	128,390.16
APFF	Balam Kin	115,658.24	0	115,658.24
RB	Balam Kú	463,441.75	0	463,441.75
RB	Banco Chinchorro	585.79	143,774.21	144,360
RB	Calakmul	728,908.57	0	728,908.57
RB	Caribe Mexicano	28,589.49	5,725,465.86	5,754,055.35
APFF	Cenote Aerolito	10.20	0	10.20
APFF	Chunyaxché	5,509.03	0	5,509.03
PN	Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	0.61	8,672.45	8,673.06
PN	Dzibilchantún	539.44	0	539.44
APFF	Felipe Carrillo Puerto	53,227.07	0	53,227.07
PN	Isla Contoy	230	4,896.26	5,126.26
APFF	Jacinto Pat	16.64	0	16.64
APFF	Jaguar	2,250	0	2,250
APFF	Laguna de Términos	547,278.71	158,868.96	706,147.67
APFF	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	5,733.21	32,095.96	37,829.17
RB	Los Petenes	100,866.53	181,991.10	282,857.63
APFF	Manglares de Nichupté	4,257.5	0	4,257.5
APFF	Manglares de Puerto Morelos	1091.56	0	1091.56
PN	Nuevo Uxmal	1,698.54	0	1,698.54
APFF	Otoch Ma'ax Yetel Kooh	5,367.42	0	5,367.42
S	Playa Chenkan	39.55	0	39.55
APFF	Playa Delfines	4.8	0	4.8
S	Playa Ría Lagartos	827.35	0	827.35
S	Playas de Isla Contoy	10.74	0	10.74
RB	Ría Celestún	61,926.57	19,555.76	81,482.33
RB	Ría Lagartos	60,347.83	0	60,347.83
APFF	San Buenaventura	37.9	0	37.9
RB	Sian Ka'an	375,011.87	153,135.79	528,147.66
RB	Tiburón Ballena	0	145,988.13	145,988.13
PN	Tulum	664.32	0	664.32
APFF	Uaymil	89,118.15	0	89,118.15
APFF	Yum Balam	52,307.62	101,744.63	154,052.25
	TOTAL	**2,840,016.94**	**12,491,665.27**	**15,331,682.21**

APFF = Área de Protección de Flora y Fauna, **PN** = Parque Nacional, **RB** = Reserva de la Biosfera, **S** = Santuario.

Fuente: Elaboración propia a partir de CONANP (2026).

Tabla 3. Designaciones internacionales de las ANP de la zona de estudio.

Área natural protegida	Designaciones internacionales		
	Sitio RAMSAR	Programa Hombre y la Biosfera MAB	Patrimonio mundial
Arrecife Alacranes			
Arrecife de Puerto Morelos			
Arrecifes de Cozumel			
Arrecifes de Sian Ka'an			
Arrecifes de Xcalak			
Arrecifes del Golfo de México-Sur			
Bajos del Norte			
Balaan Ka'ax			
Balam Kin			
Balam Kú			
Banco Chinchorro			
Calakmul			Natural y cultural
Caribe Mexicano			
Cenote Aerolito			
Chunyaxché			
Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc			
Dzibilchaltún			
Felipe Carrillo Puerto			
Isla Contoy			
Jacinto Pat			
Jaguar			
Laguna de Términos			
La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel			
Los Petenes			
Manglares de Nichupté			
Manglares de Puerto Morelos			
Nuevo Uxmal			
Otoch Ma'ax Yetel Kooh			
Playa Chenkan			
Playa Delfines			
Playa Ría Lagartos			
Playas de Isla Contoy			
Ría Celestún			
Ría Lagartos			
San Buenaventura			
Sian Ka'an			Natural
Tiburón Ballena			
Tulum			
Uaymil			
Yum Balam			
TOTAL	**21 (52.5%)**	**8 (20%)**	**2 (5%)**

RAMSAR. La Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida como (**RAMSAR**), ciudad de Irán donde se firmó en 1971, 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. **MAB**. El Programa sobre el Hombre y la Biosfera (**MAB**) es un programa científico intergubernamental que busca establecer una base para mejorar la relación global de las personas con su entorno. Fue puesto en marcha por la UNESCO en 1972 y propone una agenda de investigación interdisciplinaria centrada en las dimensiones ecológicas, sociales y económicas de la reducción y pérdida de la biodiversidad. **Patrimonio Mundial Natural y Cultural**. Reconoce los lugares de la Tierra con un "valor universal excepcional" que pertenecen al patrimonio común de la humanidad. La Convención liga el concepto de conservación de la naturaleza con la preservación de los sitios culturales.

Fuente: Elaboración propia a partir de CONANP (2026); RAMSAR (2026); y UNESCO (2026).

CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN Y EL CARIBE MEXICANO

III.1. Metodología

El criterio para catalogar una especie como exótica invasora dependió de los siguientes elementos: 1) que cumpliera con las características de la definición de la Ley General de Vida Silvestre, que menciona a "aquella especie o población que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública" (DOF, 2010), y 2) que la especie haya sido analizada a través del Método de Evaluación Rápida de Invasividad (**MERI**) [herramienta basada en el método jerárquico analítico para la evaluación del riesgo potencial de una especie como invasora, el cual evalúa los criterios de: a) Invasividad documentada en otras regiones de México o del mundo; b) relación con taxones cercanos invasores; c) vector de otras especies invasoras; d) riesgo de introducción; e) riesgo de establecimiento; f) riesgo de dispersión; g) impactos sanitarios; h) impactos económicos y sociales, i) impactos a los ecosistemas, y j) impactos a la biodiversidad (CONABIO, 2015)], u otro Análisis de Riesgo (**AR**) validado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (**CONABIO**), y que el resultado de la evaluación haya sido medio, alto o muy alto.

Para determinar la presencia de las EEI en las ANP de la zona de estudio, se realizó un análisis en las siguientes fuentes de información: 1) base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (**SNIB**; CONABIO, 2024); 2) el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (**GBIF**, 2024); 3) los listados taxonómicos de los Programas de Manejo de las ANP (Arrecife Alacranes, Arrecife de Puerto Morelos, Arrecifes de Cozumel, Arrecifes de Sian Ka'an, Arrecifes de Xcalak, Bala'an K'aax, Banco Chinchorro, Calakmul, Caribe Mexicano, Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Dzibilchantún, Isla Contoy, Laguna de Términos, La Porción Norte y la Franja Costera Oriental, Terrestres y Marinas de la Isla de Cozumel, Los Petenes, Manglares de Nichupté, Otoch Ma'ax Yetel Kooh, Ría Celestún, Ría Lagartos, Sian Ka'an, Tiburón Ballena, Tulum, Uaymil y Yum Balam); 4) los listados taxonómicos de los Estudios Previos Justificativos de las ANP (Bajos del Norte, Balan Kin, Balam Kú, Cenote Aerolito, Felipe Carrillo Puerto, Jacinto Pat, Jaguar, Manglares de Puerto Morelos, Nuevo Uxmal, Playa Chenkan, Playa Delfines y San Buenaventura); 5) artículos científicos; 6) libros o capítulos

de libros; 7) Planes, Programas y Protocolos; 8) informes de proyectos financiados por dependencias de gobierno y, 9) tesis (Anexo 1).

Para validar la nomenclatura taxonómica de las EEI identificadas, se utilizó el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, 2025) de manera general, y de manera particular las siguientes referencias de información especializada: Mammal Species of the World (Wilson y Reader, 2005), International Ornithological Commitee (Gill et al. 2025), Avibase (2025), Fishbase (Froese & Pauly, 2025), Reptile-database (Uetz, 2025), Amphibian Species of the World (Frost, 2024), World Register of Marine Species (WoRMS, 2025), AntCat (Bolton, 2025), Tropicos.org Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2025), SeaLifeBase (Palomares & Pauly, 2025) y Algaebase (Guiry y Guiry, 2025). Para la validación biogeográfica de las EEI identificadas en las ANP se utilizaron las siguientes plataformas: GBIF, Enciclovida, el Portal de datos Abiertos UNAM, el Atlas de las ANP de México y Google Earth (GBIF, 2024; CONABIO, 2025; DGRU-UNAM, 2025; CONANP, 2024).

Derivado del análisis y las validaciones, se elaboró una base de datos de presencia-ausencia de las EEI y se identificaron los siguientes elementos: origen geográfico (CABI, 2025; CONABIO; 2025); especies listadas en el Acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México (DOF, 2016), y especies que se encuentran en la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de acuerdo con la UICN (Lowe et al. 2004).

Para determinar la similitud de las EEI en las ANP y visualizar su homogeneidad en la región, se realizó un dendrograma con el Programa Past versión 5.3 (PAST Core Team, 2025) aplicando el índice de Jaccard el cual tiene le siguiente fundamento:

$$isJ(A,B) = \frac{|\ A\ \cap\ B\ |}{|\ A \cup B\ |} = \frac{|\ A \cap B\ |}{|\ A\ |\ +|\ B\ |\ -|\ A \cap B\ |}$$

Donde:

- ***A*:** es el número de especies presentes en el sitio 1
- ***B*:** es el número de especies presentes en el sitio 2.
- ***A*∩*B***: representa el número de elementos comunes entre ***A*** y ***B***
- ***A*∪*B***: representa el número total de elementos en la unión de ***A*** y ***B***

El resultado del índice de Jaccard varía entre 0 y 1. Un valor de 0 indica que no hay especies en común, mientras que un valor de 1 indica que los sitios tienen máxima similitud en composición de especies.

Respecto a la identificación de actividades productivas que se realizan en las ANP, se revisaron los Programas de Manejo y los Estudios Previos Justificativos (Anexo 1), debido a que una de las principales vías de introducción de especies exóticas está asociada a estas actividades (CONABIO, 2025). Finalmente, se analizó el número de erradicaciones de EEI en las ANP de la zona de estudio con la finalidad de establecer un diagnóstico de los casos de éxito en la región.

III.2. Resultados

Derivado del análisis en las fuentes de información, se identificó la presencia de 92 EEI provenientes de todos los continentes (Tabla 4; Anexo A) en las 40 ANP de la península de Yucatán y la zona marina adyacente, las cuales se ordenaron en 12 grupos taxonómicos para su análisis (Figs. 9 y 10).

Para el caso de las macroalgas marinas, se identificó una especie de la familia Caulerpaceae [*Caulerpa ollivieri* (Fig. 9; Tabla 4)]. Para las plantas, se identificaron 21 familias, 43 géneros y 46 especies (terrestres y acuáticas): [Apiaceae (*Centella asiatica*); Araliaceae (*Hedera helix*); Apocynaceae (*Catharanthus roseus*, *Cryptostegia grandiflora* y *Nerium oleander*); Arecaceae (*Dypsis lutescens* y *Elaeis guineensis*); Asteraceae (*Emilia fosbergii* y *Emilia sonchifolia*); Balsaminaceae (*Impatiens walleriana*); Bignoniaceae (*Spathodea campanulata*); Casuarinaceae (*Casuarina equisetifolia*); Combretaceae (*Terminalia catappa*); Crassulaceae (*Kalanchoe pinnata*); Cucurbitaceae (*Lagenaria siceraria*); Cyperaceae (*Cyperus esculentus* y *Cyperus papyrus*); Euphorbiaceae (*Ricinus communis*); Fabaceae (*Abrus precatorius*, *Albizia lebbeck*, *Cajanus cajan* y *Crotalaria retusa*); Hydrocharitaceae (*Egeria densa*); Lamiaceae (*Leonotis nepetifolia*); Meliaceae (*Azadirachta indica* y *Melia azedarach*); Moringaceae (*Moringa oleífera*); Orchidaceae (*Oeceoclades maculata*); Poaceae (*Andropogon gayanus*, *Arundo donax*, *Bambusa vulgaris*, *Bothriochloa pertusa*, *Cenchrus ciliaris*, *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Dichanthium annulatum*, *Echinochloa crus-galli*, *Eleusine indica*, *Eragrostis cilianensis*, *Hyparrhenia rufa*, *Megathyrsus maximus*, *Melinis repens*, *Pennisetum purpureum* y *Rottboellia cochinchinensis*) y Pontederiaceae (*Eichhornia crassipes*)] (Fig.9; Tabla 4; Anexo 1).

Respecto a los invertebrados se encontraron las siguientes especies: para los insectos dos familias, cinco géneros y seis especies [Culicidae (*Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*) y Formicidae (*Linepithema humile*, *Monomorium pharaonis*, *Pheidole megacephala* y *Tapinoma melanocephalum*)]; un arácnido de la familia Tenuipalpidae (*Raoiella indica*); para los hidrozoos, dos familias, dos géneros y dos especies [Cordylophoridae (*Cordylophora caspia*) y Plumulariidae (*Plumularia setacea*)]; para los crustáceos, dos familias, dos géneros, un subgenero y dos especies [Penaeidae (*Penaeus monodon*) y Portunidae -*Charybdis* (*Charybdis*) *hellerii*-] y para los moluscos, una familia, dos géneros y dos especies [Thiaridae (*Melanoides tuberculata* y *Tarebia granifera*)] (Fig. 9; Tabla 4; Anexo 1).

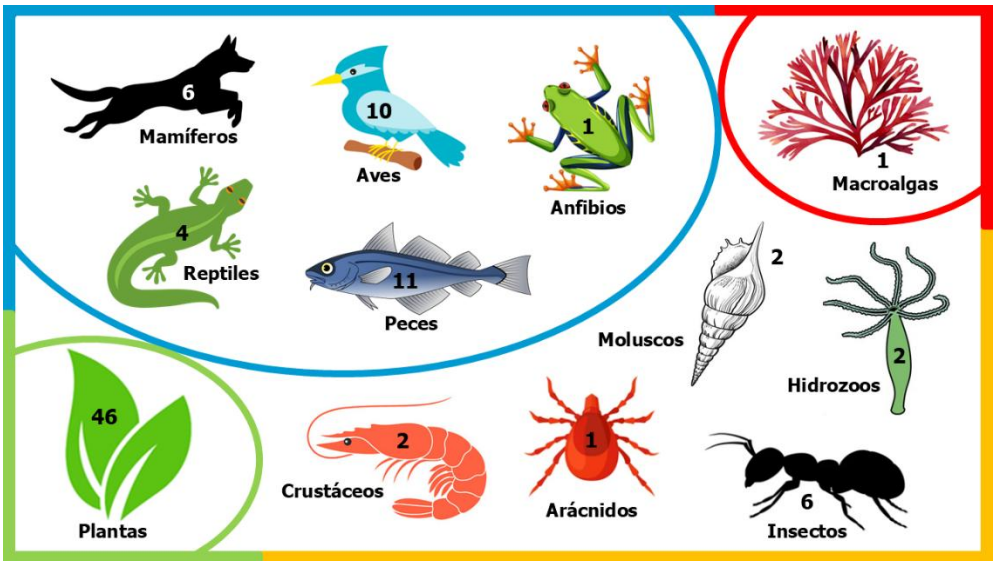


Figura 9. Número de EEI por grupo taxonómico en la zona de estudio.

En el caso de los vertebrados se obtuvo la siguiente información: para los peces se identificaron cuatro familias, seis géneros y 11 especies [Cichlidae (*Oreochromis aureus*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Parachromis managuensis* y *Parachromis motaguensis*); Cyprinidae (*Ctenopharyngodon idella* y *Cyprinus carpio*); Loricariidae (*Pterygoplichthys disjunctivus* y *Pterygoplichthys pardalis*) y Scorpaenidae (*Pterois miles* y *Pterois volitans*)]. Un anfibio de la familia Eleutherodactylidae (*Eleutherodactylus planirostris*). En cuanto a los reptiles, se identificaron tres familias, tres géneros y cuatro especies [Dactyloidae (*Anolis sagrei*); Gekkonidae (*Hemidactylus frenatus* y *Hemidactylus turcicus*) y Typhlopidae (*Indotyphlops braminus*)]. Respecto a las aves se identificaron siete familias, nueve géneros y 10 especies [Ardeidae (*Bubulcus ibis*); Columbidae (*Columba livia* y *Streptopelia decaocto*); Estrildidae (*Lonchura malacca* y *Lonchura punctulata*); Icteridae (*Molothrus bonariensis*); Passeridae (*Passer domesticus*); Psittacidae (*Cyanoliseus patagonus* y *Myiopsitta monachus*) y Sturnidae (*Sturnus*

vulgaris). Finalmente, para los mamíferos se encontró la presencia de cuatro familias, cinco géneros, seis especies y una subespecie [Canidae (*Canis lupus* subsp. *familiaris*); Felidae (*Felis catus*); Muridae (*Mus musculus*, *Rattus norvegicus* y *Rattus rattus*) y Suidae (*Sus scrofa*)] (Fig.9; Tabla 4; Anexo 1).

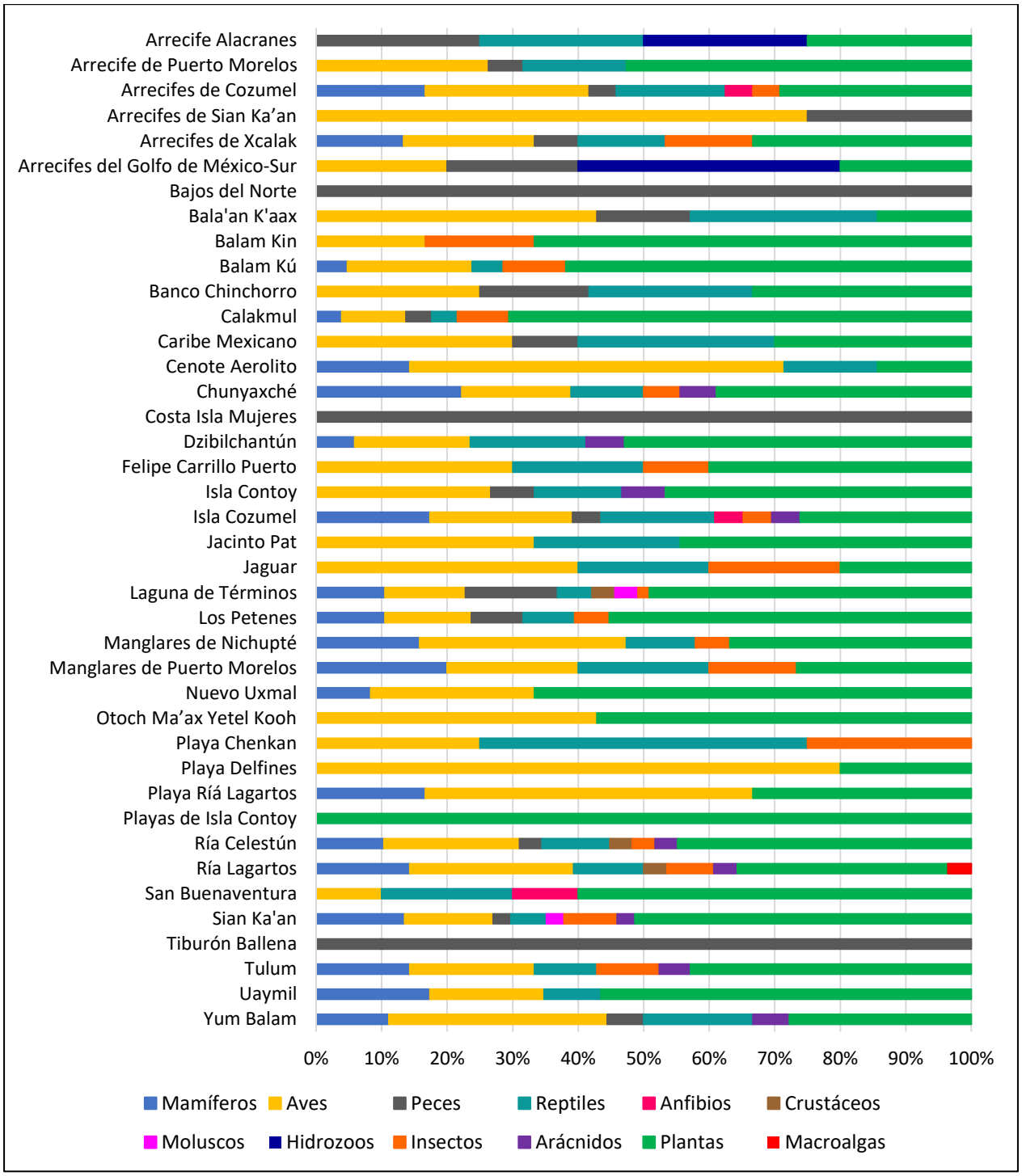


Figura 10. Proporción de grupos taxonómicos presentes en las ANP de la zona de estudio.

Tabla 4. EEI identificadas en las ANP de la península de Yucatán y la zona marina adyacente.

Grupo taxonómico	Familia	Especie	Nombre común	Origen de las especies
Algas	Caulerpaceae	*Caulerpa ollivieri* Dostál, 1929	macroalga verde	Mar Mediterráneo
Plantas M-MA, +	Apiaceae	*Centella asiatica* (L.) Urb.	oreja de ratón	Centro-sur de África, sureste de Asia y Australia
Plantas M-MA, +	Araliaceae	*Hedera helix* L.	hiedra	Inglaterra, Irlanda, oeste de Europa y norte de África
Plantas M-MA, +	Apocynaceae	*Catharanthus roseus* (L.) G. Don	jabonera	Madagascar
Plantas M-MA, +	Apocynaceae	*Cryptostegia grandiflora* R. Br.	clavel alemán	Madagascar
Plantas M-A	Apocynaceae	*Nerium oleander* L.	rosa laurel	Región mediterránea de África, Europa y Asia
Plantas M-A	Arecaceae	*Dypsis lutescens* (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf.	palma areca	Madagascar
Plantas M-A	Arecaceae	*Elaeis guineensis* Jacq.	palma de aceite	África tropical
Plantas M-A, +	Asteraceae	*Emilia fosbergii* Nicolson	lechuguilla roja	África, Asia y Europa
Plantas M-A, +	Asteraceae	*Emilia sonchifolia* (L.) DC.	pincel	Asia
Plantas M-A	Balsaminaceae	*Impatiens walleriana* Hook. f.	balsamina	Kenia, Tanzania, Malawi y Mozambique
Plantas M-A, *	Bignoniaceae	*Spathodea campanulata* P. Beauv.	tulipán africano	África
Plantas M-MA	Casuarinaceae	*Casuarina equisetifolia* L.	casuarina	Sureste de Asia y Australia
Plantas M-A	Combretaceae	*Terminalia catappa* L.	almendro	Sureste de Asia, islas Andamán. Norte de Oceanía
Plantas M-MA, +	Crassulaceae	*Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers.	hoja del aire	Madagascar
Plantas M-M	Cucurbitaceae	*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.	acocote	África tropical
Plantas M-MA	Cyperaceae	*Cyperus esculentus* L.	juncia avellanada	Norte de África
Plantas M-A	Cyperaceae	*Cyperus papyrus* L.	papiro del Mediterráneo	Noreste, centro y sur de África
Plantas M-A, +	Euphorbiaceae	*Ricinus communis* L.	higuerilla	Extremo oriente de África
Plantas M-A	Fabaceae	*Abrus precatorius* L.	coralillo	África, Asia y Australia
Plantas M-A	Fabaceae	*Albizia lebbeck* (L.) Benth.	acacia amarilla	África y Asia tropical, y norte de Australia

Plantas M-MA, +	Fabaceae	*Cajanus cajan* (L.) Huth	gandúl	India, occidente de la cordillera del Himalaya
Plantas M-A, +	Fabaceae	*Crotalaria retusa* L.	ala de pico	Asia tropical
Plantas M-MA	Hydrocharitaceae	*Egeria densa* Planch.	elodea	Argentina, Brasil y Uruguay
Plantas M-A, +	Lamiaceae	*Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br.	castillo	Oriente de África tropical
Plantas M-MA	Meliaceae	*Azadirachta indica* A. Juss.	neem	Asia
Plantas AR-EAR	Meliaceae	*Melia azedarach* L.	árbol del paraíso	Asia
Plantas AR-EAR	Moringaceae	*Moringa oleifera* Lam.	moringa	India
Plantas M-A	Orchidaceae	*Oeceoclades maculata* (Lindl.) Lindl.	orquídea monja	África tropical
Plantas M-A, +	Poaceae	*Andropogon gayanus* Kunth	zacate llanero	África tropical
Plantas M-MA, +, *	Poaceae	*Arundo donax* L.	carrizo gigante	Asia templada y tropical
Plantas M-M	Poaceae	*Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl.	bambú	Asia tropical
Plantas M-A, +	Poaceae	*Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus	zacate amarillo	Asia oriental y meridional
Plantas M-MA, +	Poaceae	*Cenchrus ciliaris* L.	zacate buffel	África y península Ibérica
Plantas M-MA	Poaceae	*Cynodon dactylon* (L.) Pers.	zacate bermuda	África
Plantas M-MA	Poaceae	*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst	pasto estrella	África
Plantas M-A, +	Poaceae	*Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd.	zacate egipcio	África y Asia tropical y templada
Plantas M-MA	Poaceae	*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf	zacate angleton	África, Asia tropical y templada, Papúa Nueva Guinea
Plantas M-A	Poaceae	*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.	zacate de agua	Asia tropical y Europa
Plantas M-MA	Poaceae	*Eleusine indica* (L.) Gaertn.	escobilla	África
Plantas M-MA	Poaceae	*Eragrostis cilianensis* (All.) Vignolo ex Janch.	pasto llorón gris	África
Plantas M-A, +	Poaceae	*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf	pasto jaragua	Trópico y sur de África
Plantas AR-EAR	Poaceae	*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs	pasto Guinea	África tropical
Plantas M-A, +	Poaceae	*Melinis repens* (Willd.) Zizka	zacate rosado	Sudáfrica
Plantas M-A, +	Poaceae	*Pennisetum purpureum* Schumach.	zacate elefante	África tropical y subsahariana
Plantas M-MA, +	Poaceae	*Rottboellia cochinchinensis*	gramínea corredora	África y Asia

		(Lour.) Clayton		
Plantas M-MA, +, *	Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms	lirio acuático	Sudamérica
Insectos M-MA	Culicidae	*Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762)	mosquito de la fiebre amarilla	Etiopia
Insectos M-MA, +, *	Culicidae	*Aedes albopictus* (Skuse, 1894)	mosquito tigre	Japón y sureste de Asia, islas del Pacífico occidental y océano Índico
Insectos M-MA, +, *	Formicidae	*Linepithema humile* (Mayr, 1868)	hormiga argentina	Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay
Insectos AR-EAR	Formicidae	*Monomorium pharaonis* (Linnaeus, 1758)	hormiga faraón	África occidental
Insectos AR-EAR, *	Formicidae	*Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793)	hormiga leona	África
Insectos AR-EAR	Formicidae	*Tapinoma melanocephalum* (Fabricius, 1793)	hormiga fantasma	Región Indo-Pacífico de Asia
Arácnidos M-A, +	Tenuipalpidae	*Raoiella indica* Hirst, 1924	ácaro rojo	India
Hidrozoos M-MA, +	Cordylophoridae	*Cordylophora caspia* (Pallas, 1771)	hidroide esturialino	Región Ponto-Caspiana y alrededor de los mares Negro y Caspio
Hidrozoos M-A, +	Plumulariidae	*Plumularia setacea* (Linnaeus, 1758)	hidroide emplumado	Pacífico oriental de Norteamérica y noreste del Océano Atlántico
Crustáceos M-MA, +	Penaeidae	*Penaeus monodon* (Fabricius, 1798)	camarón tigre	Océanos Índico y Pacífico occidental, África oriental, sur de Asia y Australia
Crustáceos M-A, +	Portunidae	*Charybdis* (*Charybdis*) *hellerii* (A. Milne-Edwards, 1867)	cangrejo nadador	Costas del Océano Índico y Pacífico occidental, África oriental, sur de Asia y Australia
Moluscos M-MA, +	Thiaridae	*Melanoides tuberculata* (O. F. Müller, 1774)	caracol trompeta	África oriental y medio oriente
Moluscos M-MA, +	Thiaridae	*Tarebia granifera* (Lamarck, 1816)	melania asiática	India, Sri Lanka, Malasia, Filipinas, Japón, Tailandia
Peces M-MA	Cichlidae	*Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864)	tilapia azul	África y medio oriente: Arabia Saudita, Jordania e Israel
Peces M-MA, *	Cichlidae	*Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852)	tilapia de Mozambique	Oriente y sur de África
Peces M-MA	Cichlidae	*Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)	tilapia del Nilo	África tropical, subtropical e Israel

Peces M-A	Cichlidae	*Parachromis managuensis* (Günther, 1867)	cíclido jaguar	Nicaragua, Costa Rica y Honduras
Peces M-A	Cichlidae	*Parachromis motaguensis* (Günther, 1867)	mojarra del Motagua	Guatemala, El Salvador y Honduras
Peces M-MA	Cyprinidae	*Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844)	carpa herbívora	China y oriente de Rusia
Peces M-MA, *	Cyprinidae	*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)	carpa común	Eurasia central
Peces M-MA	Loricariidae	*Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1991)	pez diablo	Cuenca del Amazonas
Peces M-A	Loricariidae	*Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855)	pez diablo	Río Amazonas, Brasil y Perú
Peces M-MA	Scorpaenidae	*Pterois miles* (Bennett, 1828)	pez león rojo	Golfo Pérsico, mar rojo en el océano Indico hasta Sudáfrica y al oriente hasta Sumatra
Peces M-MA	Scorpaenidae	*Pterois volitans* (Linnaeus, 1758)	pez león	Japón a Australia y Nueva Zelanda en el océano Pacífico y hasta Indonesia en el océano Indico
Anfibios M-A	Eleutherodactylidae	*Eleutherodactylus planirostris* (Cope, 1862)	rana de invernadero	Cuba, islas Caimán y Bahamas
Reptiles M-A, +	Dactyloidae	*Anolis sagrei* (Duméril & Bibron, 1837)	abaniquillo pardo	Cuba, Bahamas y otras islas del caribe
Reptiles M-A, +	Gekkonidae	*Hemidactylus frenatus* (Duméril & Bibron, 1836)	gecko casero	Sureste de Asia
Reptiles M-A, +	Gekkonidae	*Hemidactylus turcicus* (Linnaeus, 1758)	gecko del Mediterráneo	Región del Mediterráneo y Medio Oriente. Asia, África y Europa
Reptiles M-A	Typhlopidae	*Indotyphlops braminus* (Daudin, 1803)	serpiente ciega	India
Aves M-A, +	Ardeidae	*Bubulcus ibis* (Linnaeus, 1758)	garza ganadera	África, Asia y Europa
Aves M-MA, +	Columbidae	*Columba livia* (Gmelin, 1789)	paloma doméstica	Europa, occidente de Asia y norte de África
Aves M-A, +	Columbidae	*Streptopelia decaocto* (Frivaldszky, 1838)	paloma de collar turca	Europa, Asia y Norte de África
Aves M-A, +	Estrildidae	*Lonchura malacca* (Linnaeus, 1766)	capuchino tricolor	Asia

Aves M-A, +	Estrildidae	*Lonchura punctulata* (Linnaeus, 1758)	capuchino pecho escamoso	Asia
Aves M-A, +	Icteridae	*Molothrus bonariensis* (Gmelin, 1789)	tordo lustroso	Sudamérica e islas del Caribe
Aves M-M, +	Passeridae	*Passer domesticus* (Linnaeus, 1758)	gorrión europeo	Reino Unido y Escandinavia al oriente de Siberia y hasta el norte de África
Aves M-MA	Psittacidae	*Cyanoliseus patagonus* (Vieillot, 1818)	loro barranquero	Argentina, Chile y Uruguay
Aves M-MA, +	Psittacidae	*Myiopsitta monachus* (Boddaert, 1783)	cotorra argentina	Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay
Aves M-MA, +, *****	Sturnidae	*Sturnus vulgaris* (Linnaeus, 1758)	estornino pinto	Europa, suroeste de Asia y norte de África
Mamíferos M-MA, +	Canidae	*Canis lupus* subsp. *familiaris* (Linnaeus, 1758)	perro	Europa y Asia
Mamíferos M-MA, +, *****	Felidae	*Felis catus* (Linnaeus, 1758)	gato	África
Mamíferos M-MA, +, *****	Muridae	*Mus musculus* (Linnaeus, 1758)	ratón doméstico	Europa y Asia
Mamíferos M-MA, +	Muridae	*Rattus norvegicus* (Berkenhout, 1769)	rata noruega	Sureste de Siberia y norte de China
Mamíferos M-MA, +, *****	Muridae	*Rattus rattus* (Linnaeus, 1758)	rata negra	Península India
Mamíferos M-MA, +, *****	Suidae	*Sus scrofa* (Linnaeus, 1758)	cerdo asilvestrado	Europa, Asia y norte de África

M-MA Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) – Muy Alto; **M-A** MERI – Alto; **M-M** MERI – Medio. **AR-EAR** Análisis de Riesgo – Especie de Alto Riesgo. **+** Especie dentro del Acuerdo por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México. *****Especie en la Lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo.

Fuente: Elaboración propia a partir de CONABIO, 2025; CONANP, 2024, 2026; GBIF, 2024; CABI, 2025; ITIS, 2025; GISD, 2025; DGRU-UNAM, 2025; Avibase, 2025; WoRMS, 2025; Tropicos, 2025; DOF, 2016; Lowe et al. 2004; Gill et al. 2025; Guiry y Guiry, 2025; Froese & Pauly, 2025; Bolton, 2025; Uetz et al. 2025; Frost, 2024; Palomares & Pauly, 2025 y Wilson & Reader, 2005.

De las especies identificadas, 13 se encuentran en la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo: carrizo gigante (*Arundo donax*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), tulipán africano (*Spathodea campanulata*), mosquito tigre (*Aedes albopictus*), hormiga argentina (*Linepithema humile*), hormiga leona (*Pheidole megacephala*), carpa común (*Cyprinus carpio*), tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), estornino pinto (*Sturnus vulgaris*), gato feral (*Felis catus*), ratón doméstico (*Mus musculus*), rata negra (*Rattus rattus*) y el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa*) [Tabla 4].

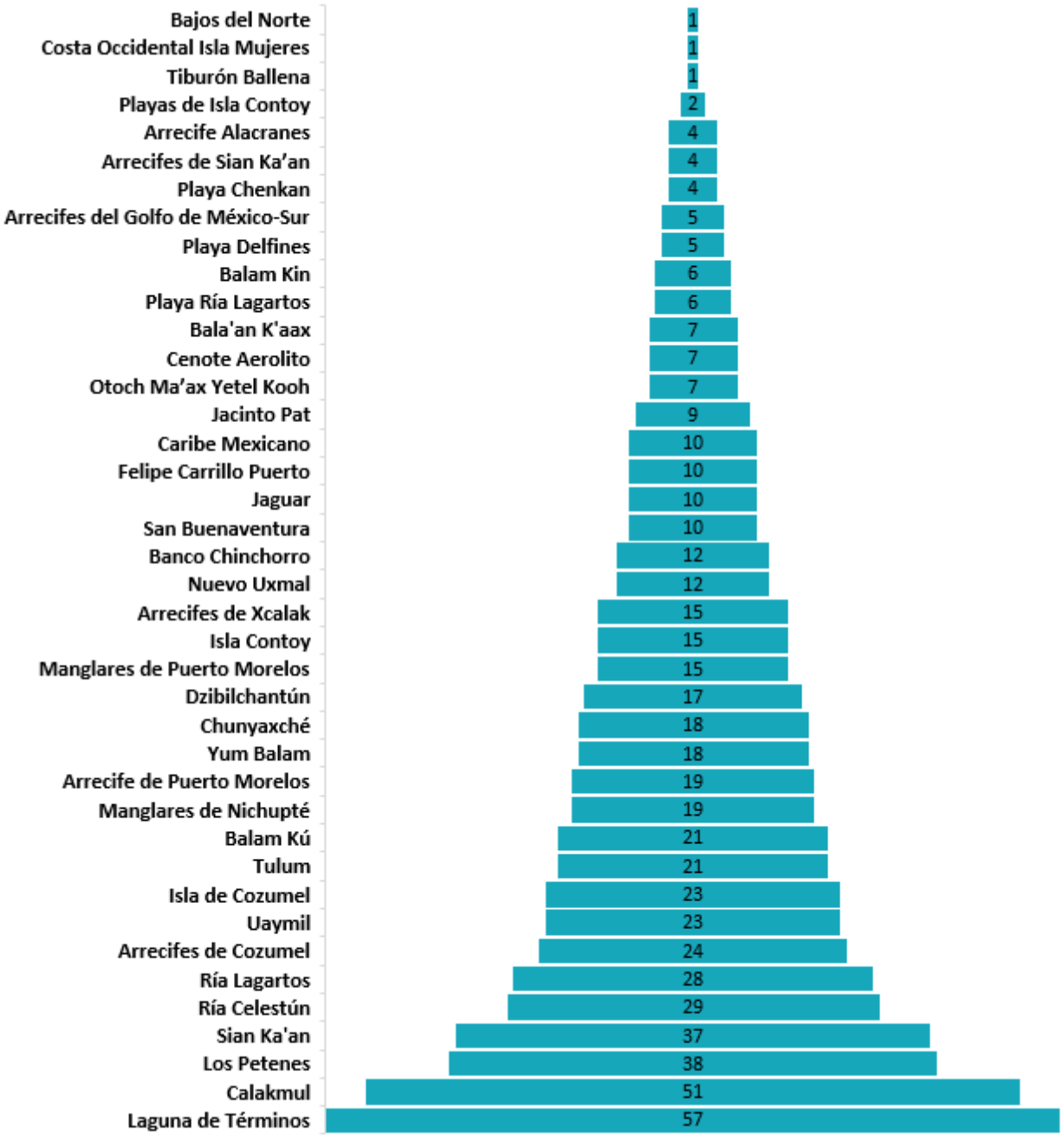


Figura 11. Número de EEI presentes en las ANP de la zona de estudio.

La mayor riqueza de especies se concentra en cuatro ANP que tienen al menos el 40% del total de las EEI identificadas: Laguna de Términos (61.95%); Calakmul (55.43%), Los Petenes (41.30%) y Sian Ka'an con 40.21% (Fig. 11), mientras que las ANP que tienen la menor riqueza de especies fueron Bajos del Norte, Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, y Tiburón Ballena con una especie, el pez león (*Pterois volitans*), estas últimas ANP con ecosistemas totalmente marinos en sus polígonos (Tabla 2; Figs. 11 y 12).

En cuanto a la presencia de especies, se identificó que siete están en por lo menos la mitad de las ANP: casuarina (*Casuarina equisetifolia*) 52.5%, zacate egipcio (*Dactyloctenium aegyptium*) 60%, gecko común (*Hemidactylus frenatus*) 67.5%, abaniquillo pardo del Caribe (*Anolis sagrei*) 70%, paloma doméstica (*Columba livia*) 77.5%, garza ganadera (*Bubulcus ibis*) y la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*) con 82.5% (Tabla 5), mientras que 14 EEI se encuentran únicamente en el ANP Laguna de Términos, las cuales fueron: papiro del Mediterráneo (*Cyperus papyrus*), zacate de agua (*Echinochloa crus-galli*), palma de aceite (*Elaeis guineensis*), cangrejo nadador (*Charybdis hellerii*), melania asiática (*Tarebia granifera*), carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), carpa común (*Cyprinus carpio*), ciclido jaguar (*Parachromis managuensis*), mojarra del Motagua (*Parachromis motaguensis*), peces diablo (*Pterygoplichthys disjunctivus* y *P. pardalis*), loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*), cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) y el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa*) [Tabla 5].

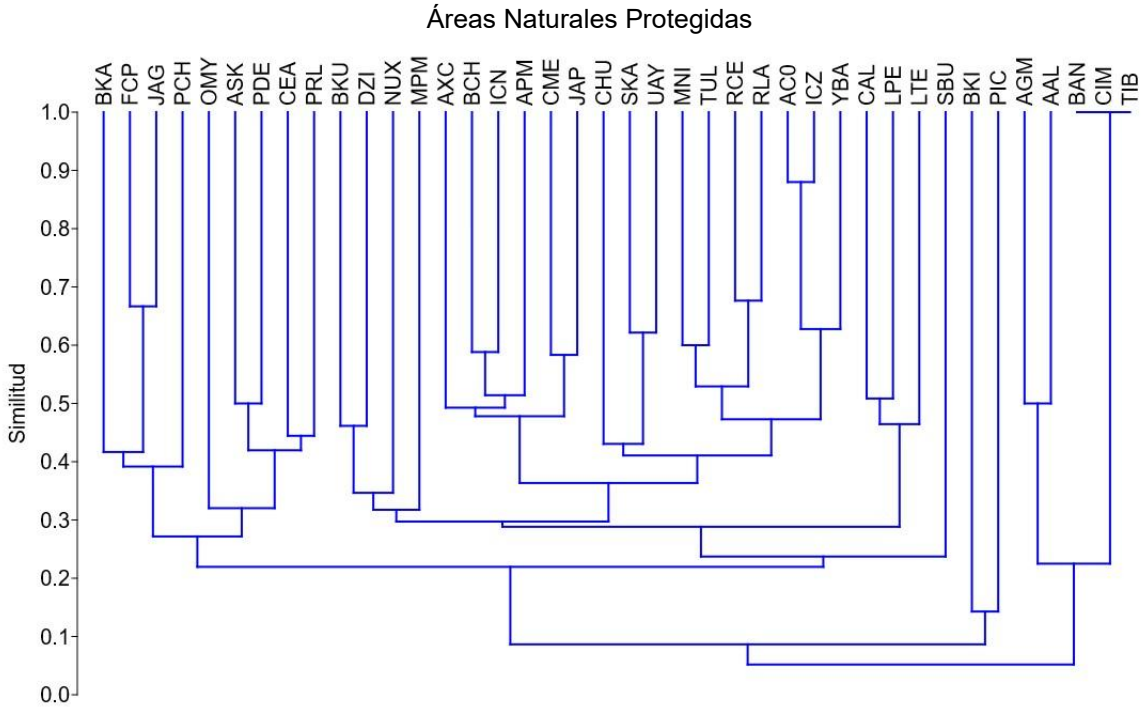
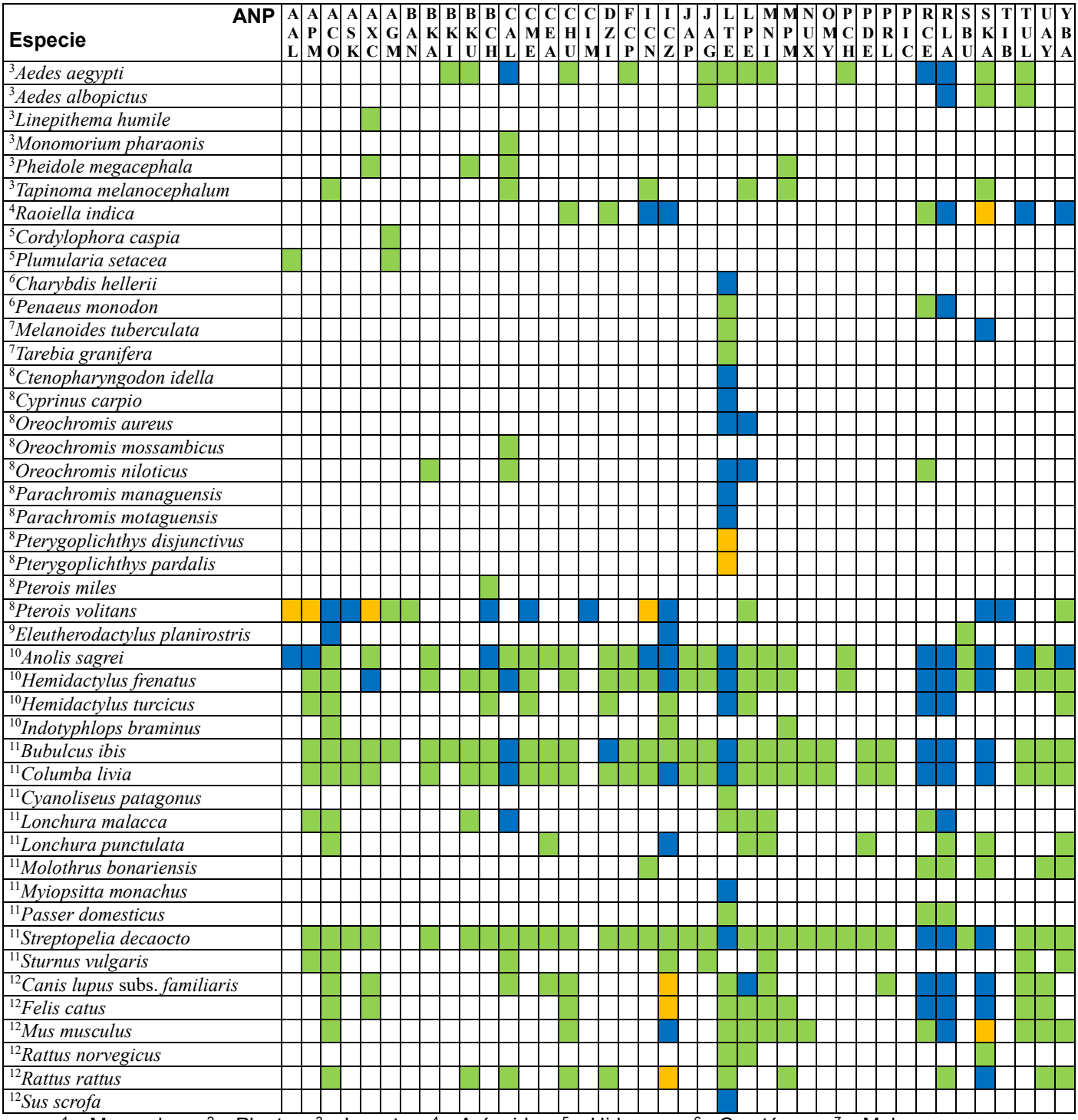


Figura 12. Dendrograma de similitud entre las EEI presentes en las ANP. (AAL=Arrecife Alacranes, APM=Arrecife de Puerto Morelos, ACO=Arrecifes de Cozumel, ASK=Arrecifes de Sian Ka'an, AXC=Arrecifes de Xcalak, AGM=Arrecifes del Golfo de México-Sur, BAN=Bajos del Norte, BKA=Bala'an K'aax, BKI=Balan Kin, BKU=Balan Kú, BCH=Banco Chinchorro, CAL=Calakmul, CME=Caribe Mexicano, CEA=Cenote Aerolito, CHU=Chunyaxché, CIM=Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, DZI=Dzibilchantún, FCP=Felipe Carrillo Puerto, ICN=Isla Contoy, ICZ= La Porción Norte y la Franja Costera Oriental, Terrestres y Marinas de la Isla de Cozumel, JAP=Jacinto Pat, JAG=Jaguar, LTE=Laguna de Términos, LPE=Los Petenes, MNI=Manglares de Nichupté, MPM=Manglares de Puerto Morelos, NUX=Nuevo Uxmal, OMY= Otoch Ma'ax Yetel Kooh, PCH=Playa Chenkan, PDE=Playa Delfines, PRL=Playa Ría Lagartos, PIC=Playas de Isla Contoy, RCE=Ría Celestún, RLA=Ría Lagartos, SBU=San Buenaventura, SKA=Sian Ka'an, TIB=Tiburón Ballena, TUL=Tulum, UAY=Uaymil y YBA=Yum Balam).

Tabla 5. Presencia-ausencia de las EEI en las ANP de la península de Yucatán y la zona marina adyacente, y su ponderación de acuerdo con las variables de referencia.

Especie \ ANP	AAL	APM	ACO	ASK	AXC	AGM	BAN	BKA	BKI	BKU	BCH	CAL	CME	CEA	CHU	CIM	DZI	FCP	ICN	ICZ	JAP	JAG	LTE	LPE	MNI	MPM	NUX	OMY	PCH	PDE	PRL	PIC	RCE	RLA	SBU	SKA	TIB	TUL	UAY	YBA
[1]*Caulerpa ollivieri*																																								
[2]*Abrus precatorius*																																								
[2]*Albizia lebbeck*																																								
[2]*Andropogon gayanus*																																								
[2]*Arundo donax*																																								
[2]*Azadirachta indica*																																								
[2]*Bambusa vulgaris*																																								
[2]*Bothriochloa pertusa*																																								
[2]*Cajanus cajan*																																								
[2]*Casuarina equisetifolia*																																								
[2]*Catharanthus roseus*																																								
[2]*Cenchrus ciliaris*																																								
[2]*Centella asiática*																																								
[2]*Crotalaria retusa*																																								
[2]*Cryptostegia grandiflora*																																								
[2]*Cynodon dactylon*																																								
[2]*Cynodon nlemfuensis*																																								
[2]*Cyperus esculentus*																																								
[2]*Cyperus papyrus*																																								
[2]*Dactyloctenium aegyptium*																																								
[2]*Dichanthium annulatum*																																								
[2]*Dypsis lutescens*																																								
[2]*Echinochloa crus-galli*																																								
[2]*Egeria densa*																																								
[2]*Eichhornia crassipes*																																								
[2]*Elaeis guineensis*																																								
[2]*Eleusine indica*																																								
[2]*Emilia fosbergii*																																								
[2]*Emilia sonchifolia*																																								
[2]*Eragrostis cilianensis*																																								
[2]*Hedera helix*																																								
[2]*Hyparrhenia rufa*																																								
[2]*Impatiens walleriana*																																								
[2]*Kalanchoe pinnata*																																								
[2]*Lagenaria siceraria*																																								
[2]*Leonotis nepetifolia*																																								
[2]*Megathyrsus maximus*																																								
[2]*Melia azedarach*																																								
[2]*Melinis repens*																																								
[2]*Moringa oleifera*																																								
[2]*Nerium oleander*																																								
[2]*Oeceoclades maculata*																																								
[2]*Pennisetum purpureum*																																								
[2]*Ricinus communis*																																								
[2]*Rottboellia cochinchinensis*																																								
[2]*Spathodea campanulata*																																								
[2]*Terminalia catappa*																																								



[1] = Macroalgas; [2] = Plantas; [3] = Insectos; [4] = Arácnidos; [5] = Hidrozoos; [6] =Crustáceos; [7] = Moluscos; [8] = Peces; [9] = Anfibios; [10] = Reptiles; [11] = Aves; [12] = Mamíferos.

Nomenclatura de ANP acuerdo con la Fig. 12. Número de variables de referencia: ☐ 1-2; ☐ 3-5; ☐ 6-9.
Variables de referencia: SNIB; GBIF; Programa de Manejo; Estudio Previo Justificativo; Artículo científico, Libro o capítulo de libro; Planes, Programas o Protocolos; Informes de proyectos financiados; Tesis.

Las agrupaciones de ANP con una similitud de especies de al menos 0.50 de acuerdo con el índice de Jaccard fueron: Bajos del Norte – Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc - Tiburón Ballena (1); Arrecifes de Cozumel – Isla de Cozumel (0.88); Ría Celestún – Ría Lagartos (0.67); Felipe Carrillo Puerto – Jaguar (0.66); Sian Ka'an – Uaymil (0.62); Manglares de Nichupté – Tulum (0.60); Banco Chinchorro – Isla Contoy (0.58); Caribe Mexicano – Jacinto Pat (0.58); Calakmul – Los Petenes (0.50); Arrecife Alacranes – Arrecifes del Golfo de México Sur (0.50), y Arrecifes de Sian Ka'an – Playa Delfines (0.50) [Fig. 12].

Derivado del análisis en las siguientes plataformas: Google Académico, Scielo, Springer Nature y PubMed; repositorios de instituciones de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (**SECIHTI**) y Universidades; el Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (**SIMEC**) de la CONANP y páginas electrónicas de dependencias gubernamentales del sector ambiental, se encontraron 253 documentos que refieren la presencia de EEI en las ANP de competencia federal en la península de Yucatán y zona marina adyacente (Fig. 13; Anexo 1). Estos documentos junto con los sistemas de información fueron catalogados en las siguientes variables de referencia: a) artículo científico, b) libro o capítulo de libro, c) programa de manejo, d) estudio previo justificativo, e) estrategia, plan o protocolo, f) informe de proyecto, g) tesis, h) SNIB, e i) GBIF. En la Tabla 5, se presenta la información de presencia-ausencia considerando el número de variables de referencia de cada EEI en las ANP. Cabe aclarar que cada variable puede estar representada por uno o más registros de la EEI.

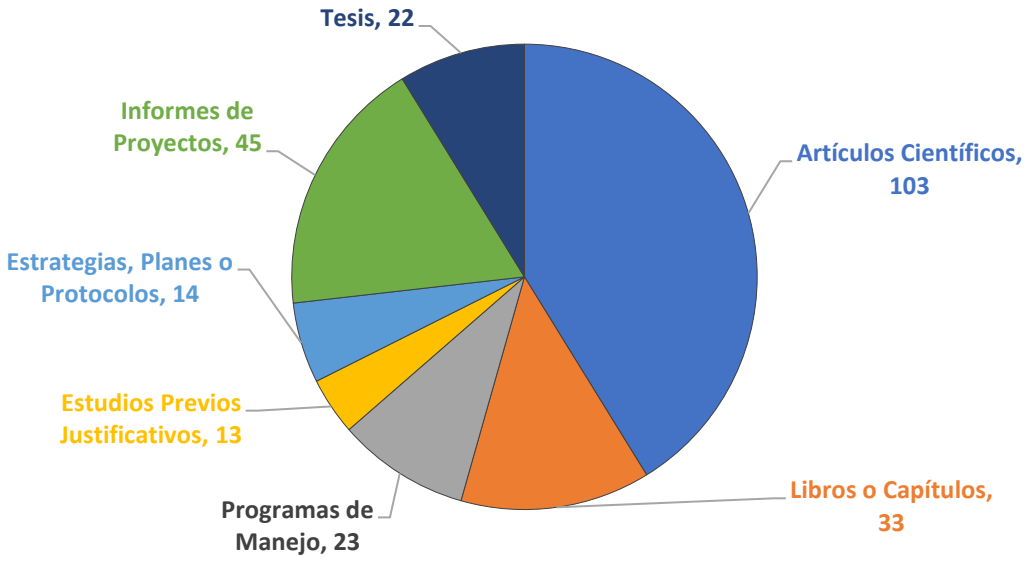


Figura 13. Número de documentos de referencia sobre la presencia de EEI en las ANP de la península de Yucatán y la zona marina adyacente.

Respecto al análisis de los MERI y AR de las especies, se identificó el nivel de invasividad de cada especie (Tabla 4; Fig. 14). Además, derivado de la revisión del Acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México, resultó que solo 48 EEI se encuentran listadas en este instrumento, representando solo el 52.17% (Tabla 4).

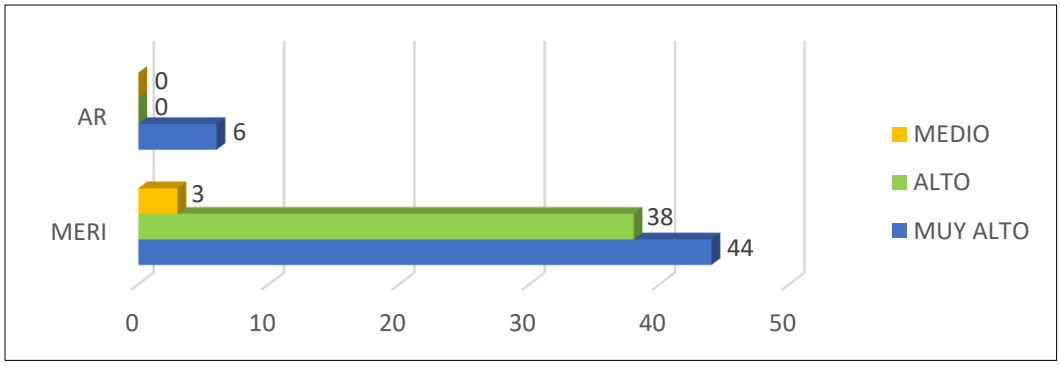


Figura 14. Nivel de riesgo de las EEI de acuerdo con el MERI o AR.

Respecto al análisis de erradicaciones, se identificaron ocho eventos que corresponden a tres mamíferos y un insecto, realizados en siete islas de tres ANP (Tabla 6).

Tabla 6. EEI erradicadas en las ANP de la región.

Área natural protegida	Isla	Superficie (ha)	Especie exótica invasora	Año	Método de erradicación
Banco Chinchorro	Cayo Centro	539	Gato feral (*Felis catus*)	2014	Trampeo
			Rata negra (*Rattus rattus*)	2015	Dispersión aérea y manual
	Cayo Norte Mayor	29		2012	Dispersión aérea
	Cayo Norte Menor	15			
Arrecife Alacranes	Pérez	11		2011	Dispersión manual
	Muertos	16	Ratón casero (*Mus musculus*)		
	Pájaros	2			
Isla Contoy	Contoy	230	Palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*)	2009	Manejo, trampeo y saneamiento

Fuente: Elaboración propia a partir de Aguirre-Muñoz et al. 2017; DOF, 2009.

En cuanto a la revisión de los Programas de Manejo y los Estudios Previos Justificativos de las ANP (Anexo 1), se identificaron ocho actividades productivas que se llevan a cabo al interior de la poligonal de las ANP. Para el caso de los ecosistemas terrestres las actividades más recurrentes fueron la agricultura y la ganadería, mientras que, para los ecosistemas costeros, marinos e insulares, la pesca y el turismo (ecoturismo) (Fig. 15).

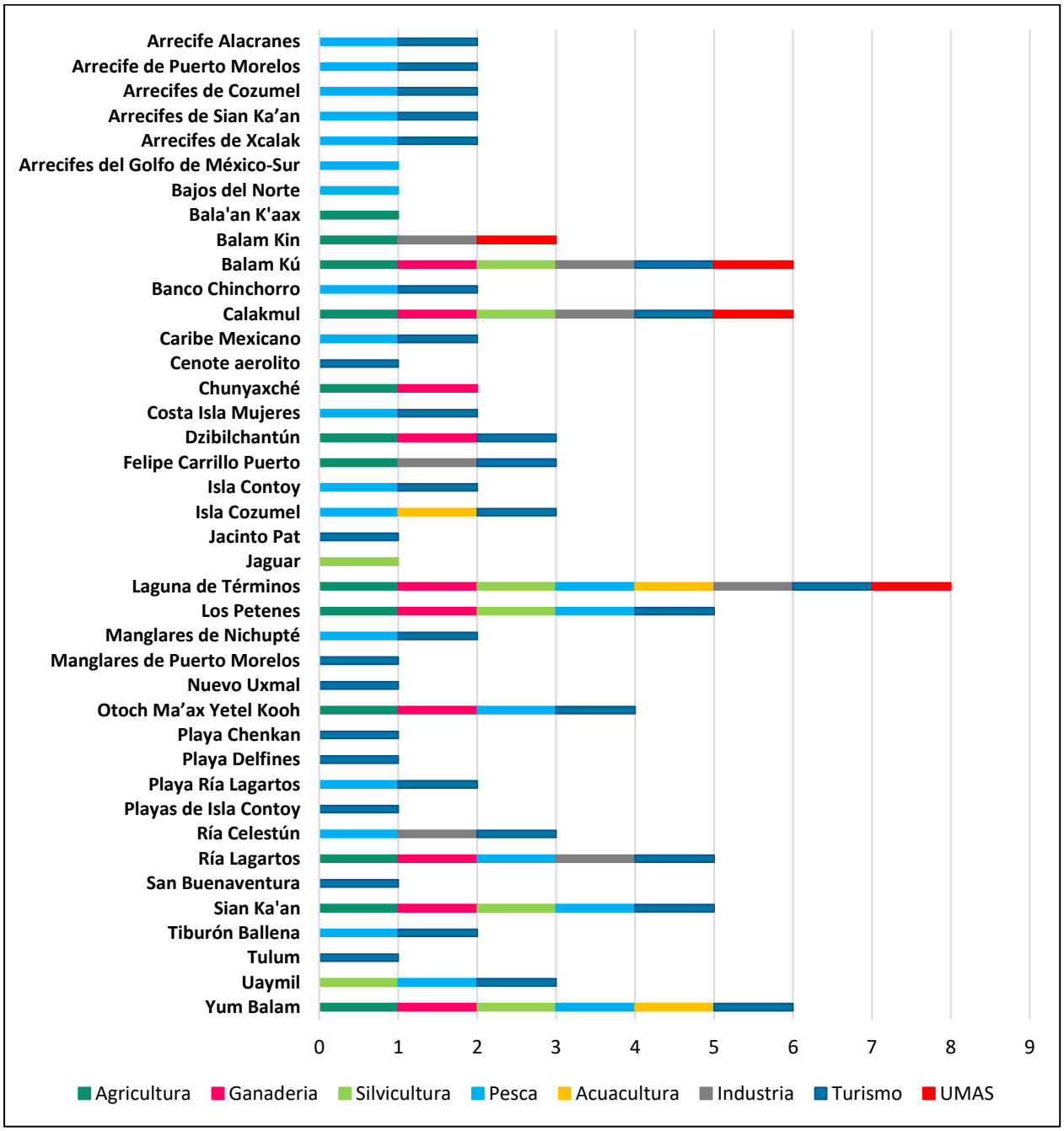


Figura 15. Actividades productivas implementadas en las ANP de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia a partir de la sección de Programas de Manejo y Estudios Previos Justificativos del Anexo 1.

III.3. Discusión

Aunque el número de EEI varía en cada estado de la península de Yucatán (Fig. 16), la mayoría de los grupos taxonómicos están presentes en la mayoría de las ANP (Figs. 10 y 12). Las causas pueden ser atribuidas a que si bien, las ANP de la región maya comparten características biogeográficas y culturales, también comparten vías de introducción, factores de presión y problemáticas similares (Sección de Programas de Manejo y Estudios Previos Justificativos del Anexo 1). De acuerdo con un estudio realizado por la CONABIO (2022) entre 1985 y 2021, los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán han reducido su capital natural de forma alarmante convirtiéndolos en los tres estados con mayor pérdida de hábitat a nivel nacional, principalmente en el periodo 2011 - 2021 (Figs. 17-20). Esta pérdida de hábitat y consecuente fragmentación favorecen la incursión de EEI, particularmente cuando las condiciones biogeográficas lo favorecen, tal es el caso de la península de Yucatán que cuenta con una planicie que no supera los 350 msnm (Carnevali et al. 2010; Ellis et al. 2017), lo que puede facilitar que las EEI se muevan con notable rapidez, a su vez, la dispersión o propagación de las EEI favorecen la degradación de los ecosistemas y la pérdida de sus servicios (Hulme, 2018).

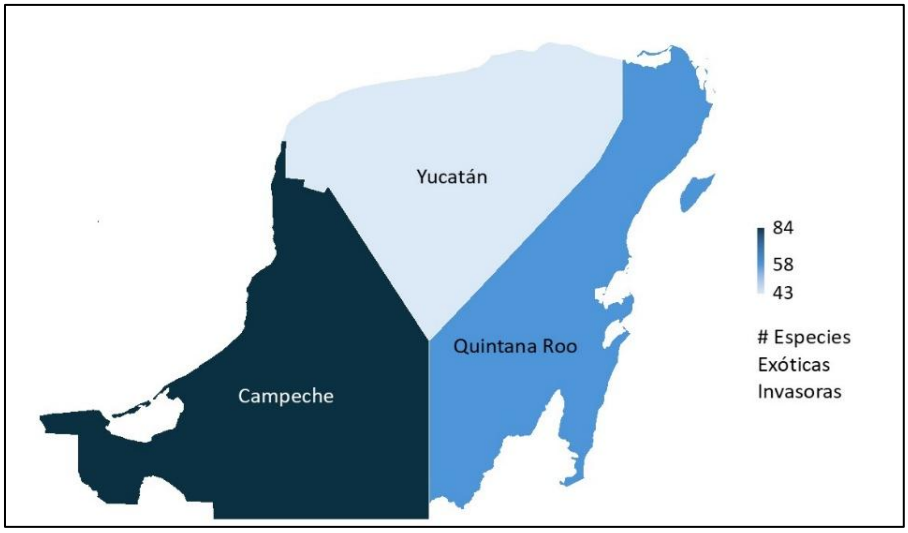


Figura 16. Número de EEI en las ANP de los estados de la península de Yucatán.

El cambio de uso de suelo para la actividad ganadera es la causa directa más importante de pérdida de bosques tropicales en la península de Yucatán, las regiones con mayor deforestación por la ganadería incluyen el suroeste, centro y norte de Campeche, noreste de Yucatán y sur de Quintana Roo (Ellis et al. 2017; Figs. 18-20). La agricultura comercial tecnificada también ha sido una causa importante en la pérdida de cobertura forestal, principalmente en el norte y centro de Campeche y el sur de Quintana Roo (Ellis et al. 2017; Figs. 18 y 19).

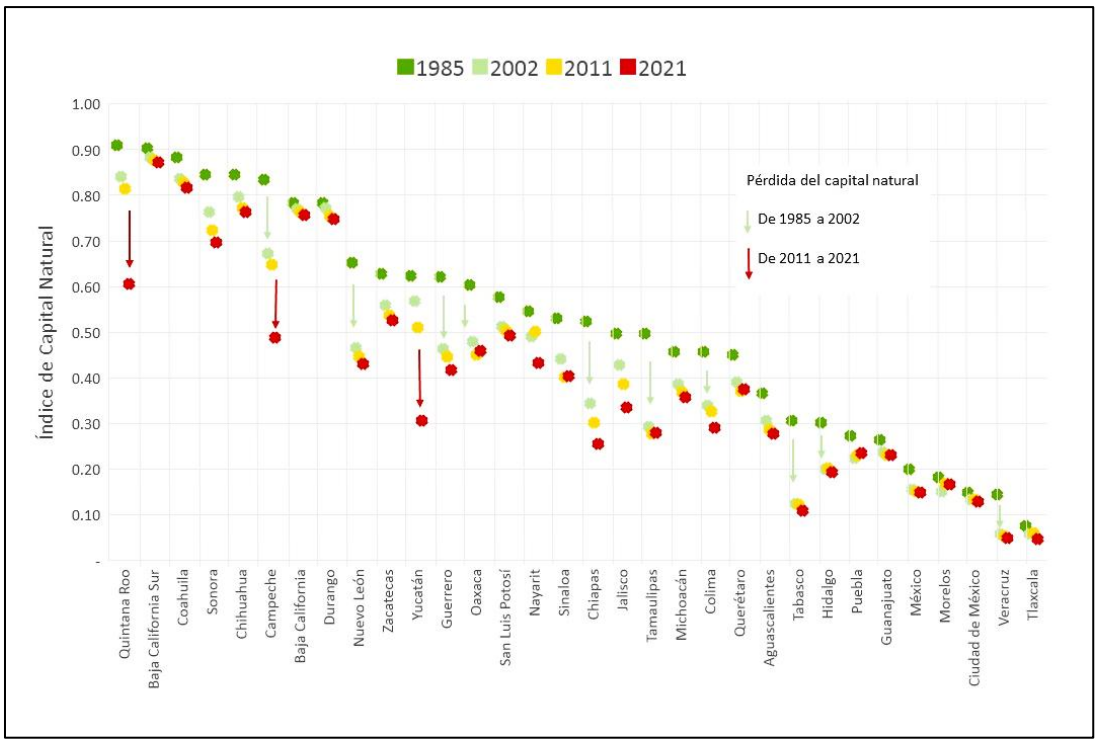


Figura 17. Pérdida de capital natural en México. Las flechas rojas enfatizan el deterioro en los estados de Campeche, Yucatán y Quintan Roo (CONABIO, 2022).

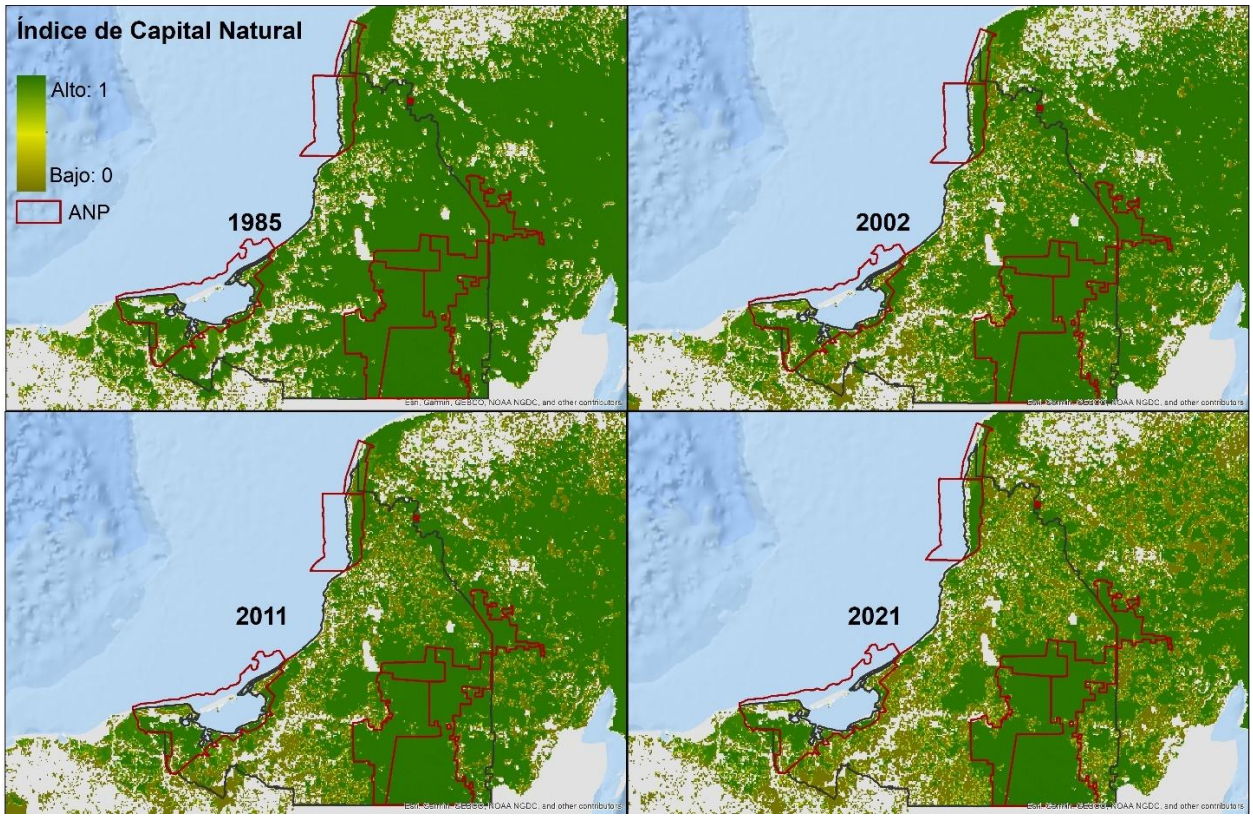


Figura 18. Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Campeche (CONABIO, 2022).

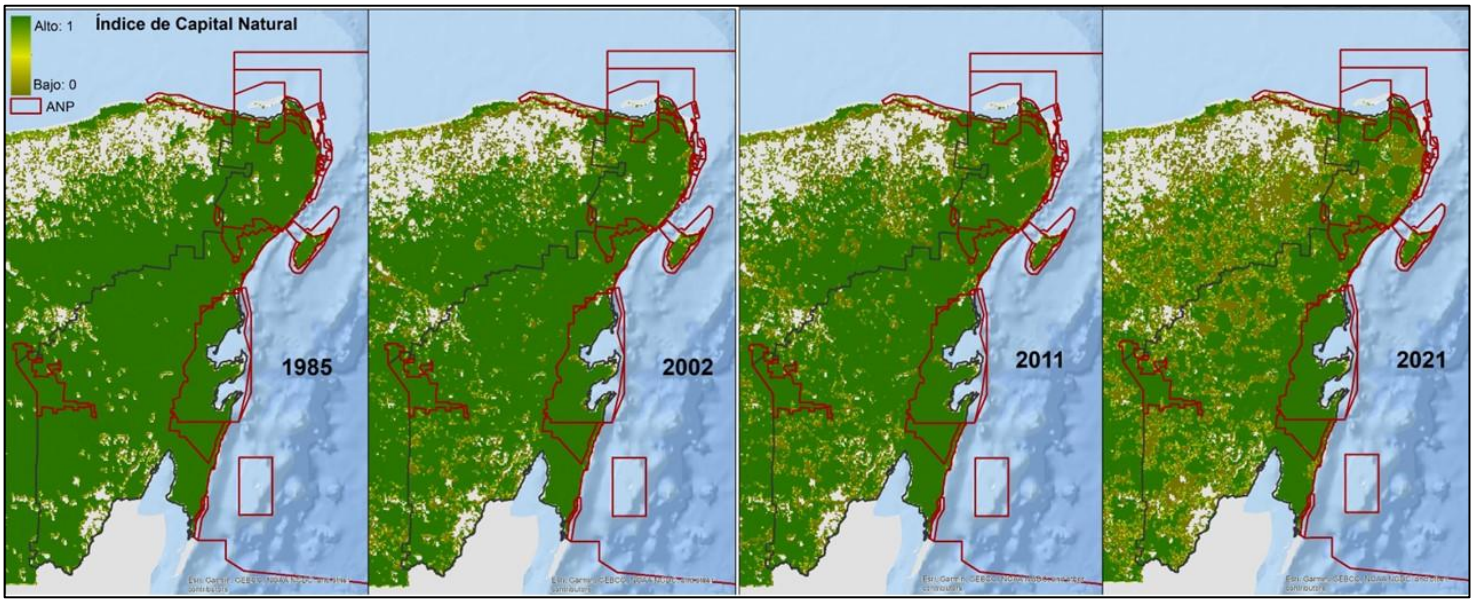


Figura 19. Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Quintana Roo (CONABIO, 2022).

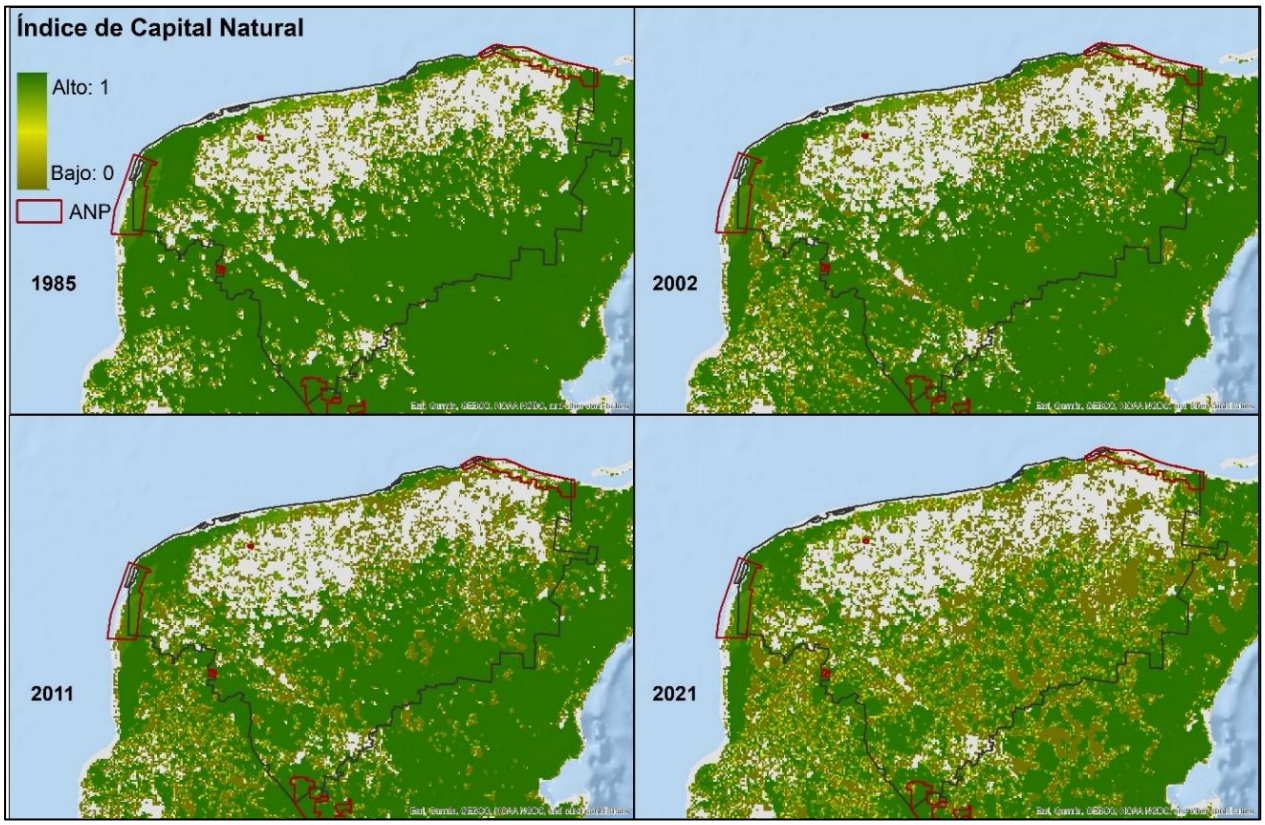


Figura 20. Evolución de la pérdida del capital natural en el estado de Yucatán (CONABIO, 2022).

De las 92 EEI identificadas en este trabajo, 78.26% corresponden a especies terrestres, mientras que el 21.74% son especies acuáticas (continentales y marinas), lo que representa dos vertientes en las estrategias de gestión, ya que las ANP terrestres cuentan con una superficie de 2,840,016.94 ha, mientras que las ANP marinas cuentan con una superficie de 15,331,682.21 ha (CONANP, 2026).

De acuerdo con los resultados en las ANP, los diversos grupos taxonómicos están afectando a la biodiversidad nativa y prioritaria para la conservación [como la depredación de flamencos (*Phoenicopterus ruber*) y tortugas marinas (*Eretmochelys imbricata* y *Chelonya midas*) por parte de perros ferales en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos (Pronatura, 2018; Fundación Pedro y Elena Hernández, 2018)]; a la economía de las comunidades locales [por la destrucción de artes de pesca debido a la captura incidental de pez diablo (*Pterygoplichthys disjunctivus* y *P. pardalis*), que afecta los ingresos de los pescadores en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (Amador-Del Ángel et al. 2015; Wakida-Kusunoki y Amador-Del Ángel, 2008)]; y a la salud pública [como la afectación de los mosquitos (*Aedes aegypti* y *A. albopictus*) por la trasmisión de enfermedades como dengue y chikunguña en diversas áreas protegidas de la península de Yucatán (Bond et al. 2019; Ortega-Morales et al. 2018)]. Aunado a lo anterior, las sinergias con otros cambios globales como el calentamiento global están acelerando las invasiones actuales y facilitando nuevas, aumentando así el alcance y los impactos de las EEI (Pyšek et al. 2020). Por ejemplo, temperaturas más elevadas pueden permitir que mosquitos exóticos invasores expandan su rango de distribución (IUCN, 2000).

Las especies con mayor presencia en las ANP fueron: la garza ganadera (*Bubulcus ibis*) y la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*) con un 82.5%, y la paloma doméstica (*Columba livia*) con un 77.5%, con la consideración de que hay ANP con una poligonal totalmente marina como Bajos del Norte y Tiburón Ballena. Estas especies se encuentran asociadas a comunidades humanas y compiten con aves nativas por alimento, sitios de anidación y material para la construcción de nidos (CABI, 2025; GISD, 2025).

En el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, se registró el mayor número de riqueza de especies con 57, y la totalidad de las actividades productivas identificadas en la región (agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuacultura, industria, turismo y Unidades de Manejo de Vida Silvestre; Figs. 15 y 18), por lo que, en el ANP se da la mayor distribución de EEI en sus ecosistemas terrestres, acuáticos, costeros e insulares. En el medio acuático, además de la

problemática de las actividades productivas se suma el transporte de EEI dentro o sobre embarcaciones, y el comercio de mascotas con la posterior repercusión de liberaciones intencionales (Mendoza et al. 2014).

Respecto a especies con un solo registro que pueden causar controversia sobre su distribución y presencia, destaca el caso del pez león rojo (*Pterois miles*) en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, el cual fue identificado a través de técnicas de biología molecular en una muestra de 77 individuos colectados, de los cuales uno resultó ser *Pterois miles*, además, su presencia en la región atlántica noroccidental se documentó desde 2004 para las costas de Carolina del Norte (Guzmán-Méndez et al. 2017), lo que sugiere que la especie podría estar expandiéndose en la región a un ritmo muy lento. Como medida de atención inmediata en la región del Caribe mexicano, *Pterois miles* requiere de una estrategia de monitoreo y prevención que tome como referencia las vías, vectores y formas de propagación de especies que han llegado en el pasado (CBD, 2025; Lipinskaya et al. 2020), tal es el caso del pez de la misma familia *Pterois volitans*, ya ampliamente distribuido en toda la zona marina de la península de Yucatán y en general en la costa atlántica del continente (Loreto-Viruel et al. 2023).

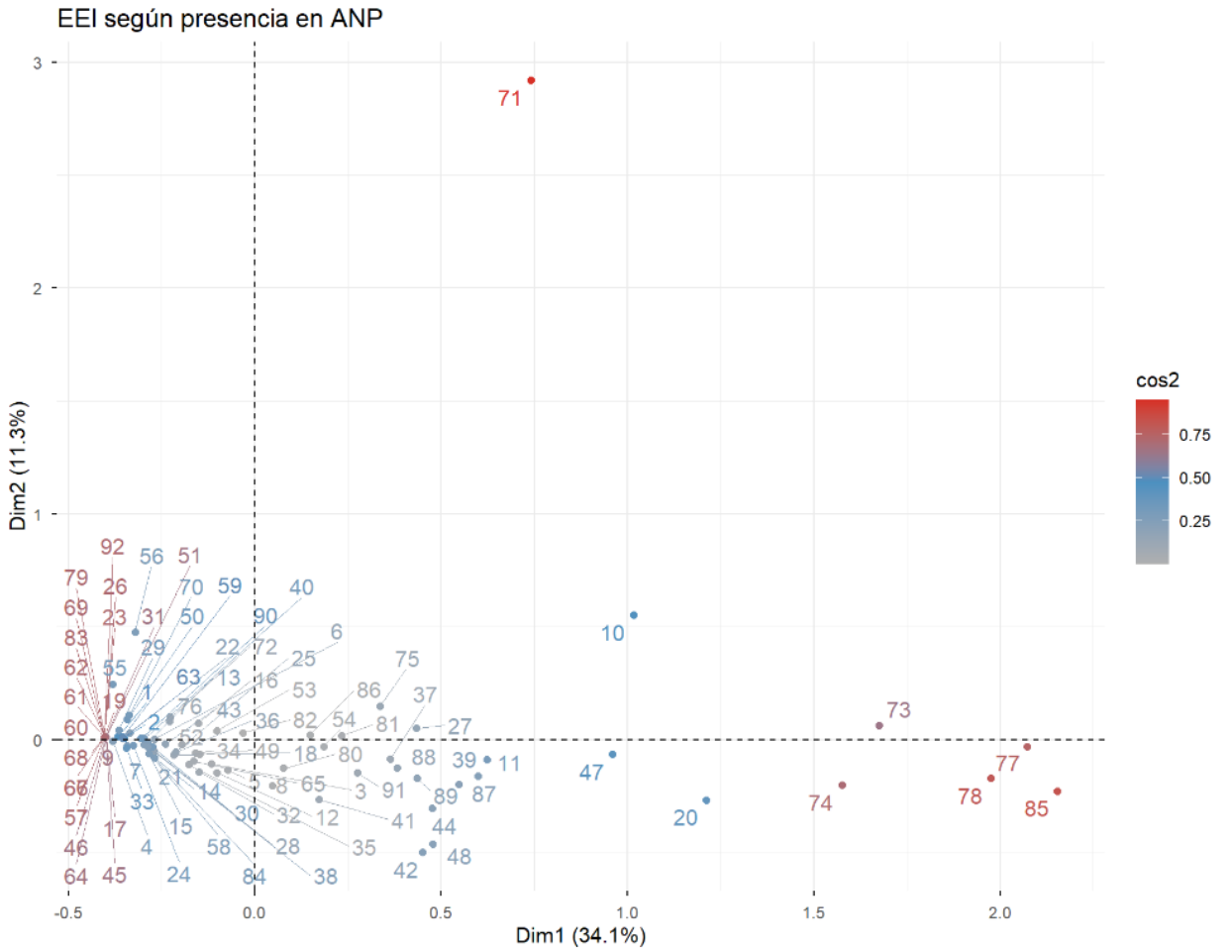
En el caso de las macroalgas, es importante mencionar que, dentro de los resultados preliminares se identificaron tres especies: *Ulva lactuca*, *Caulerpa verticillata* y *Caulerpa taxifolia* con un nivel de invasividad medio, alto y muy alto respectivamente de acuerdo con su MERI (CONABIO, 2015), las cuales resultaron del procedimiento metodológico planteado en la tesis. Sin embargo, se excluyeron de acuerdo con las siguientes consideraciones: *Caulerpa taxifolia*, aunque existen reportes para el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Apartado et al. (2002) discutieron la confusión nomenclatural que se realizó en 1964 y el “nombre mal aplicado”, concluyendo que la especie no se encuentra distribuida en México; *Caulerpa verticillata*, aunque es una especie ampliamente distribuida en el Caribe y el Atlántico (Guiry y Guiry, 2025; Espinoza-Avalos et al. 2015), no se considera invasora en la vertiente del Atlántico, solo en el Pacífico; de igual forma para *Ulva lactuca*, aunque se encuentra distribuida en el Caribe y el Atlántico (Guiry y Guiry, 2025) no se considera invasora. La información anterior, fue confirmada al realizar una consulta con la experta en macroalgas marinas, Dra. Ileana Ortegón-Aznar de la Universidad Autónoma de Yucatán, quien proporciono elementos científicos para dicha determinación.

Por otra parte, se identificó a la macroalga verde (*Caulerpa ollivieri*) como EEI en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, la Reserva Estatal de Dzilam, y en diversas zonas de la costa de

Yucatán (Ortegón-Aznar et al. 2015), y aunque actualmente está especie no cuenta con una evaluación del MERI o un análisis de riesgo, fue incluida en el presente trabajo. Por lo cual, es importante que se realice una evaluación o análisis de riesgo para determinar su nivel de invasividad, lo cual reforzará las medidas de gestión para su monitoreo, prevención, manejo y control, principalmente en esta etapa de la invasión, y particularmente en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos.

Para la discusión de los datos recabados en este trabajo, se realizó un Análisis de Correspondencias Múltiples (**ACM**) [el cual reduce la complejidad de los datos al identificar las direcciones de gradientes donde existe mayor y menor variación, y, ordena y posiciona cada elemento dentro de un plano de tal forma que aquellos con patrones similares quedan cercanos entre sí, mientras que los que son diferentes se ubican más alejados] en el programa R, el cual permitió visualizar el comportamiento de las EEI en función de su presencia en ANP (Fig. 21). Se observó una estructura en dos dimensiones, las cuales mostraron en conjunto el 45.4% de la varianza total (Dim1 = 34.1%, Dim2 = 11.3%), esto quiere decir que la distribución de las especies en el espacio de ordenación mostró un gradiente marcado a lo largo de la primera dimensión, con la mayoría de las especies concentradas cerca del origen, y un subconjunto de especies claramente separado hacia valores positivos de la Dim1 (Fig. 21). Un grupo de especies ubicado en el extremo positivo de la Dim1 incluyó a *Anolis sagrei*, *Hemidactylus frenatus*, *Bubulcus ibis*, *Columba livia* y *Streptopelia decaocto*. Estas especies indican un patrón diferenciado de ocurrencia en las ANP con un $\cos^2 \geq 0.64$. Adicionalmente, un grupo intermedio conformado por *Casuarina equisetifolia*, *Dactyloctenium aegyptium* y *Terminalia catappa* también se posicionó hacia el lado positivo de la Dim1.

La Dim2 capturó variación adicional, separando algunas especies del conjunto principal a lo largo del eje vertical. Destaca *Pterois volitans*, que se ubicó en los valores más altos de la Dim2 con un $\cos^2 \geq 0.94$, otras especies mostraron una dispersión moderada a lo largo de este eje, contribuyendo a la diferenciación de subgrupos dentro del espacio de ordenación (Fig. 21). Este análisis muestra que las EEI no se distribuyen completamente al azar entre las ANP. La mayoría de las especies tienen una presencia amplia y similar entre varias ANP, sin formar patrones muy definidos. Sin embargo, existe un grupo reducido de especies que sí aparecen juntas y se asocian a ciertas ANP, lo que indica que hay conjuntos particulares de invasión. Además, algunas especies presentan patrones claramente distintos al resto, lo que sugiere que no todas las invasiones siguen el mismo comportamiento (Fig. 21).



1	*Caulerpa ollivieri*	24	*Egeria densa*	47	*Terminalia catappa*	70	*Pterois miles*
2	*Abrus precatorius*	25	*Eichhornia crassipes*	48	*Aedes aegypti*	71	*Pterois volitans*
3	*Albizia lebbeck*	26	*Elaeis guineensis*	49	*Aedes albopictus*	72	*Eleutherodactylus planirostris*
4	*Andropogon gayanus*	27	*Eleusine indica*	50	*Linepithema humile*	73	*Anolis sagrei*
5	*Arundo donax*	28	*Emilia fosbergii*	51	*Monomorium pharaonis*	74	*Hemidactylus frenatus*
6	*Azadirachta indica*	29	*Emilia sonchifolia*	52	*Pheidole megacephala*	75	*Hemidactylus turcicus*
7	*Bambusa vulgaris*	30	*Eragrostis cilianensis*	53	*Tapinoma melanocephalum*	76	*Indotyphlops braminus*
8	*Bothriochloa pertusa*	31	*Hedera helix*	54	*Raoiella indica*	77	*Bubulcus ibis*
9	*Cajanus cajan*	32	*Hyparrhenia rufa*	55	*Cordylophora caspia*	78	*Columba livia*
10	*Casuarina equisetifolia*	33	*Impatiens walleriana*	56	*Plumularia setacea*	79	*Cyanoliseus patagonus*
11	*Catharanthus roseus*	34	*Kalanchoe pinnata*	57	*Charybdis hellerii*	80	*Lonchura malacca*
12	*Cenchrus ciliaris*	35	*Lagenaria siceraria*	58	*Penaeus monodon*	81	*Lonchura punctulata*
13	*Centella asiatica*	36	*Leonotis nepetifolia*	59	*Melanoides tuberculata*	82	*Molothrus bonariensis*
14	*Crotalaria retusa*	37	*Megathyrsus maximus*	60	*Tarebia granifera*	83	*Myiopsitta monachus*
15	*Cryptostegia grandiflora*	38	*Melia azedarach*	61	*Ctenopharyngodon idella*	84	*Passer domesticus*
16	*Cynodon dactylon*	39	*Melinis repens*	62	*Cyprinus carpio*	85	*Streptopelia decaocto*
17	*Cynodon nlemfuensis*	40	*Moringa oleifera*	63	*Oreochromis aureus*	86	*Sturnus vulgaris*
18	*Cyperus esculentus*	41	*Nerium oleander*	64	*Oreochromis mossambicus*	87	*Canis lupus familiaris*
19	*Cyperus papyrus*	42	*Oeceoclades maculata*	65	*Oreochromis niloticus*	88	*Felis catus*
20	*Dactyloctenium aegyptium*	43	*Pennisetum purpureum*	66	*Parachromis managuensis*	89	*Mus musculus*
21	*Dichanthium annulatum*	44	*Ricinus communis*	67	*Parachromis motaguensis*	90	*Rattus norvegicus*
22	*Dypsis lutescens*	45	*Rottboellia cochinchinensis*	68	*Pterygoplichthys disjunctivus*	91	*Rattus rattus*
23	*Echinochloa crus-galli*	46	*Spathodea campanulata*	69	*Pterygoplichthys pardalis*	92	*Sus scrofa*

Macroalgas; Plantas; Insectos; Arácnidos; Hidrozoos; Crustáceos; Moluscos; Peces; Anfibios; Reptiles; Aves; Mamíferos.

Figura 21. ACM de las EEI en función de su presencia en ANP.
La proximidad entre puntos indica similitud en su patrón de ocurrencia en las ANP, mientras que la separación refleja diferencias en su distribución.
Entre más alto sea el cos², más confiable la posición de una especie en el gráfico.

Para interpretar únicamente los patrones mejor representados en el espacio de ordenación, se seleccionaron aquellas especies con valores de $\cos^2 \geq 0.5$ en las dos dimensiones. En el extremo negativo de la Dim 1 se observó un grupo relativamente compacto de EEI con posiciones muy similares (cercanas) en valores negativos en el espacio de ordenación (Fig. 22), lo que indica que comparten patrones de ocurrencia similares en una ANP: *Cyperus papyrus*, *Echinochloa crus-galli*, *Elaeis guineensis*, *Charybdis hellerii*, *Tarebia granifera*, *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio*, *Parachromis managuensis* y *P. motaguensis*, *Pterygoplichthys disjunctivus* y *P. pardalis*, *Cyanoliseus patagonus*, *Myiopsitta monachus* y *Sus scrofa* en el APFF Laguna de Términos; *Cajanus cajan*, *Cynodon nlemfuensis*, *Hedera hélix*, *Rottboellia cochinchinensis*, *Spathodea campanulata*, *Monomorium pharaonis* y *Oreochromis mossambicus* en la RB Calakmul; *Caulerpa ollivieri* en la RB Ría Lagartos; *Andropogon gayanus* en el APFF Balam Kin; *Dypsis lutescens* en el APFF Cenote Aerolito; *Emilia sonchifolia* en el APFF San Buenaventura; *Linepithema humile* en el PN Arrecifes de Xcalak; *Cordylophora caspia* en el PN Arrecifes del Golfo de México-Sur, y *Pterois miles* en la RB Banco Chinchorro.

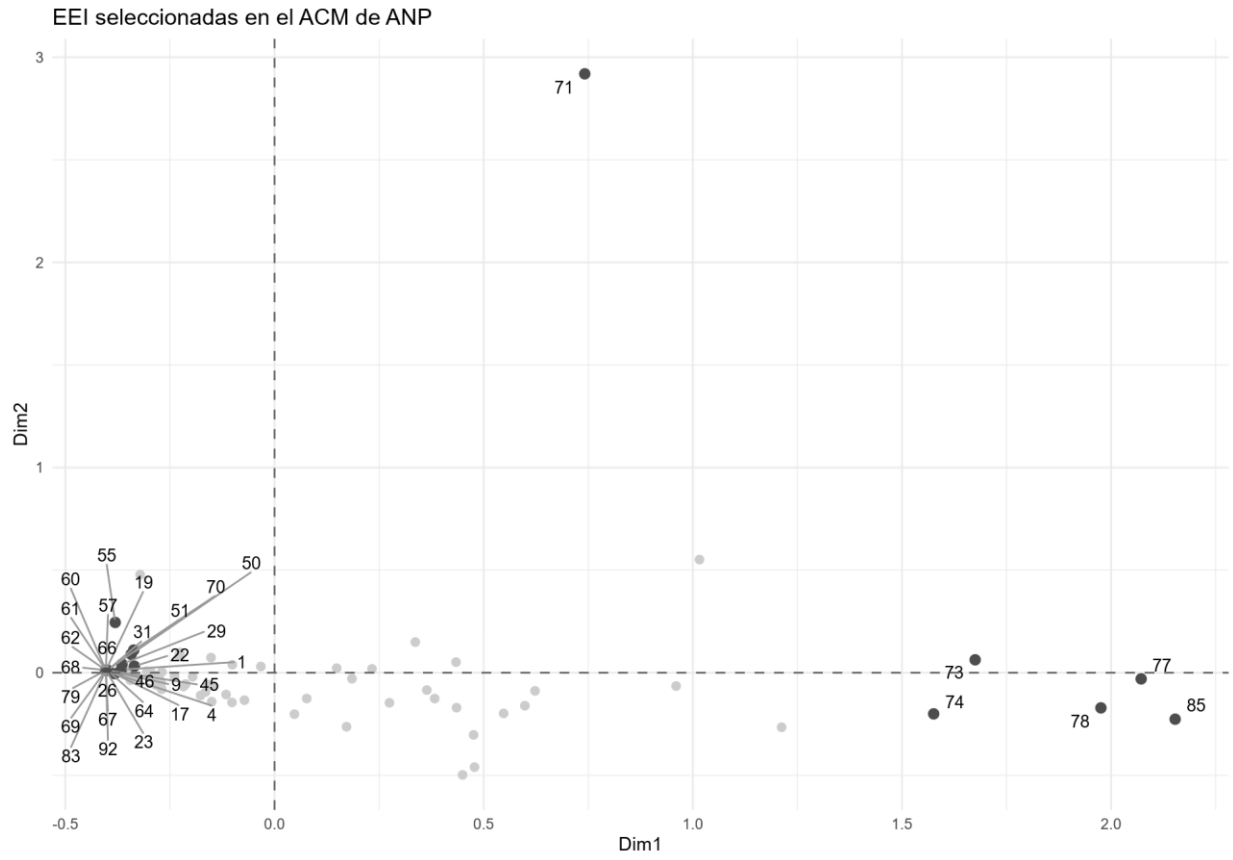


Figura 22. ACM de las EEI en función de su presencia en ANP con especies $\cos^2 \geq 0.5$ en dos dimensiones. Cada punto representa una especie y su posición refleja su patrón de ocurrencia en las ANP. Números de especies de acuerdo con la Fig. 21.

Cada una de las 92 EEI identificadas tiene una principal vía de introducción por la cual inician su proceso de invasión o reinvasión con su consecuente impacto a ecosistemas específicos [CABI, 2025; GISD, 2025 (Tabla 7)]. Las vías más significativas son: uso ganadero, uso ornamental, transporte de mercancías, uso como mascotas y, acuarios, mientras que los ecosistemas más impactados son: la selva seca, pastizal, selva húmeda, lagos e islas (Tabla 7). Sí bien una especie exótica puede tener varías vías de introducción y afectar diversos ecosistemas, se hizo énfasis en lo más representativo, debido a que se estructuró una estrategia para la atención inmediata de las EEI prioritarias, la cual se presenta en el Capítulo IV.

En un análisis de conglomerados aplicado a las vías se identificaron ocho grupos de EEI con perfiles similares de introducción, los cuales reflejan diferencias claras en los mecanismos asociados a las vías de introducción de las EEI, mientras que en un noveno grupo se asociaron las especies que ingresan por vías menos utilizadas (Figura 23).

El clúster 1, estuvo definido por la vía de uso ganadero e incluyó particularmente pastos exóticos invasores, evidenciando un grupo claramente asociado a actividades agropecuarias. El clúster 2, estuvo asociado a la vía de uso ornamental, reflejando un patrón de introducción ligado a fines estéticos o de jardinería. El clúster 3, estuvo definido por la vía de transporte de mercancía, indicando la dispersión asociada a actividades humanas indirectas, los grupos taxonómicos se centraron en insectos, anfibios, reptiles y mamíferos (roedores). El clúster 4, estuvo definido por la vía de acuarios, lo que se encuentra asociado a liberaciones intencionales o fugas, e incluyó principalmente al grupo de los peces y moluscos. El clúster 5, estuvo asociado a la vía de uso como mascotas e incluyó a algunas especies de aves y mamíferos (perro y gato), mostrando un patrón de introducción ligado al ámbito doméstico o recreativo. El clúster 6, estuvo definido por la vía de uso medicinal, representando un grupo específico de plantas con fines terapéuticos. El clúster 7, estuvo asociado a la vía de uso acuícola e incluyó a algunas especies de peces y crustáceos como el camarón tigre, lo que indica un patrón consistente de introducción ligado a actividades productivas acuáticas. El clúster 8, estuvo definido por la vía de uso forestal, representando un grupo específico de especies de plantas con fines relacionados con el manejo o aprovechamiento de los recursos forestales. El clúster 9, presentó un perfil más heterogéneo, sin una vía dominante, aunque con contribuciones bajas de múltiples modalidades como las asociadas a asentamientos humanos, aguas de lastre, uso industrial, uso artesanal, viveros, bioincrustaciones, uso habitacional, aprovechamiento cinegético, y las asociadas al ganado (Fig. 23).

Tabla 7. Principales vías de introducción de las EEI identificadas en las ANP y ecosistemas afectados.

EEI	Vía	Ecosistema	EEI	Vía	Ecosistema
Caulerpa ollivieri	A	1	*Eichhornia crassipes*	C	8
Centella asiática	B	2	*Aedes aegypti*	J	2
Hedera helix	C	2	*Aedes albopictus*	J	2
Catharanthus roseus	B	3	*Linepithema humile*	J	9
Cryptostegia grandiflora	C	4	*Monomorium pharaonis*	J	2
Nerium oleander	C	4	*Pheidole megacephala*	J	5
Dypsis lutescens	C	5	*Tapinoma melanocephalum*	J	2
Elaeis guineensis	D	5	*Raoiella indica*	K	5
Emilia fosbergii	C	6	*Cordylophora caspia*	L	1
Emilia sonchifolia	B	6	*Plumularia setacea*	L	1
Impatiens walleriana	C	2	*Panaeus monodon*	M	10
Spathodea campanulata	C	2	*Charybdis hellerii*	A	10
Casuarina equisetifolia	E	7	*Melanoides tuberculata*	H	10
Terminalia catappa	E	7	*Tarebia granifera*	H	10
Kalanchoe pinnata	B	7	*Oreochromis aureus*	M	11
Lagenaria siceraria	B	5	*Oreochromis mossambicus*	M	11
Cyperus esculentus	F	4	*Oreochromis niloticus*	M	11
Cyperus papyrus	G	4	*Parachromis managuensis*	H	11
Ricinus communis	D	5	*Parachromis motaguensis*	H	11
Abrus precatorius	G	5	*Ctenopharyngodon idella*	M	11
Albizia lebbeck	E	5	*Cyprinus carpio*	M	11
Cajanus cajan	F	5	*Pterygoplichthys disjunctivus*	H	12
Crotalaria retusa	E	6	*Pterygoplichthys pardalis*	H	12
Egeria densa	H	8	*Pterios miles*	H	13
Leonotis nepetifolia	C	2	*Pterois volitans*	H	13
Azadirachta indica	E	5	*Eleutherodactylus planirostris*	J	2
Melia azedarach	C	6	*Anolis sagrei*	J	5
Moringa oleifera	C	5	*Hemidactylus frenatus*	J	2
Oeceoclades maculata	C	2	*Hemidactylus turcicus*	J	5
Andropogon gayanus	F	6	*Indotyphlops braminus*	K	5
Arundo donax	C	4	*Bubulcus ibis*	N	14
Bambusa vulgaris	I	4	*Columba livia*	O	6
Bothriochloa pertusa	F	6	*Streptopelia decaocto*	O	5
Cenchrus ciliaris	F	6	*Lonchura malaca*	P	6
Cynodon dactylon	F	6	*Lonchura punctulata*	P	3
Cynodon nlemfuensis	F	6	*Molothrus bonariensis*	P	5
Dactyloctenium aegyptium	F	6	*Passer domesticus*	O	6
Dichanthium annulatum	F	6	*Cyanoliseus patagonus*	P	15
Echinochloa cruz-galli	F	4	*Myiopsitta monachus*	P	15
Eleusine indica	B	6	*Sturnus vulgaris*	P	5
Eragrostis cilianensis	F	6	*Canis lupus familiaris*	P	16
Hyparrhenia rufa	F	6	*Felis catus*	P	15
Megathyrsus maximus	F	6	*Mus musculus*	J	15
Melinis repens	C	6	*Rattus norvegicus*	J	15
Pennisetum purpureum	F	6	*Rattus rattus*	J	15
Rottboellia cochinchinensis	F	6	*Sus scrofa*	Q	17

Vías de introducción: Aguas de lastre (**A**); Uso medicinal (**B**); Uso ornamental (**C**); Uso industrial (**D**); Uso forestal (**E**); Uso ganadero (**F**); Uso artesanal (**G**); Acuarios (**H**); Uso habitacional (**I**); Transporte de mercancía (**J**); Viveros (**K**); Bioincrustaciones (**L**); Uso acuícola (**M**); Asociada al ganado (**N**); Asociada a asentamientos humanos (**O**); Uso como mascotas (**P**); Aprovechamiento cinegético (**Q**).
Ecosistemas afectados: Pradera marina (**1**); Selva húmeda (**2**); Matorral (**3**); Bosque de galería (**4**); Selva seca (**5**); Pastizal (**6**); Duna costera (**7**); Cenote (**8**); Bosque de manglar (**9**); Laguna (**10**); Lago (**11**); Río (**12**); Arrecife de coral (**13**); Pantano (**14**); Isla (**15**); playa (**16**); Humedal herbáceo (**17**).
Fuente: CABI, 2025; GISD, 2025; Referencias del Anexo 1.

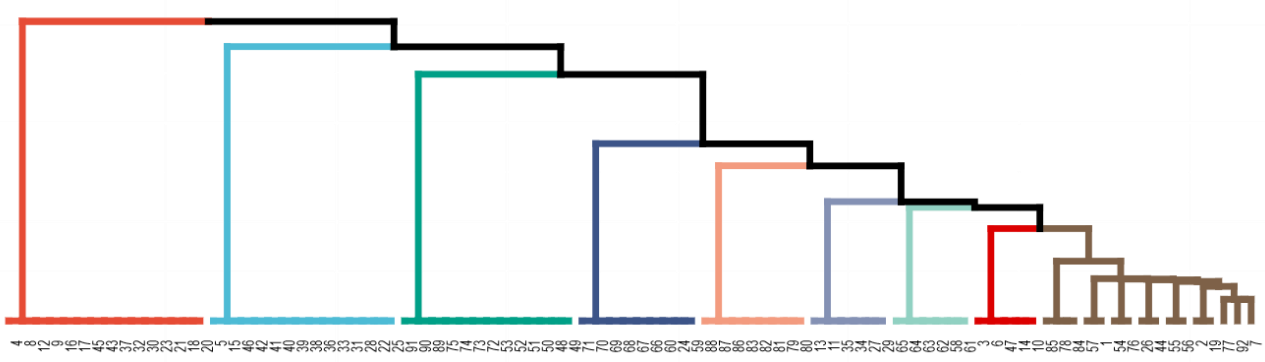


Figura 23. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de EEI con base en sus vías de introducción. La altura representa la disimilitud entre especies, y los colores indican los clústeres identificados.
Los números están relacionados con las EEI de acuerdo con la Fig. 21.

En lo que respecta a la relación de las vías de introducción, ecosistemas afectados y grupo taxonómico fueron reorganizados en variables integrales: uso ornamental y viveros se agruparon como **horticultura**; acuarios, uso acuícola, uso como mascotas y aprovechamiento cinegético, fueron integradas como **mascotas/acuarios**; uso forestal, uso ganadero, asociada al ganado, uso medicinal, uso artesanal, uso industrial, uso habitacional y asociada a asentamientos humanos fueron asociadas en **producción humana**, y, aguas de lastre, bioincrustaciones y transporte de mercancía fueron integradas como **transporte** (Fig. 24). Por su parte, los ecosistemas se agruparon en cuatro macroecosistemas: selva húmeda y bosque de galería fueron integrados en la categoría **bosque/selva húmeda**; selva seca, pastizal y matorral fueron asociadas en la categoría **terrestre seco**; lago, laguna, río, pantano, humedal herbáceo y cenote se agruparon como **humedal de agua dulce**, finalmente arrecife de coral, playa, duna costera, pradera marina, bosque de manglar e isla fueron agrupados en la categoría **costero-marino** (Figs. 24 y 25). Los grupos taxonómicos quedaron definidos en **plantas** donde se incorporó la macroalga (*Caulerpa ollivieri*); **vertebrados** e **invertebrados**. (Fig. 25).

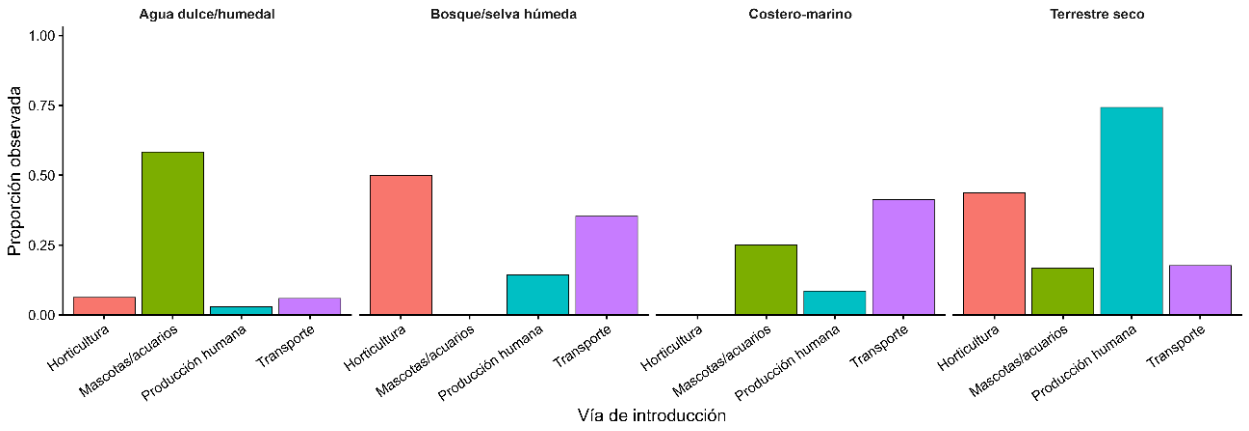


Figura 24. Macroecosistemas impactados según agrupación de vías de introducción.

El macroecosistema más impactado por las vías de introducción fue el terrestre seco, particularmente por la agrupación de producción humana, también destaca la agrupación mascotas/acuarios para el macroecosistema agua dulce/humedal, la agrupación horticultura para el macroecosistema bosque/selva húmeda, así como la agrupación transporte para el macroecosistema costero-marino (Fig. 24).

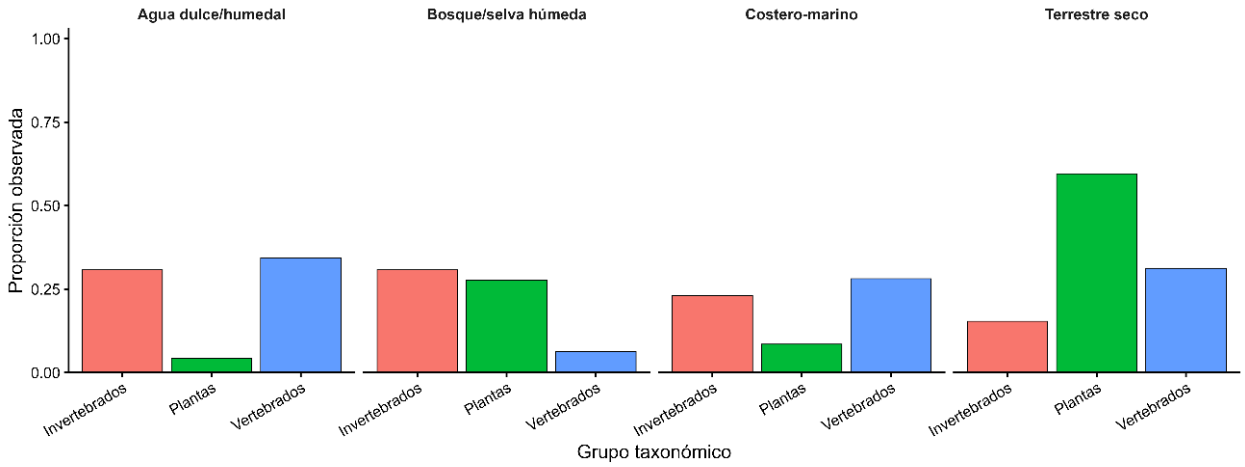


Figura 25. Macroecosistemas afectados según grupo taxonómico.

El macroecosistema más afectado por grupo taxonómico fue el terrestre seco, particularmente por las plantas. También, resalta el grupo de los vertebrados para los macroecosistemas agua dulce/humedal y costero marinos, así como el grupo de los invertebrados para el macroecosistema bosque/selva húmeda (Fig. 25).

Finalmente, en relación a la discusión presentada, y toda vez que las diversas problemáticas relacionadas con EEI en ANP requieren de un fundamento para definir una ruta crítica de acción urgente, se presentan una serie de políticas públicas como eje para la planeación estratégica [Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México (**ENEI**); Estrategia Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable del Territorio Insular Mexicano (**ENCTIM**); Programa para la Atención y Manejo de Especies Exóticas Invasoras y Ferales en Áreas Naturales Protegidas de Competencia Federal; Programas de Conservación y Manejo (Todas las ANP decretadas en la región hasta 2025 listan las EEI y refieren la problemática); Estudios Previos Justificativos (Todas las ANP decretadas en la región entre 2023 y 2025 listan las EEI y refieren la problemática); Estrategias para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad de los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo; Estrategia Regional para el control del pez león en el gran Caribe; Plan de Manejo de Especies Exóticas Invasoras en la Reserva de la

Biosfera Sian Ka'an; Protocolo de Detección Temprana y Respuesta Rápida para especies invasoras en el Complejo Sian Ka'an (Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil) y su zona de influencia; Protocolo sobre bioseguridad insular para el Parque Nacional Arrecife Alacranes; Protocolo sobre bioseguridad insular para la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, y Protocolo sobre bioseguridad insular en el Área de Protección de Flora y Fauna Isla de Cozumel], lo cual se debe fortalecer al considerar los ambientes urbanos y rurales de la región, donde frecuentemente inician las invasiones hacía las ANP (Genovesi y Mónaco, 2013; Foxcroft et al. 2017).

También se requiere fortalecer la investigación sobre la invasividad de las especies, la invasibilidad del hábitat y el impacto a los ecosistemas a mayor detalle (Kumschick et al. 2014). Una evaluación inicial de la presencia de EEI y de la etapa de invasión en la que se encuentran es esencial para establecer prioridades de gestión, las cuales son clave para apoyar a los administradores de ANP a dirigir las acciones estratégicas que garanticen resultados positivos a gran escala al menor costo económico (Ziller et al. 2020). Se considera que los 253 documentos existentes y que referenciaron la información de presencia-ausencia de EEI en las ANP fueron muy limitados, tan solo el rubro de los artículos científicos apenas superó el 40% del total, el nivel de problemática que se ha planteado en esta tesis requiere mayor atención por parte de la comunidad científica para generar información sobre el impacto de las EEI, sus tendencias poblacionales, y la definición de técnicas de control y erradicación. El análisis sobre el número de erradicaciones en las ANP también planteó un panorama alarmante, pues desde 2009 solo se han registrado 8 casos, todos en ecosistemas insulares, y desde 2015 no se ha logrado la erradicación de alguna población en las ANP de la región.

En este contexto, este trabajo presenta una aportación importante al conocimiento de las invasiones biológicas en México, al presentar un diagnóstico de la presencia de EEI en 40 ANP de la península de Yucatán y zona marina. Derivado de lo anterior, se publicaron los siguientes artículos científicos: Aquatic Invasive Species in the Protected Areas of the Yucatan Peninsula and Adjacent Marine Zone, Mexico (Revista Sustainability; Anexo 2) y, Especies Exóticas Invasoras y sus Implicaciones sobre los Bosques de Manglar en las Reservas de la Biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos (Revista Madera y Bosques; Anexo 2). Además, en colaboración con investigadores de instituciones europeas se publicó el artículo: Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors (Revista Neobiota; Anexo 2), el cual refiere la interacción de las EEI en diversos sectores productivos.

III.4. Conclusiones

En las 40 ANP de competencia federal de la península de Yucatán y la zona marina adyacente, se encuentran distribuidas 92 EEI (provenientes de todos los continentes), de las cuales, el 78.26% corresponde a especies terrestres, mientras que el 21.74% son especies acuáticas. La agrupación taxonómica fue: macroalgas marinas (una especie), plantas terrestres y acuáticas (46), insectos (6), arácnidos (una especie), hidrozoos (2), crustáceos (2), moluscos (2), peces (11), anfibios (una especie), reptiles (4), aves (10) y mamíferos (6). La información de este diagnóstico se sustenta en 253 documentos, el SNIB y el GBIF. El 14.13% de las especies están incluidas en lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la UICN, mientras que 52.17% se encuentran en el Acuerdo por el que se determina la Lista de especies exóticas invasoras para México. La mayor riqueza de especies se concentró en cuatro ANP: Laguna de Términos (61.95%), Calakmul (55.43%), Los Petenes (41.30%) y, Sian Ka'an (40.21%), mientras que Bajos del Norte y Tiburón Ballena que tienen una poligonal totalmente marina cuentan con una especie (1.08%), el pez león (*Pterois volitans*). El 95.65% de las EEI cuentan con un nivel de invasividad de valor "alto" y "muy alto" de acuerdo con las evaluaciones de riesgo, lo que representa un estado crítico para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Las especies con mayor presencia en las ANP fueron: la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*) y la garza ganadera (*Bubulcus ibis*) con 82.5%, la paloma doméstica (*Columba livia*) con 77.5%, y el abaniquillo pardo del Caribe (*Anolis sagrei*) con 70%, lo que sugiere una distribución generalizada en toda la península de Yucatán. Respecto a las actividades productivas que se realizan en las ANP, se identificaron: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuacultura, industria, turismo y Unidades de Manejo de Vida Silvestre. Laguna de Términos es la única ANP donde se implementan todas las actividades productivas, seguida por Balam Kú, Calakmul y Yum Balam donde se realizan seis. Respecto a las erradicaciones, se identificaron ocho eventos que corresponden a tres mamíferos [gato (*Felis catus*), ratón doméstico (*Mus musculus*) y la rata negra (*Rattus rattus*)] y un insecto [la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum)*], realizadas en siete islas de tres ANP.

III.5. Recomendaciones

Actualizar el Acuerdo por el que se determina la Lista de especies exóticas invasoras para México (2016) en donde se incluyan las especies reguladas por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables.

Impulsar la investigación y financiamiento en la prevención de EEI a través de proyectos de ADN Ambiental en ecosistemas de agua dulce en ANP.

Implementar sistemas de monitoreo de especies marinas como macroalagas o invertebrados para realizar acciones de detección temprana y respuesta rápida, derivado de recurrentes factores climáticos.

Hacer vinculantes las diversas estrategias de atención de EEI con las reglas administrativas establecidas en los Programas de Manejo de las ANP.

Establecer un Fondo regional para la atención prioritaria de EEI de alto impacto en ANP, que cuente con recursos económicos para la implementación de proyectos de forma permanente.

Elaborar estudios sobre el impacto económico que ocasionan las EEI en las ANP y cuantificar las pérdidas económicas para las comunidades locales.

Desarrollar investigación multidisciplinaria para determinar la relación de las invasiones biológicas con otros impulsores de deterioro de los ecosistemas como el calentamiento global en ecosistemas marinos, la contaminación en ecosistemas de agua dulce y el cambio de uso de suelo en ecosistemas terrestres.

Promover la creación de Comités de atención a EEI, integrados por miembros del Consejo Asesor de las ANP, representantes de sectores productivos y personal especializado en la región, o que tengan incidencia en las vías de introducción y sus vectores.

Analizar a través del MERI u otro análisis de riesgo nuevas especies exóticas con un alto potencial invasor en la región, por ejemplo*, Colubrina asiática*, que ya cuenta con registros en las siguientes ANP: Sian Ka'an (CONANP, 2021; Flores-Martínez et al. 2019), Arrecifes de Xcalak, Puerto Morelos, Uaymil y Yum Balam (CONABIO, 2024; GBIF, 2024), o *Caulerpa ollivieri* que se conoce su afectación, pero no su nivel de invasividad, lo cual es relevante para la toma de decisiones.

Realizar denuncias ante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (**PROFEPA**) por delitos relacionados con la introducción, liberación o propagación de EEI en el medio silvestre, lo cual representa una falta grave a la normatividad y legislación ambiental en materia de conservación de biodiversidad.

Elaborar un diagnóstico nacional utilizando la metodología de esta tesis para identificar la situación actual de presencia-ausencia de las EEI en las 232 ANP, lo cual podrá fortalecer las líneas de acción para actualizar la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México.

CAPÍTULO IV. IMPACTO DE LAS ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Cuantificar el impacto de las EEI en los servicios ecosistémicos es un paso esencial para desarrollar prácticas y políticas eficaces para la gestión de especies invasoras (Cook et al. 2007). De acuerdo con la información sobre presencia de EEI en ANP de la península de Yucatán y el Caribe mexicano (Anexo 1); el MERI de las EEI (CONABIO, 2015); el Compendio de Especies Invasoras del Programa Mundial sobre Especies Invasoras (**GISD**, 2025) y del Centro de Biociencia Agrícola Internacional (**CABI**, 2025), se identificaron los impactos de las EEI a los servicios ecosistémicos, de acuerdo con la información biológica y ecológica de cada especie (Tabla 8; Figs. 26-31).

Son 17 servicios ecosistémicos los que se ven afectados por la presencia de las EEI identificadas en este trabajo, los cuales se ordenaron de acuerdo con la categorización de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), y corresponden a: **Aprovisionamiento** (Agua potable, Alimentación y Materias primas); **Regulación** (Agua, Calidad del aire, Clima, Control de plagas y enfermedades, Erosión, Moderación de eventos extremos, Polinización y, Purificación de agua y tratamiento de residuos); **Sustento** (Ciclo de nutrientes, Formación de suelo y Fotosíntesis); **Culturales** (Recreación y turismo, Salud física y mental, y Valores estéticos; Fig. 32).

Tabla 8. Impactos de las EEI a los servicios ecosistémicos de acuerdo con la categorización de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005).

Especies exóticas invasoras	**Servicios ecosistémicos**			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Macroalgas				
Caulerpa ollivieri		**Regulación del agua** (puede alterar la composición química del agua y el sedimento. En situaciones de alta densidad, pueden disminuir el oxígeno disponible, afectando a la fauna bentónica)		**Recreación y ecoturismo** [al descomponerse en la costa generan olores desagradables y desechos (biomasa) que afectan el turismo y las actividades recreativas como el buceo y la pesca deportiva]
Plantas				
Abrus precatorius			**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (altera el estado de los nutrientes del suelo, principalmente el nitrógeno)	

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Albizia lebbeck	**Alimentos** (afecta a la agricultura)	**Control de plagas y enfermedades** (puede actuar como hospedera de importantes plagas o enfermedades)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (cambia los niveles de nitrógeno del suelo con impactos negativos en el balance y el ciclo de los nutrientes)	
Andropogon gayanus		**Control de plagas y enfermedades** (se relaciona con la distribución de hormigas arrieras que causan la defoliación)	**Formación de suelo** (amplía la propagación de incendios forestales)	**Valores estéticos** (transforma paisajes de vegetación nativa en pastizales)
Arundo donax	**Agua potable** (modifica los cauces de agua y su disponibilidad)	**Regulación del agua** (eleva los rangos de evapotranspiración; provoca cambios en la composición química y biológica; reduce la disponibilidad de agua subterránea); **Control de plagas y enfermedades** (hábitat para la proliferación de especies plaga como mosquitos y roedores); **Regulación de la erosión** (causa erosión)	**Formación de suelo** (amplía la propagación de incendios forestales en zonas rivereñas)	
Azadirachta indica	**Alimentos** (afecta a la agricultura)	**Regulación de la erosión** (evita el crecimiento del sotobosque y causa erosión); **Control de plagas y enfermedades** (favorece la proliferación de plagas)	**Ciclo de nutrientes** (modificación del régimen de nutrientes)**;** **Formación de suelo** (causa salinización)	
Bambusa vulgaris			**Fotosíntesis** (limita el paso de luz para los diversos estratos de la vegetación)	
Bothriochloa pertusa	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de caña de azúcar)]	**Regulación del agua** (altera la hidrología del suelo); **Control de plagas y enfermedades** (favorece la proliferación de plagas)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (agota los nutrientes del suelo)	
Cajanus cajan			**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (aumenta los niveles de fosforo y magnesio, lo que afecta el suelo y la estructura vegetal)	
Casuarina equisetifolia	**Agua potable** (contribuye a reducir el nivel freático de las áreas que invade, con	**Regulación de la erosión** (desplaza la vegetación con raíces profundas e incrementa los niveles de erosión	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (causa acidificación y altera la composición	**Recreación y ecoturismo**; **Valores estéticos** (reduce el ancho de playas)

	sus raíces puede afectar las tuberías)	en playas, dunas de arena y matorrales). Ha logrado desplazar al manglar en Nichupté; **Regulación del agua** (agota la humedad del suelo); **Regulación del clima** (afecta la temperatura de los hábitats que invade)	química del suelo en hábitats costeros) **Fotosíntesis** (limita el paso de luz para el sotobosque)	
Especies exóticas invasoras	**Servicios ecosistémicos**			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Catharanthus roseus			**Formación de suelo** (altera el estado de los nutrientes del suelo principalmente en zonas costeras y matorrales)	
Cenchrus ciliaris	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de arroz, caña de azúcar, garbanzo, papa y maíz)] **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación de la calidad del aire** (causa incendios en comunidades de vegetación desértica, incluso cuando esta verde); **Regulación del agua** (perjudica los procesos de infiltración y escurrimiento de la lluvia en regiones áridas); **Control de plagas y enfermedades** (hospedera de diversas plagas)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes, disminuye la cantidad de nitrógeno en el suelo)	
Centella asiática	**Alimentos** [afecta a la agricultura (campos de arroz y té)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedera de diversas plagas)		
Crotalaria retusa	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de sorgo)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedera de diversas plagas)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (altera las condiciones químicas del suelo y el ciclo de nutrientes)	
Cryptostegia grandiflora	**Alimentos** [afecta a la ganadería (provoca la pérdida de pastos con infestaciones densas que reducen la capacidad de carga ganadera hasta en un 100%, además, es una planta venenosa para el ganado)]	**Regulación de la erosión** (incrementa el riesgo de erosión del suelo debido a la falta de cobertura vegetal) **Regulación del agua** (obstaculiza el curso de agua de los ríos)		**Recreación y ecoturismo** (su alta densidad ha afectado a las comunidades vegetales en parques nacionales, se puede encontrar en los cuerpos de agua, el suelo y en árboles de hasta 40 metros de altura)
Cynodon dactylon	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de aguacate, arroz, avena, café, cacahuate, caña, cebada, cártamo, cebolla, chile, cítricos, durazno, fríjol, girasol, linaza, maíz, mango,	**Control de plagas y enfermedades** (hospedera de diversas plagas) **Regulación del agua** (altera ciclos hidrológicos)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	

	manzana, melón, papa, piña, sorgo, soya, tomate, trigo y uva)]; y a la ganadería (alimento tóxico para el ganado); **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación de la calidad del aire** (altera regímenes del fuego)		
Especies exóticas invasoras	**Servicios ecosistémicos**			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Cynodon nlemfuensis	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de arroz, maíz, sorgo, trigo y cítricos)] **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)]	**Regulación del agua** (altera ciclos hidrológicos); **Regulación de la calidad del aire** (altera regímenes del fuego); **Control de plagas y enfermedades** (riesgo de transmisión de enfermedades para cultivos de trigo y maíz)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
Cyperus esculentus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de aguacate, alfalfa, arroz, avena, cacahuate, calabaza, caña, cebolla, cítricos, fríjol, girasol, maíz, mango, manzana, melón, papa, pepino, plátano, sorgo, soya, tomate, uva y vainilla)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)]	**Regulación del agua** (altera ciclos hidrológicos, crece en aguas someras o en grupos flotantes y bloquea el paso del agua) **Control de plagas y enfermedades** (hospedera de plagas)		
Cyperus papyrus	**Alimentos** [afecta a la pesca (bloquea la navegación); y a la agricultura (invade cultivos de arroz)]	**Regulación del agua** (altera ciclos hidrológicos, debido a la evaporación y transpiración de las plantas. También causa bloqueos en los cursos de agua)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz cuando prolifera en los cuerpos de agua)	**Recreación y ecoturismo** (muchos cuerpos de agua están invadidos por poblaciones de esta especie, las cuales bloquean la navegación)
Dactyloctenium aegyptium	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de arroz, cacahuate, caña de azúcar, cítricos, frijol, maíz, mango y sorgo)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedera de plagas que afectan al cultivo de arroz)		
Dichanthium annulatum		**Regulación del agua** (altera los ciclos hidrológicos); **Regulación de la calidad del aire** (altera regímenes del fuego)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
Dypsis lutescens		**Control de plagas y enfermedades** [especie hospedera del del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica)*]	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Echinochloa crus-galli	**Alimentos** [afecta a la agricultura (tiene un impacto significativo en el cultivo de arroz, pero también en la alfalfa, caña, cebada, maíz, sorgo, soya, tomate, trigo, papa y uva)]; y a la ganadería (acumula altos niveles de nitratos que puede envenenar al ganado); **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación del agua** (crece como maleza en vías fluviales, pantanos y otros humedales) **Control de plagas y enfermedades** (hospedera de plagas y enfermedades, principalmente en cultivos de arroz, alfalfa, caña, cebada, maíz, trigo y uva)	**Fotosíntesis** (compite significativamente por la luz) **Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes, puede eliminar hasta el 80% de nitrógeno del suelo)	
Egeria densa	**Alimentos** [afecta a la pesca (interfiere en la pesca)]	**Regulación del agua**; **Purificación del agua y tratamiento de residuos** (restringe el movimiento del agua, afecta la calidad del agua y los procesos hidrológicos); **Control de plagas y enfermedades** (crea un ambiente apropiado para la proliferación de grandes poblaciones de mosquitos del género *Anopheles*)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz **Ciclo de nutrientes** (absorbe una gran cantidad de nutrientes del agua) **Formación de suelo** (favorece la sedimentación)	**Recreación y ecoturismo** (las capas densas en los cuerpos de agua interfieren con la navegación, la pesca deportiva y la natación)
Eichhornia crassipes	**Alimentos** [afecta a la agricultura (tiene un impacto significativo en el cultivo de arroz), reduce al agua para riego); y la pesca (limita el acceso de embarcaciones, interfiere en las redes de pesca, una infestación puede conducir a la desoxigenación y reducir las poblaciones de peces)]; **Agua potable** (la pérdida por evapotranspiración de elevada biomasa pone en peligro la viabilidad de suministro de agua, especialmente en temporada de sequía)	**Regulación del agua**; **Purificación del agua y tratamiento de residuos** (incrementa la evapotranspiración, afecta la calidad del agua, los procesos hidrológicos y acelera el azolvamiento en embalses); **Control de plagas y enfermedades** (generan un hábitat para mosquitos transmisores de enfermedades, y es hospedera de diversas plagas); **Moderación de eventos extremos** (restringe el flujo de agua y genera riesgo de inundaciones)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz a la columna de agua) **Ciclo de nutrientes** (absorbe una gran cantidad de nutrientes del agua) **Formación de suelo** (favorece la sedimentación)	**Recreación y ecoturismo** (las capas densas en los cursos fluviales impiden el uso recreativo y turístico como la navegación, los deportes náuticos y la pesca deportiva
Elaeis guineensis		**Control de plagas y enfermedades** (su siembra como monocultivo favorece las plagas de artrópodos como *Raoiella indica*, y es vector de diversas enfermedades);	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo, principalmente nitrógeno total, magnesio y potasio)	

		Regulación del clima (contribuye a la modificación del clima derivado de la extensa conversión de bosques nativos)		
Especies exóticas invasoras	**Servicios ecosistémicos**			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Eleusine indica	**Alimentos** [afecta a la ganadería (alimento tóxico para el ganado)] y a la agricultura (cultivos de arroz, cacahuate, cacao, caña, garbanzo, maíz, mango, papa, papaya, plátano, piña, sorgo, soya, tabaco, trigo y zanahoria); **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Control de plagas y enfermedades** (puede actuar como hospedador de importantes plagas y enfermedades para los cultivos)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo, principalmente la reducción de potasio)	
Emilia fosbergii	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de arroz, café, caña de azúcar, piñón y yuca)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de importantes plagas para los cultivos)		
Emilia sonchifolia	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de arroz, café, chile, maíz, piña, papaya, tabaco y tomate)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de importantes plagas para los cultivos)		
Eragrostis cilianensis	**Alimentos** [afecta a la ganadería (causa lesiones en la boca del ganado, puede contaminar la leche de vaca, y es una especie tóxica para los caballos); y a la agricultura (cultivo de alfalfa, arroz, cacahuate, maíz, nogal, soya, tomate, yuca y uva)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación del agua** (disminuye la cantidad de agua disponible en la superficie del suelo después de un periodo de lluvia) **Control de plagas y enfermedades** (hospedero de plagas que afectan a los cultivos)		
Hedera hélix		**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de plagas que afectan a los cultivos)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz para diversos estratos de la vegetación); **Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
Hyparrhenia rufa	**Alimentos** [afecta a la ganadería (los tallos lignificados lastiman la nariz del ganado que come el renuevo)]	**Regulación de la calidad del aire** (favorece incendios, ya que se quema muy fácilmente, posterior al incendio se fortalece)		

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Impatiens walleriana		**Control de plagas y enfermedades** (puede actuar como hospedero de importantes plagas o enfermedades)	**Fotosíntesis** (compite significativamente por la luz)	
Kalanchoe pinnata	**Alimentos** [afecta a la ganadería (especie toxica para el ganado); y a la agricultura (cultivo de papa)]	**Control de plagas y enfermedades** (puede actuar como hospedero de importantes plagas o enfermedades)	**Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
Lagenaria siceraria		**Control de plagas y enfermedades** (hospedera de plagas para las cucurbitáceas)	**Fotosíntesis** (trepa por árboles y arbustos compitiendo por la luz solar)	
Leonotis nepetifolia	**Alimentos** [afecta a la ganadería (desplazan a especies forrajeras del ganado); y a la agricultura (cultivo de alfalfa, arroz, caña de azúcar, pepino y tabaco)]	**Regulación del agua** (forma masas densas en las riberas de los ríos y en las llanuras de inundación, dificulta el acceso a los cursos de agua); **Control de plagas y enfermedades** (huésped del virus mosaico de la alfalfa, pepino y tabaco)		
Megathyrsus maximus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de arroz, cacahuate, cacao, café, caña de azúcar, cítricos, coco, maíz, mango, plátano, piña, sorgo y tomate)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación de la calidad del aire** (produce altas cargas de combustible para incendios, posterior al incendio se regenera rápidamente a partir de rizomas subterráneos)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo, principalmente nitrógeno y fosforo)	**Recreación y ecoturismo** (restringe el uso recreativo de las zonas costeras de lagos y estanques)
Melia azedarach	**Alimentos** [afecta a la ganadería (las hojas, corteza, flores y frutos son venenosos para ovejas, cerdos y ganado vacuno)]	**Regulación del agua** (las masas densas a lo largo de los cursos de agua reducen el caudal)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz para diversos estratos de la vegetación); **Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (su hojarasca puede aumentar el pH de los suelos y agregar nitrógeno, alterando significativamente la química del suelo, también reduce los niveles de aluminio)	
Melinis repens	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de alfalfa, agave, arroz, caña de azúcar, cítricos, durazno, estropajo, maíz, mango, manzana, pera, pimiento y tomate)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Regulación de la calidad del aire** (promueve regímenes anómalos de fuego y genera incendios)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Moringa oleífera	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de papaya)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de plagas que afectan a cultivos y plantas nativas)		
Nerium oleander	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de alfalfa, almendro, aguacate, café, cebada, cerezo, lechuga, naranja, romero y uva); y a la ganadería (especie toxica para el ganado)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de plagas que afectan a cultivos, principalmente la uva)		
Oeceoclades maculata	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de café y cítricos)	**Control de plagas y enfermedades** [hospedero de plagas que afectan a cultivos (café y cítricos) y plantas nativas]		
Pennisetum purpureum		**Regulación del agua** (altera el ciclo hidrológico al reducir el flujo de agua en altas concentraciones); **Regulación de la calidad del aire** (altera regímenes del fuego)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
. *Ricinus communis*			**Fotosíntesis** (limita el paso de luz para diversos estratos de la vegetación)	
Rottboellia cochinchinensis	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de ajonjolí, arroz, cacahuate, camote, caña, cítricos, maíz, mango, papaya, plátano, piña, sorgo y soya); y a la ganadería (desplaza pastos forrajeros nativos útiles para el ganado, y lacera la boca de las vacas)]; **Materias primas** (afecta el cultivo de algodón)	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de plagas del arroz, caña de azúcar y maíz)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	
Spathodea campanulata	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de café)]	**Polinización** (puede causar mortalidad en abejas y hormigas, debido a la presencia de sustancias mucilaginosas junto al néctar)	**Fotosíntesis** (limita el paso de luz para diversos estratos de la vegetación)	
Terminalia catappa			**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (modifica el ciclo de los nutrientes del suelo)	

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Insectos				
Aedes aegypti				**Salud física y mental** (vector de numerosas enfermedades para el ser humano, entre las que destacan: el dengue, fiebre amarilla, zika y chikungunya); **Recreación y ecoturismo** (su presencia limita la visitación turística)
Aedes albopictus				**Salud física y mental** (vector de numerosas enfermedades para el ser humano, entre las que destacan: el zika, dengue, chikungunya, encefalitis equina del este, encefalitis japonesa, oeste del Nilo y fiebre amarilla): **Recreación y ecoturismo** (su presencia limita la visitación turística)
Linepithema humile	**Alimentos** [afecta a la agricultura (transfiere el hongo patógeno *Phytophthora citricola* a plantaciones de aguacate); a la industria de aves de corral (causan estrés y muerte de crías); y a la producción de miel (por afectación de colmenas)]	**Polinización** (reduce el número de artrópodos nativos, incluidos polinizadores esenciales) **Control de plagas y enfermedades** (depredación de homópteros que funcionan como control biológico de plagas)		**Salud física y mental** (su picadura puede propagar enfermedades)
Monomorium pharaonis	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de maíz, ya que muerde las plántulas para beber la savia)]			**Salud física y mental** (su picadura puede propagar enfermedades)
Pheidole megacephala	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de cacahuate, cacao, café, caña de azúcar, cítricos, coco, maíz, plátano y piña; también afecta a la maquinaria agrícola principalmente tubos de riego por goteo en la caña de azúcar)]			**Salud física y mental** (como plaga doméstica puede contaminar los alimentos y causar problemas de salud pública)
Tapinoma melanocephalum	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de caña de azúcar)]			**Salud física y mental** (como plaga doméstica puede contaminar los alimentos y causar problemas de salud pública)

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Aracnidos	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivo de coco, dátil y plátano)]			
Raoiella indica				
Hidrozoos	**Alimentos** (afecta a la piscicultura)			
Cordylophora caspia				
Plumularia setacea	**Alimentos** (en colonias puede afectar en los cultivos acuícolas)			
Crustáceos	**Alimentos** [afecta a la pesca (cangrejo); y a la acuacultura (camarón)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero potencial del virus que provoca el síndrome de la mancha blanca)		
Charybdis hellerii				
Penaeus monodon	**Alimentos** [afecta a la pesca y acuacultura (camarón)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero potencial del virus que provoca el síndrome de la mancha blanca)		
Moluscos		**Control de plagas y enfermedades** (portador de trematodos que ocasionan enfermedades al humano)		
Melanoides tuberculata				
Tarebia granifera	**Alimentos** (afecta a la pesca y acuacultura)	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de *Centrocestus formosanus* el cual infecta peces saturando sus branquias y asfixiándolos, por lo que causa grandes pérdidas económicas)	**Ciclo de nutrientes** (modifica el ciclo de los nutrientes, principalmente nitrógeno y fosforo)	**Salud física y mental** [hospedera intermediaria de parásitos al ser humano, como el gusano del hígado (*Clonorchis sinensis*) o el gusano de pulmón (*Paragonimus westermani*)]
Peces		**Control de plagas y enfermedades** (vector de parásitos y enfermedades transmisibles a los peces nativos); **Regulación del agua** (afecta los sedimentos y enturbia los cuerpos de agua, reduciendo su calidad)	**Ciclo de nutrientes** (modifica el ciclo de los nutrientes, acelera la eutrofización)	**Valores estéticos; Recreación y ecoturismo** (afecta a las aves acuáticas mediante la reducción de la vegetación acuática)
Ctenopharyngodon idella				
Cyprinus carpio		**Control de plagas y enfermedades** (vector de parásitos y enfermedades transmisibles a los peces nativos); **Regulación del agua** (afecta los sedimentos y reduce la calidad del agua, provoca turbidez)	**Ciclo de nutrientes** (aumenta los nutrientes en la columna de agua tanto por la suspensión de los sedimentos como por la excreción) **Fotosíntesis** (reduce la disponibilidad de luz para los macrófitos)	

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Oreochromis aureus		**Control de plagas y enfermedades** (vector de parásitos y enfermedades transmisibles a los peces nativos)		
Oreochromis mossambicus		**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de una amplia gama de parásitos y enfermedades)		
Oreochromis niloticus	**Alimentos** (afecta a la pesca)	**Control de plagas y enfermedades** (vector de parásitos y enfermedades transmisibles a los peces nativos)	**Ciclo de nutrientes** (genera un aumento de nutrientes en la columna de agua); **Fotosíntesis** (reduce la disponibilidad de luz debido a la eutrofización)	
Parachromis managuensis		**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de agentes que causan enfermedades)		
Parachromis motaguensis				
Pterygoplichthys disjunctivus	**Alimentos** [afecta a la pesca (provocan la pérdida de redes, ya que el pez se enreda y las rompen debido a las espinas y escudos que presentan en el cuerpo. También se ha registrado que afectan la calidad de la pesca debido al aumento de la contaminación, incluyendo la bioacumulación de metales pesados y bacterias coliformes)]	**Regulación del agua**; **Purificación del agua y tratamiento de residuos** (al cavar sus galerías desplazan toneladas de sedimentos ocasionando cambios en la calidad del agua); **Control de plagas y enfermedades** (vectores de parásitos); **Regulación de la erosión** (provocan erosión en los cuerpos de agua)	**Ciclo de nutrientes** (contribuyen a los problemas de sedimentación de los ríos, absorben la mayor parte del nitrógeno y el fósforo de los sistemas en su armadura corporal) **Fotosíntesis** (ocasionan turbidez debido a sus hábitos, como la suspensión del sedimento)	**Salud física y mental** (causan lesiones a los pescadores por el elevado número de individuos enredados en las artes de pesca) **Valores estéticos** (son responsables de la muerte masiva de aves, principalmente pelícanos)
Pterygoplichthys pardalis				
Pterois miles	**Alimentos** [afecta a la pesca (compite con especies de importancia pesquera como meros y pargos en la zona del Caribe)]	**Control de plagas y enfermedades** (hospedero de agentes que causan enfermedades a peces nativos)		**Salud física y mental**; **Recreación y ecoturismo** (presenta espinas afiladas cuyo veneno puede causar dolor e hinchazón a buceadores, practicantes de snorkel y pescadores); depreda coloridos peces y daña arrecifes, manglares y praderas marinas
Pterois volitans				
Anfibios				
Eleutherodactylus planirostris		**Control de plagas y enfermedades** (se le ha identificado con presencia del hongo quítrido de los anfibios *Batrachochytrium dendrobatidis*)	**Ciclo de nutrientes** (afecta el ciclo de los nutrientes)	**Recreación y ecoturismo** (se han registrado infestaciones en complejos turísticos y hoteles)

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Reptiles		**Control de plagas y enfermedades** (vector de enfermedades y parásitos)		
Anolis sagrei				
Hemidactylus frenatus		**Control de plagas y enfermedades** (se han aislado ácaros que viven en los dedos del gecko. Algunas especies de ácaros llevan protozoos que pueden ser transmitidos a otras especies de geckos o lagartijas)		
Hemidactylus turcicus		**Control de plagas y enfermedades** (posible vector de enfermedades y parásitos)		
Indotyphlops braminus				
Aves		**Control de plagas y enfermedades** (puede servir como agente de transporte y diseminación del *Clostridium botulinum*, bacteria responsable de la enfermedad del botulismo)		
Bubulcus ibis				
Columba livia				**Salud física y mental** (las palomas y sus nidos están infestadas con ectoparásitos como garrapatas, pulgas y ácaros que pueden causar problemas a la salud humana)
Cyanoliseus patagonus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (la especie ha generado pérdidas a cultivos agrícolas, principalmente de girasol)]			**Salud física y mental** [es vector de psitacosis (*Chlamydophila psittaci*), la cual es una zoonosis]
Lonchura malacca	**Alimentos** [afecta a la agricultura (puede ser una importante plaga para los cultivos de arroz y sorgo asociados a humedales)			**Salud física y mental** (portador de varias especies de parásitos sanguíneos como *Plasmodium* sp)
Lonchura punctulata	**Alimentos** (afecta a la agricultura)			
Molothrus bonariensis				
Myiopsitta monachus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (girasol, maíz, tomate y frutales); dispersa enfermedades entre los cultivos]	**Control de plagas y enfermedades** (tiene un alto potencial como vector de la enfermedad de Newcastle)		

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Passer domesticus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de avena, cebada, cereza, ciruela, frambuesa, fresa, maíz, manzana, pera, sorgo, trigo y uva) y la avicultura (puede consumir grandes cantidades de alimento para pollos)]	**Control de plagas y enfermedades** (es portadora del virus de la enfermedad de Newcastle y principal reservorio del virus de la encefalitis equina del oeste)		
Streptopelia decaocto	**Alimentos** [afecta a la agricultura (es considerada una plaga en los cultivos)]	**Control de plagas y enfermedades** (es vector de *Trichomonas gallinae*, portadora y transmisora del virus del Nilo occidental, y del circovirus de la paloma que causa enfermedad y mortalidad en la familia Columbiformes)		**Salud física y mental** (cuando están presentes en grandes cantidades, pueden convertirse en una importante molestia acústica. Además, producen grandes cantidades de heces, que podrían transmitir enfermedades a humanos)
Sturnus vulgaris	**Alimentos** [afecta a la agricultura (cultivos de cereza y cereales)]	**Control de plagas y enfermedades** (portador de *Salmonella enterica*, *Chlamydophilia psittaci*, *Mycobacterium avium*, paratuberculosis, *Histoplasma capsulatum*, entre otras 25 enfermedades, que pueden ser transmitidas a otras especies de aves, al ganado y a los cerdos)		**Salud física y mental** (se reconoce como un peligro potencial para la salud humana; es portador de numerosos organismos infecciosos y se le ha implicado en la transmisión de numerosas enfermedades)
Mamíferos	**Alimentos** [afecta a la ganadería (depreda al ganado y causa pérdidas de vacas y borregos debido a hidatidosis)]	**Control de plagas y enfermedades** (trasmite el virus de moquillo canino)		**Salud física y mental** (es el principal transmisor de la rabia al hombre)
Canis lupus subs. familiaris				
Felis catus	**Alimentos** (afecta a la avicultura)			**Salud física y mental** (portador y transmisor de diversas zoonosis; de bacterias que causan salmonelosis, del protozoo *Toxoplasma gondii* que causa toxoplasmosis, además de la rabia)
Mus musculus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (destrucción de cultivos)]	**Control de plagas y enfermedades** (puede transportar patógenos como leptospirosis que puede ser transmitida a roedores silvestres)		**Salud física y mental** [portador de enfermedades y parásitos infecciosos, como la peste bubónica (*Yersinia pestis*) y la salmonela (*Salmonella* spp.)]

Especies exóticas invasoras	Servicios ecosistémicos			
	Aprovisionamiento	***Regulación***	**Sustento**	**Culturales**
Rattus norvegicus	**Alimentos** [afecta a la agricultura (destrucción de cultivos)]			**Salud física y mental** (implicada en numerosas enfermedades con potencial zoonótico, las más conocidas incluyen: leptospirosis; himenolepiasis; fiebre por mordedura de rata o fiebre espirilar, fiebre Q y fiebre hemorrágica)
Rattus rattus	**Alimentos** [afecta a la ganadería; a la avicultura (matan a los pollos); y a la agricultura (plaga en cultivos de manzana, melón, sorgo y trigo)]	**Control de plagas y enfermedades** (transmite parásitos a roedores nativos, como *Trichuris muris*)		**Salud física y mental** (está asociada a la transmisión de enfermedades como: plaga bubónica, salmonelosis, leptospirosis, triquinosis, tularemia y fiebre de mordida de rata)
Sus scrofa	**Alimentos** [afecta a la agricultura (destrucción de cultivos de avena, cacahuate, caña, maíz, soya y trigo; pueden trasmitir la cepa patógena de *Escherichia coli* a los campos de espinacas) y a la ganadería (depredación de ganado joven, daño a cercas y fuentes de agua para la ganadería)]	**Control de plagas y enfermedades** (portador de enfermedades para los cerdos domésticos, como la enfermedad de Aujeszky, una enfermedad viral de considerable importancia económica para la industria porcina) **Purificación del agua y tratamiento de residuos** (contaminación de cuerpos de agua) **Regulación del clima** (libera carbono a la atmósfera al hozar en el suelo, la liberación de carbono es causa importante del cambio climático) **Regulación de la erosión** (impacta el suelo significativamente)	**Ciclo de nutrientes**; **Formación de suelo** (degradan el suelo ya que buscan comida de manera selectiva excavando raíces, destruye la superficie del suelo lo que contribuye a la erosión y solidificación de suelo y a la sedimentación en ríos; afectan a lombrices de tierra y caracoles dañando los bosques nativos)	**Salud física y mental** [transmite muchas enfermedades como leptospirosis (la cual puede ser adquirida por los humanos mediante agua o suelo contaminado y puede ser fatal), triquinosis, brucelosis, cisticercosis y fiebre aftosa; también se ha reportado el ataque a personas con lesiones significativas]

En el caso de la macroalga marina *Caulerpa ollivieri* los servicios ecosistémicos que afecta son: la provisión de alimentos, regulación del agua, recreación y ecoturismo, y valores estéticos (Tabla 8). Para las plantas, los servicios ecosistémicos más afectados son la provisión de alimentos y el control de plagas y enfermedades (65.2%), seguido por la formación del suelo (60.8%), el ciclo de nutrientes (52.1%), regulación del agua (34.7%), provisión de materias primas y, procesos fotosintéticos (26%), regulación de la calidad del aire (17.3%), recreación y ecoturismo (13%), regulación de la erosión (8.7%), provisión de agua potable, y regulación del clima (6.5), purificación de agua y tratamiento de residuos, y valores estéticos (4.3%), moderación de eventos extremos, y polinización (2.1%; Tabla 8; Figs. 26 y 32).

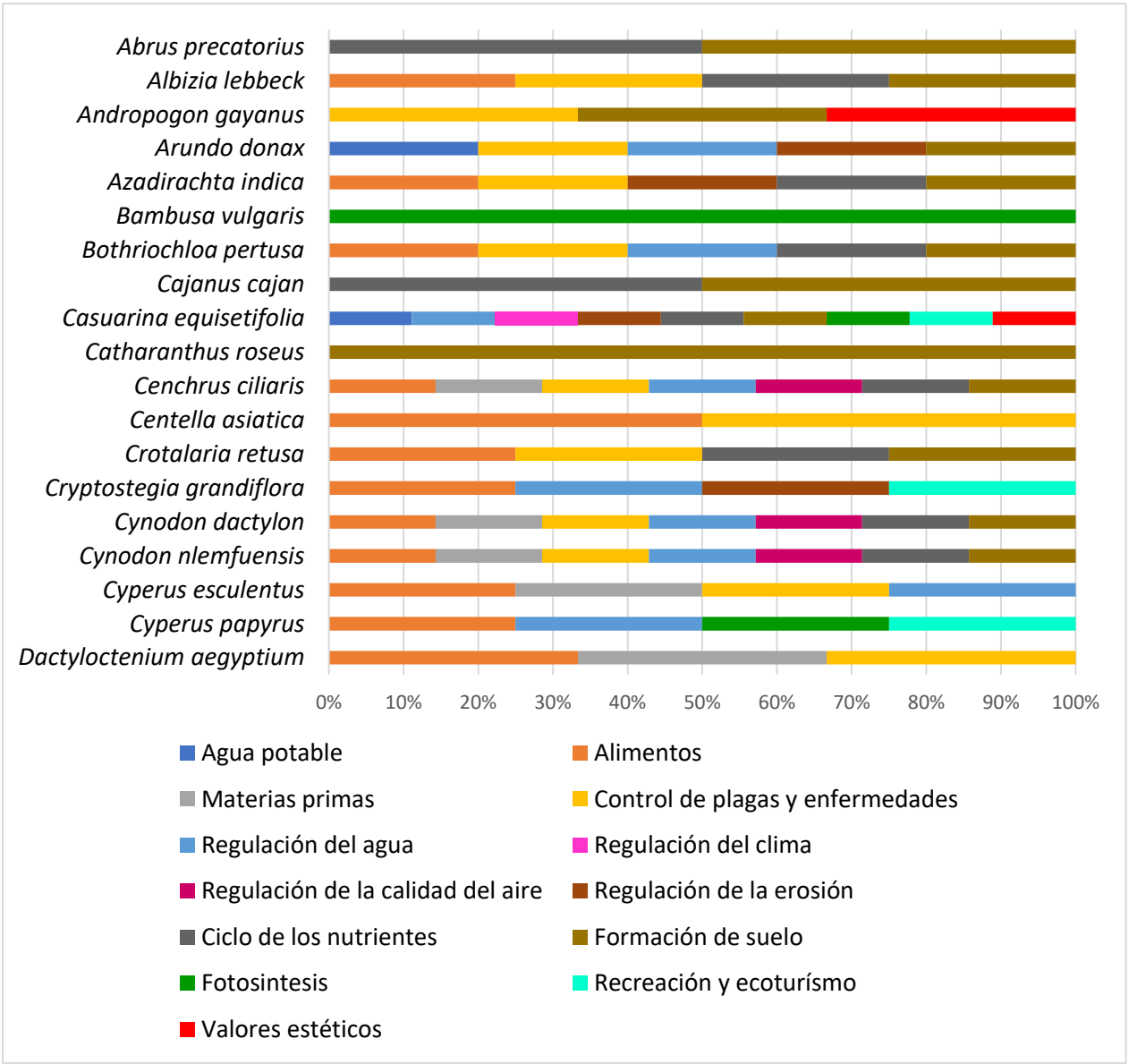


Figura 26. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por plantas exóticas invasoras.

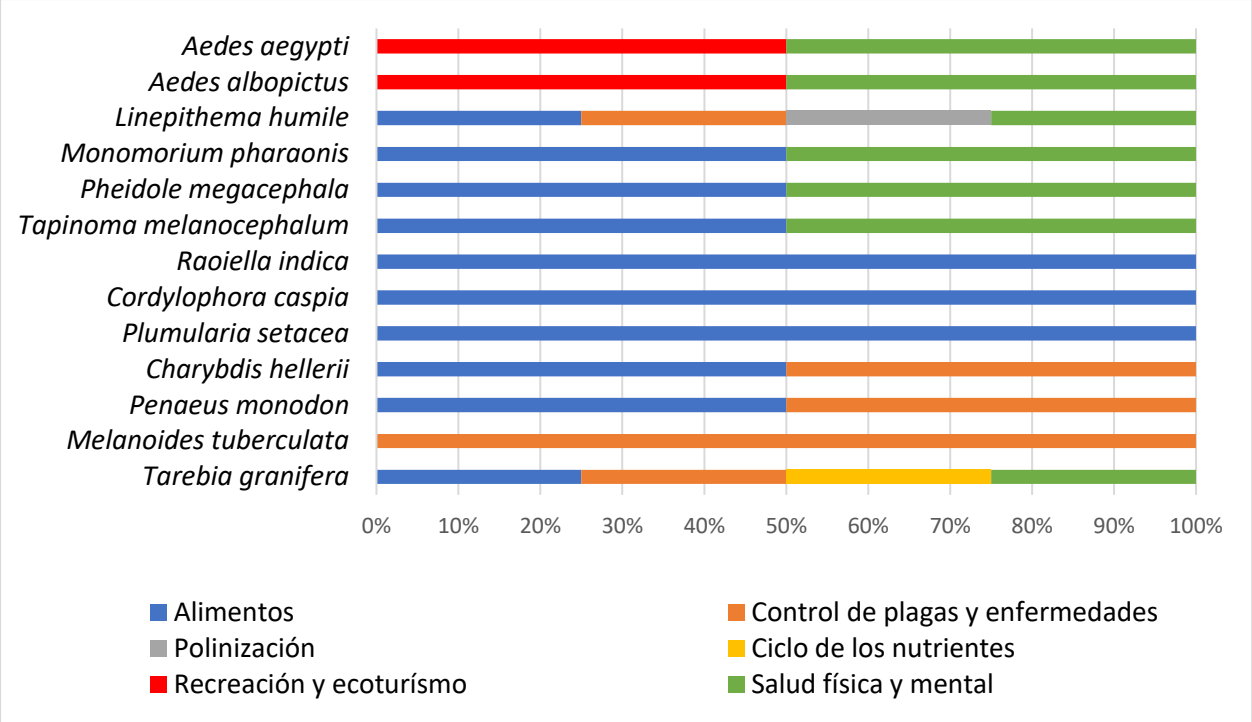


Figura 27. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por invertebrados exóticos invasores.

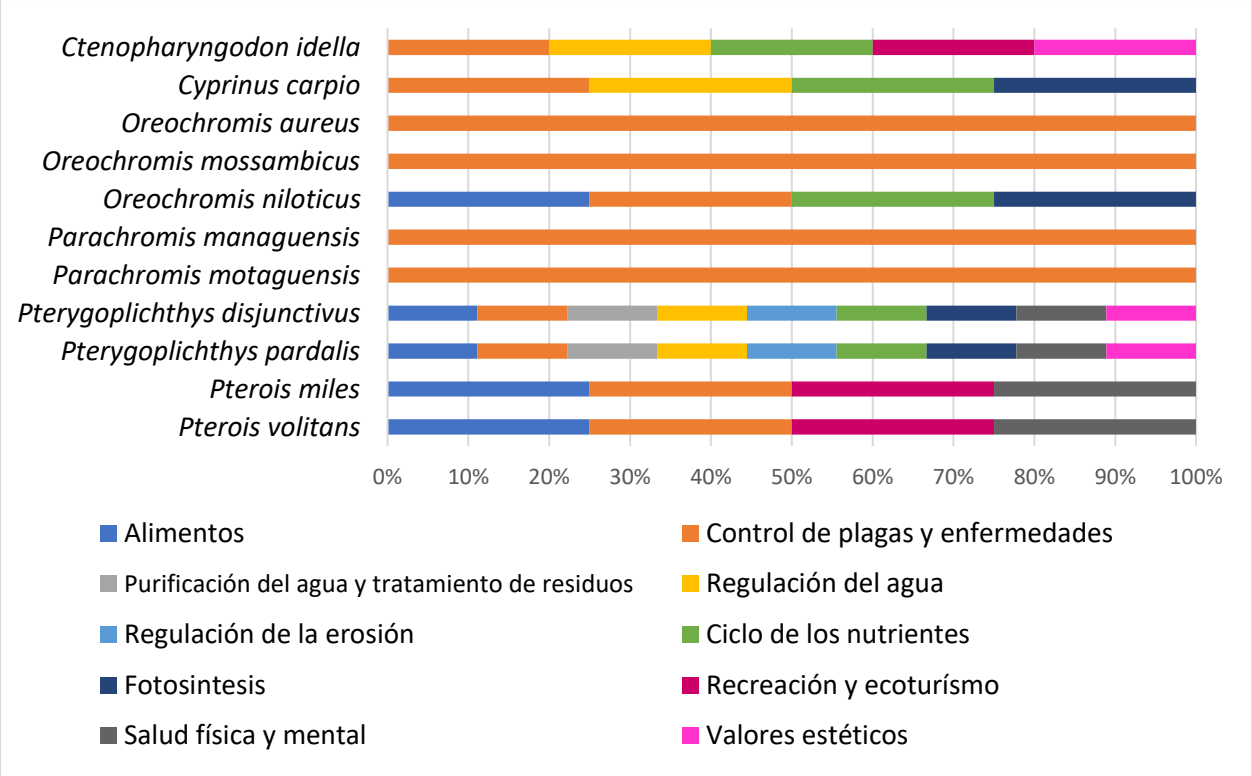


Figura 28. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por peces exóticos invasores.

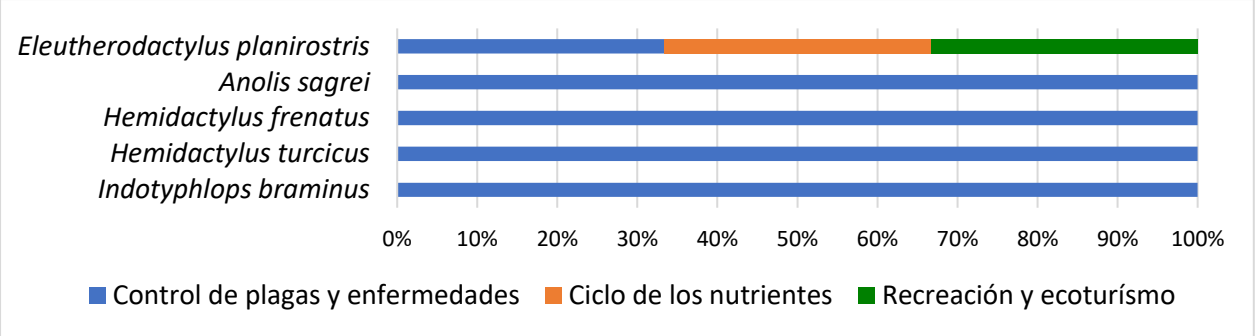


Figura 29. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por herpetofauna exótica invasora.

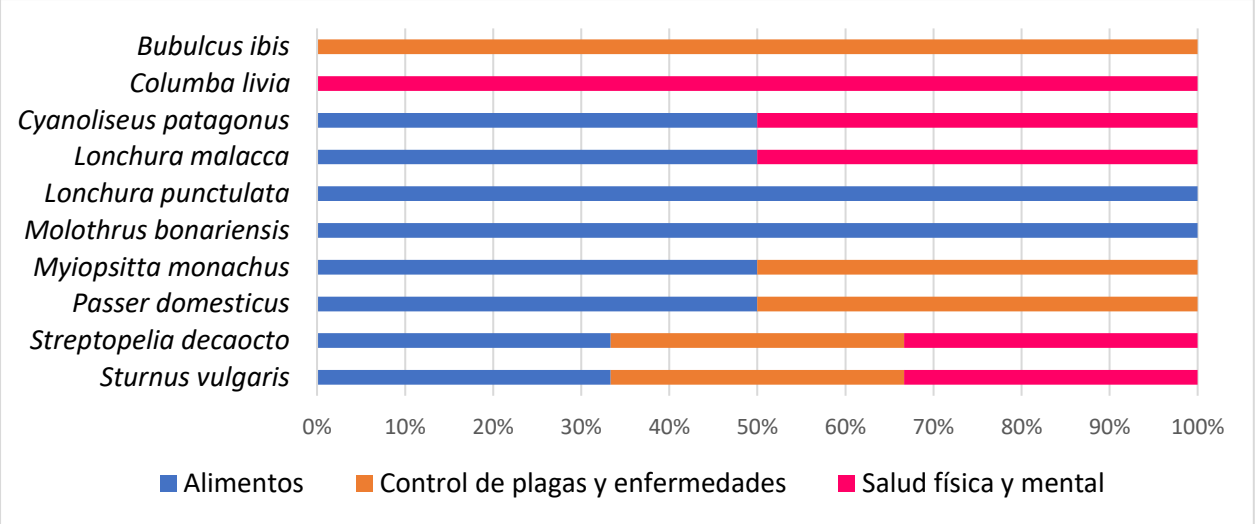


Figura 30. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por aves exóticas invasoras.

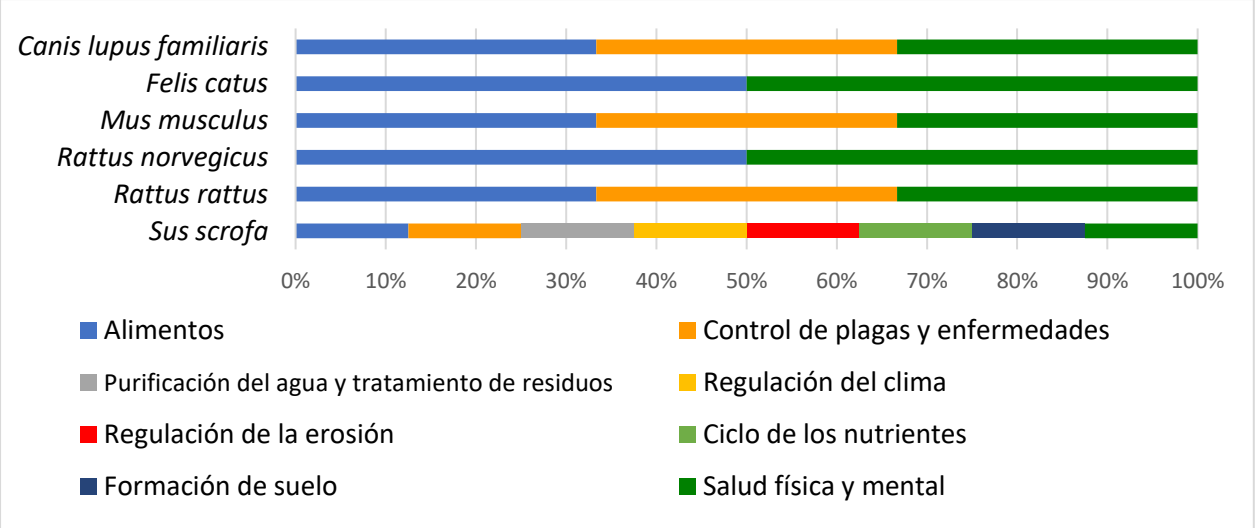


Figura 31. Proporción de servicios ecosistémicos afectados por mamíferos exóticos invasores.

En el caso de los invertebrados, lo servicios ecosistémicos más afectados son: para insectos [salud física y mental (100%), provisión de alimentos (66.6%), recreación y ecoturismo (33.3%), control de plagas y enfermedades, y polinización (16.6%)]; arácnidos [provisión de alimentos (100%)]; hidrozoos [provisión de alimentos (100%)]; crustáceos [provisión de alimentos y, control de plagas y enfermedades (100%)]; moluscos [control de plagas y enfermedades (100%), provisión de alimentos, ciclo de nutrientes y, salud física y mental (50%)] (Tabla 8; Figs. 27 y 32).

Respecto a los vertebrados, los servicios ecosistemas más afectados son: para peces [control de plagas y enfermedades (100%), provisión de alimentos y ciclo de nutrientes (45.4%), regulación del agua y, salud física y mental (36.6%), procesos fotosintéticos, recreación y ecoturismo, y valores estéticos (27.2%), regulación de la erosión y, purificación de agua y tratamiento de residuos (18.1%)]; anfibios [control de plagas y enfermedades, ciclo de nutrientes y, recreación y ecoturismo (100%)]; reptiles [control de plagas y enfermedades (100%)]; aves [provisión de alimentos (80%), control de plagas y enfermedades, y, salud física y mental (50%)]; mamíferos [provisión de alimentos y, salud física y mental (100%), control de plagas y enfermedades (66.6%), regulación del clima, regulación de la erosión, purificación de agua y tratamiento de residuos, ciclo de nutrientes y formación de suelo (16.6%)] (Tabla 8; Figs. 28 - 32).

Para evaluar si el tipo de afectación a los servicios ecosistémicos dependía del grupo taxonómico, la vía de introducción o la amplitud de presencia en ANP, se construyó un modelo generalizado con distribución binomial. Este enfoque se seleccionó debido a que una misma EEI podía afectar simultáneamente a más de un tipo de servicio ecosistémico. La agrupación de servicios ecosistémicos utilizada fue la de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005): aprovisionamiento, regulación, sustento y culturales, y se generaron variables binarias (0 = se desconoce si afecta, 1 = afecta). De esta manera, se ajustaron modelos independientes para evaluar la afectación sobre cada uno de los grupos de servicios ecosistémicos.

Se organizaron variables integrales de las vías de introducción y macroecosistemas analizadas en el Capítulo III: uso ornamental y viveros se agruparon como **horticultura**; acuarios, uso acuícola, uso como mascotas y aprovechamiento cinegético como **mascotas/acuarios**; uso forestal, uso ganadero, asociada al ganado, uso medicinal, uso artesanal, uso industrial, uso habitacional y asociada a asentamientos humanos como **producción humana**, y, aguas de lastre, bioincrustaciones y transporte de mercancía como **transporte**, mientras que, los ecosistemas de selva húmeda y bosque de galería se agruparon como **bosque/selva húmeda**; selva seca, pastizal y matorral como **terrestre seco**; lago, laguna, río, pantano, humedal

herbáceo y cenote como **humedal de agua dulce**, y, arrecife de coral, playa, duna costera, pradera marina, bosque de manglar e isla como **costero-marino**. Los grupos taxonómicos quedaron definidos en **plantas** donde se incorporó la macroalga (*Caulerpa ollivieri*) como parte de los productores primarios; **vertebrados** e **invertebrados**.

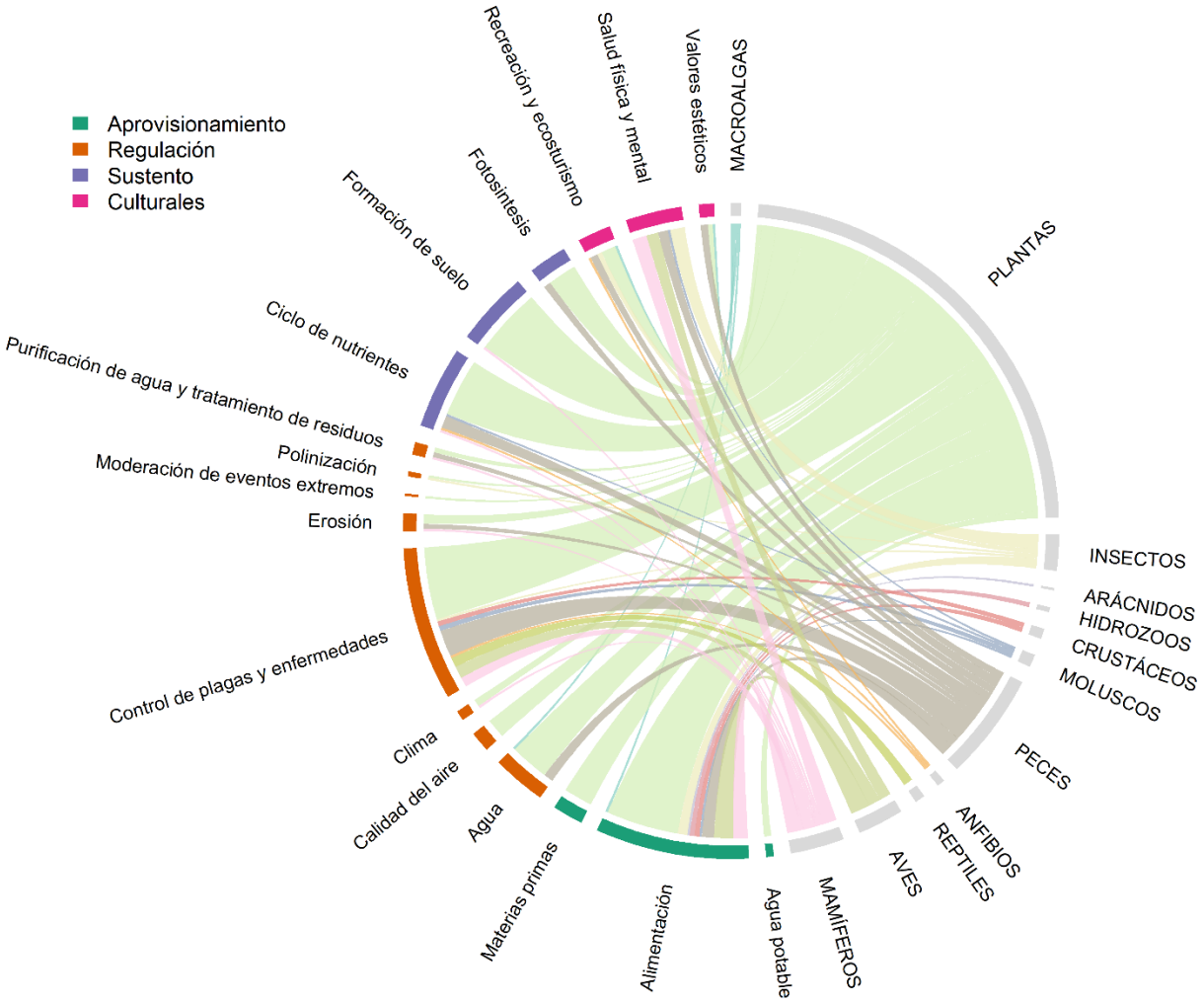


Figura 32. Diagrama de cuerdas de la relación de los servicios ecosistémicos afectados por grupos taxonómicos de EEI.

El análisis mostró que los impactos de las EEI sobre los servicios ecosistémicos variaron entre grupos taxonómicos, vías de introducción y macroecosistemas. En términos generales, los servicios culturales presentaron la mayor proporción de afectación en prácticamente todos los grupos analizados, lo que indica que las invasiones biológicas tienen efectos amplios sobre componentes recreativos, paisajísticos y de valor social asociados a los ecosistemas (Tablas 9-

11; Fig. 33-35). Al comparar los grupos taxonómicos, las plantas invasoras presentaron elevadas proporciones de afectación sobre los servicios de regulación y sustento, los vertebrados mostraron valores intermedios en los servicios de aprovisionamiento y regulación, mientras que los invertebrados registraron una proporción alta en los servicios de aprovisionamiento y una proporción muy baja en los servicios de sustento (Tabla 9; Fig. 33).

Tabla 9. Valores de proporción de grupos taxonómicos que afectan servicios ecosistémicos.

Servicios ecosistémicos **Grupo taxonómico**	**Aprovisionamiento**	**Regulación**	**Sustento**	**Culturales**
Plantas	0.70	0.87	0.72	1.00
Invertebrados	0.77	0.38	0.08	1.00
Vertebrados	0.59	0.78	0.22	1.00

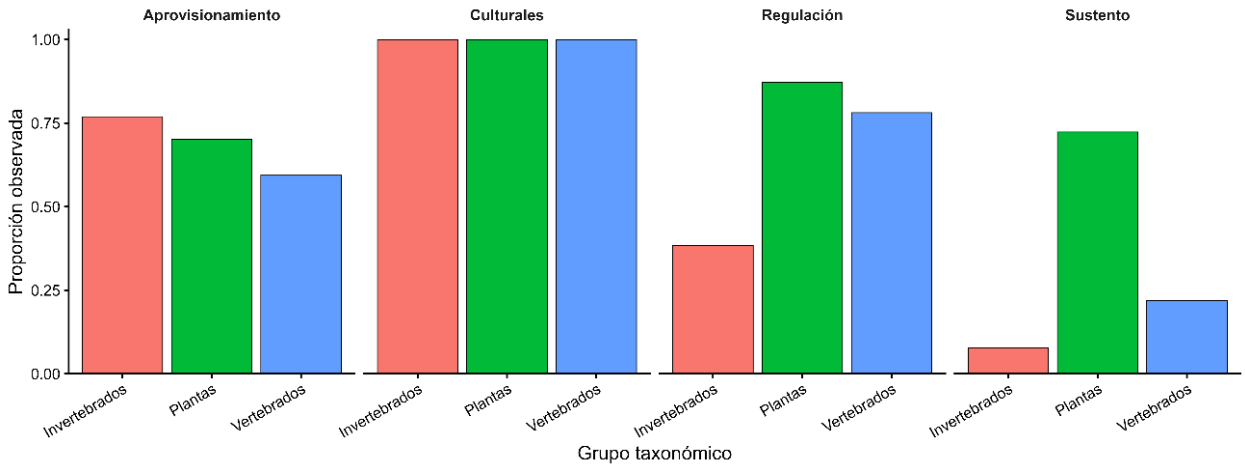


Figura 33. Proporción de grupos taxonómicos que afectan servicios ecosistémicos.

Las vías de introducción también mostraron diferencias importantes, las EEI asociadas con producción humana presentaron las mayores proporciones de afectación sobre servicios de sustento, con valores superiores a 70%. Por su parte, las especies introducidas a través de la horticultura mostraron las mayores proporciones de afectación sobre servicios de aprovisionamiento y regulación. Las especies asociadas con mascotas y acuarios también registraron proporciones elevadas de afectación sobre los servicios de aprovisionamiento y regulación. En contraste, las especies asociadas con transporte presentaron las menores proporciones de afectación sobre servicios de sustento, en comparación con los servicios de aprovisionamiento y regulación (Tabla 10; Fig. 34). Esto sugiere que el ingreso de EEI por las

diversas vías de introducción afectan a todos los grupos de servicios ecosistémicos, principalmente a los culturales y de regulación.

Tabla 10. Valores de proporción de EEI que afectan servicios ecosistémicos según vía de introducción.

Servicio ecosistémico Vía de introducción	Aprovisionamiento	Regulación	Sustento	Culturales
Horticultura	0.75	0.94	0.50	1.00
Mascotas/acuarios	0.71	0.79	0.33	1.00
Producción humana	0.63	0.80	0.72	1.00
Transporte	0.65	0.53	0.06	1.00

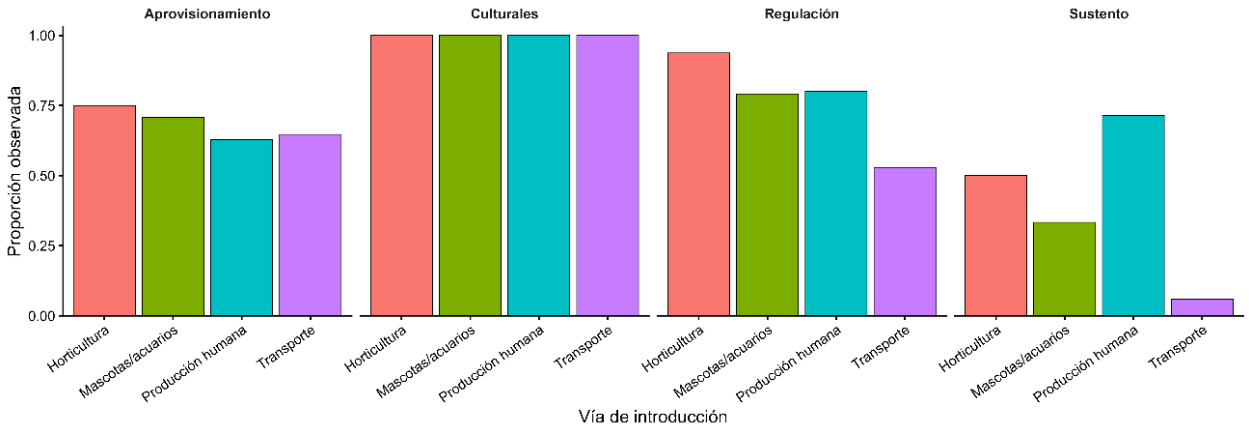


Figura 34. Proporción de vías de introducción que afectan servicios ecosistémicos.

El patrón de comportamiento de los datos también varió entre macroecosistemas impactados por EEI y servicios ecosistémicos afectados. Los servicios culturales presentaron las proporciones más altas de afectación por todos los macroecosistemas impactados; los servicios de regulación presentaron la proporción más alta de afectación por el macroecosistema impactado agua dulce/humedal, mientras que la proporción mínima se registró en el macroecosistema costero-marino; los servicios de aprovisionamiento presentaron la proporción más alta de afectación por el macroecosistema impactado costero-marino, mientras que la proporción mínima se registró en el macroecosistema agua dulce/humedal y, los servicios de sustento presentaron la proporción más alta de afectación por el macroecosistema impactado terrestre-seco, mientras que la proporción mínima se registró en el macroecosistema costero-marino (Tabla 11; Fig. 35).

Tabla 11. Valores de proporción de EEI que afectan servicios ecosistémicos según el macroecosistema en el que se encuentran.

Servicio ecosistémico Macroecosistema	Aprovisionamiento	Regulación	Sustento	Culturales
Agua dulce/humedal	0.53	1.00	0.53	1.00
Bosque/selva húmeda	0.63	0.74	0.42	1.00
Costero-marino	0.94	0.63	0.19	1.00

Terrestre seco	0.65	0.75	0.56	1.00

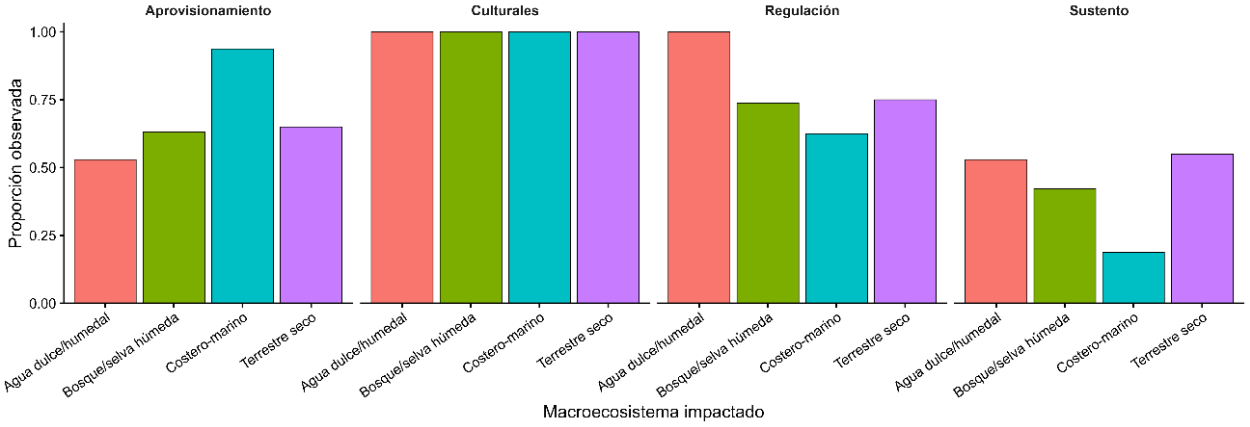


Figura 35. Proporción de ecosistemas impactados por EEI y servicios ecosistémicos afectados.

Cada una de las 92 EEI tiene al menos alguna afectación a los servicios ecosistémicos, sin embargo, destacan las siguientes especies con los porcentajes de mayor afectación: [*Eichhornia crassipes* (58.82%), *Casuarina equisetifolia*, *Pterygoplichthys disjunctivus* y *P. pardalis* (52.94%), *Egeria densa* y *Sus scrofa* (47%), y *Cenchrus ciliaris*, *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis* y *Echinochloa crus-galli* (41.17%)] (Tabla 8; Figs. 26-31).

IV.1. Propuesta de acciones prioritarias en ANP

Derivado de la información generada en los Capítulos III y IV de la tesis, se presenta una propuesta de atención para las EEI en las ANP con la finalidad de brindar elementos para la toma de decisiones por parte de los responsables de la administración y manejo de las ANP, considerando las variables de su principal vía de introducción [uso medicinal (α); uso ornamental (β); uso forestal (δ); uso industrial (θ); uso ganadero (λ); acuarios (μ); viveros (ξ); asociada a asentamientos humanos (ς); mascota (φ); aprovechamiento cinegético (ψ)]; su nivel de invasividad (Alto ; Muy Alto) de acuerdo con el MERI; principal ecosistema impactado y, los servicios ecosistémicos afectados. También, se acotan los mecanismos mediante los cuales las EEI ocasionan impactos perjudiciales [Competencia (1), Depredación (2), Hibridación (3), Transmisión de enfermedades (4), Parasitismo (5), Toxicidad (6), Bioincrustación (7), Pastoreo (8), Impacto químico sobre el ecosistema (9), Impacto físico sobre el ecosistema (10), Impacto estructural sobre el ecosistema (11), e Impactos indirectos a través de interacciones con otras especies (12)], así como las categorías de impacto [Muy grave (A), Grave (B), Moderado (C)], de

acuerdo con la Clasificación del Impacto Ambiental de Taxones Exóticos (EICAT, por sus siglas en inglés; UICN, 2023).

Parque Nacional **Arrecife Alacranes**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	C	Detección temprana, respuesta rápida, control, erradicación

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Parque Nacional **Arrecife de Puerto Morelos**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	B	Monitoreo, manejo, control (buceo profundo)
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	C	Manejo, control

Parque Nacional **Arrecifes de Cozumel**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Canis lupus familiaris	φ	Playa	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	B	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Arrecifes de Sian Ka'an**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	B	Monitoreo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control

Parque Nacional **Arrecifes de Xcalak**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Monitoreo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control

Parque Nacional **Arrecifes del Golfo de México-Sur**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	C	Investigación, monitoreo, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Parque Nacional **Bajos del Norte**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	C	Investigación, monitoreo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Bala'an K'aax**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Emilia fosbergii	β	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	C	Monitoreo, manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Balam Kin**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Andropogon gayanus	λ	Pastizal	Regulación, sustento, culturales	1, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control
Dactyloctenium aegyptium	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Balam Kú**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Eleusine indica	α	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control

Bothriochloa pertusa	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control

Reserva de la Biosfera **Banco Chinchorro**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Monitoreo, manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Detección temprana, respuesta rápida, manejo, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Calakmul**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Cynodon dactylon C. nlemfuensis	λ	Pastizal, bosque de galería	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 10, 11	B	Monitoreo, manejo ganadero, control
Cenchrus ciliaris	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	B	Monitoreo, manejo ganadero, control

Reserva de la Biosfera **Caribe Mexicano**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Monitoreo, manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	C	Manejo, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Área de Protección de Flora y Fauna **Cenote aerolito**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Canis lupus familiaris	φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	B	Educación ambiental, campañas de esterilización, control
Dypsis lutescens	β	Selva seca	Regulación, sustento	1, 10, 11	B	Monitoreo, manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Chunyaxché**

Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Albizia lebbeck	δ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 11	B	Monitoreo, manejo, control
Oeceoclades maculata	β	Selva húmeda	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	B	Monitoreo, manejo, control

Parque Nacional **Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control

Parque Nacional **Dzibilchantún**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Egeria densa	μ	Cenote	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 11	A	Manejo, control, erradicación
Bothriochloa pertusa	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	C	Manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Felipe Carrillo Puerto**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Oeceoclades maculata	β	Selva húmeda	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	B	Monitoreo, manejo, control
Dactyloctenium aegyptium	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 10, 11	C	Manejo, control

Parque Nacional **Isla Contoy**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Monitoreo, manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Raoiella indica	ξ	Selva seca	Aprovisionamiento	6, 11	A	Monitoreo, detección temprana, respuesta rápida, control, erradicación

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Área de Protección de Flora y Fauna **Jacinto Pat**

Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Catharanthus roseus	α	Matorral	Sustento	6, 11	C	Monitoreo, manejo, control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	C	Manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Jaguar**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Oeceoclades maculata	β	Selva húmeda	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	B	Monitoreo, control
Dactyloctenium aegyptium	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 10, 11	C	Manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Laguna de Términos**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterygoplichthys disjunctivus, *P. pardalis*	μ	Río	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 2, 9, 10, 11	A	Educación ambiental en acuarios y en comunidades de la cuenca Grijalva-Usumacinta, aprovechamiento (alimento y harina para producción de pellets para mascotas), control en el Río Palizada y la Laguna Pom, acuerdos de colaboración regional con Chiapas, Tabasco y Guatemala
Sus scrofa	ψ	Humedal herbáceo	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 2, 4, 8, 9, 10, 11	A	Monitoreo con cámaras- trampa, inspección y verificación en UMAs, manejo y control entre los ríos Chumpán y Candelaria, análisis de muestras para identificar la presencia de agentes patógenos y enfermedades, financiamiento para la erradicación.

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Área de Protección de Flora y Fauna **La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Manejo, control (buceo profundo)
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Educación ambiental, manejo, control, erradicación

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Los Petenes**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Canis lupus familiaris	φ	Playa	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	B	Educación ambiental, campañas de esterilización, control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control, erradicación

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Área de Protección de Flora y Fauna **Manglares de Nichupté**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control, erradicación
Canis lupus familiaris	φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	C	Educación ambiental, campañas de esterilización, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Manglares de Puerto Morelos**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Hyparrhenia rufa	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 6, 9, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control
Melinis repens	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 9, 10, 11	C	Manejo, control

Parque Nacional **Nuevo Uxmal**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata

Eleusine indica	α	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	C	Monitoreo, manejo, control
Oeceoclades maculata	β	Selva húmeda	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	C	Monitoreo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Otoch Ma'ax Yetel Kooh**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Arundo donax	β	Bosque de galería	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control mecánico, erradicación
Oeceoclades maculata	β	Selva húmeda	Aprovisionamiento, regulación	1, 11	B	Monitoreo, control

Santuario **Playa Chenkan**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Streptopelia decaocto	ς	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 11	C	Monitoreo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Playa delfines**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Ricinus communis	θ	Selva seca	Sustento	1, 6, 9, 10, 11	C	Manejo, control, erradicación
Lonchura punctulata	φ	Matorral	Aprovisionamiento	1, 11	C	Educación ambiental, monitoreo, control

Santuario **Playa Ría Lagartos**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Canis lupus familiaris	φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	A	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control
Cenchrus ciliaris	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	B	Monitoreo, manejo control

Santuario **Playas de Isla Contoy**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Bothriochloa pertusa	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 6, 10, 11	C	Detección temprana, respuesta rápida, control
Dactyloctenium aegyptium	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 10, 11	C	Detección temprana, respuesta rápida, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Ría Celestún**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Canis lupus familiaris	φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	A	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control
Arundo donax	β	Bosque de galería	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control mecánico

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Ría Lagartos**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Canis lupus familiaris	φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	A	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **San Buenaventura**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Albizia lebbeck	δ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, sustento	1, 9, 10, 11	C	Manejo, control
Dactyloctenium aegyptium	λ	Pastizal	Aprovisionamiento, regulación	1, 10, 11	C	Manejo, control

Reserva de la Biosfera **Sian Ka'an**						
Especies de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans	μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Monitoreo, manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia	δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	A	Manejo, control

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

Reserva de la Biosfera **Tiburón ballena**						
Especie de atención prioritaria	Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata

Pterois volitans		μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	B	Monitoreo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control

Parque Nacional **Tulum**							
Especies de atención prioritaria		Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Cryptostegia grandiflora		β	Bosque de Galeria	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 6, 9, 10, 11	B	Monitoreo, manejo, control, erradicación
Canis lupus familiaris		φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 4, 11	B	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Uaymil**							
Especies de atención prioritaria		Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata
Eichhornia crassipes		β	Cenote	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	A	Monitoreo, manejo, control
Canis lupus familiaris		φ	Selva seca	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 2, 4, 11	B	Educación ambiental, campañas de esterilización, monitoreo, control

Área de Protección de Flora y Fauna **Yum Balam**							
Especies de atención prioritaria		Vía	Ecosistema impactado	Servicios ecosistémicos afectados	Mecanismo EICAT	Categoría EICAT	Estrategia de atención inmediata *
Pterois volitans		μ	Arrecife	Aprovisionamiento, regulación, culturales	1, 2, 11	A	Manejo, aprovechamiento (alimento y artesanías), control
Casuarina equisetifolia		δ	Duna costera	Aprovisionamiento, regulación, sustento, culturales	1, 9, 10, 11	B	Manejo, control, erradicación

* Acciones de bioseguridad insular propuestas en el Anexo B

LITERATURA CONSULTADA

Aguirre-Muñoz, A., Mendoza, R., et al. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. En: [Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio]. CONABIO, México, pp. 277-318. https://www.islas.org.mx/articulos_files/2009.%20Aguirre%20Mu%C3%B1oz%20et%20al.%20II06_Especies%20exoticas%20invasoras_Impactos%20CAPITAL%20NATURAL.pdf

Aguirre-Muñoz, A., Samaniego-Herrera, A., Luna-Mendoza, L., Ortiz-Alcaraz, A., Méndez-Sánchez, F., Hernández-Montoya, J. 2016. La restauración ambiental exitosa de las islas de México: una reflexión sobre los avances a la fecha y los retos por venir, pp. 487-512. En: Ceccon, E., Martínez-Garza, C. (eds.). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. UNAM, CRIM, UAEM y CONABIO, Cuernavaca, Morelos, México, 577 pp. https://www.islas.org.mx/articulos_files/2016.%20Aguirre%20Mu%C3%B1oz%20et%20al._La%20restauraci%C3%B3n%20ambiental%20exitosa%20de%20las%20islas%20de%20M%C3%A9xico.pdf

Aguirre-Muñoz, A., Méndez-Sánchez, F., et al. 2017. Avances en la conservación y restauración integral de las islas de México y mejoras al marco legal para consolidar la trayectoria positiva. En: Born-Schmidt, G., de Alba, F., Parpal, J., Koleff, P. (coords.). Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras, pp. 225-255. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. https://www.islas.org.mx/articulos_files/2017.%20Aguirre%20Mu%C3%B1oz_Mendez%20Sanchez%20et%20al._CESOP.pdf

Amador-Del Ángel, L.E., Endañú-Huerta, E., López-Contreras, J.E., Wakida-Kusunoki, A.T., Guevara-Carrió, E., Brito-Pérez, R. 2015. Fauna exótica establecida e invasora en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche: Estado actual, impactos, necesidades y perspectivas. En: Amador-Del Ángel, L.E., Frutos-Cortés, M. (eds.). Problemas Contemporáneos Regionales del Sureste Mexicano El Caso del Estado de Campeche. Universidad Autónoma del Carmen, Campeche, México, pp. 128-154.

Apartado, F.P., Dreckmann, K.M., Granados, A.S. 2002. *Caulerpa mexicana* Sonder Ex Kützing (Caulerpacea, Chlorophyta) en México. Polibotánica (13): 97-105. https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/660

Arriaga, L., Aguilar, V., Alcocer, J., Jiménez, R., Muñoz, E., Vázquez, E. (coords.). 1998a. Regiones hidrológicas prioritarias. Escala de trabajo 1:4 000 000. 2ª edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-hidrologicas-prioritarias-de-Mexico

Arriaga, L., Vázquez, E., González, J., Jiménez, R., Muñoz, E., Aguilar, V. (coords.). 1998b. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-marinas-prioritarias-de-mexico

Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., Loa, E. (coords.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-terrestres-prioritarias-de-mexico

Athié, G., Candela, J., Sheinbaum, J., Badanf, A., Ochoa, J. 2011. Estructura de la corriente de Yucatán en los canales de Cozumel y Yucatán. Ciencias marinas, 37(4a): 471-492. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000400008

Avibase. 2025. The World Bird Database. https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=EN Fecha de consulta [30/03/25].

Balvanera, P., Cotler, H., et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: [Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio]. CONABIO, México, pp. 185-245. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/03/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf

Beaury, E.M., Finn, J.T., Corbin, J.D., Barr, V., Bradley, B.A. 2020. Biotic resistance to invasion is ubiquitous across ecosystems of the United States. Ecology Letters, 23: 476–482. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174823

Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J.R.U., Richardson, D.M. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. Trends in Ecology & Evolution, 26: 333–339. https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023

Bolton, B. 2025. An online catalog of the ants of the world. https://antcat.org Fecha de consulta [18/04/25].

Bond, J.G., Casas, M., Moo, D.A., Marina, C.F., Danis, R., Ulloa, A., Elizondo, A.E., Ortega, A., Núñez, C. 2019. Diagnóstico del estado actual de la invasión biológica por *Aedes* (Stegomyia) *albopictus* (Skuse) (Díptera: Culícidae) en las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México. CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfLI040.pdf

Boyd, J., Banzhaf, J. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, 63: 616–626. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002

Bradshaw, C.J., et al. 2016. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. Nat. Commun, 7: 12986. https://doi.org/10.1038/ncomms12986

CABI. 2025. CABI Compendium. Centro de Biociencia Agrícola Internacional. https://www.cabi.org/ Fecha de consulta [18/01/25].

Capdevila, C.L., Iglesias, A.G., Orueta, J.F., Zilleti, B. 2006. Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y manejo. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie técnica. Ministerio de Ambiente. Dirección General para la Biodiversidad. España. https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/exoticas.html

Carnevali, G., Tapia-Muñoz, J.L., Duno de Stefano, R., Ramírez, I.M. 2010. Flora ilustrada de la Península de Yucatán: Listado Florístico. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. México. https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/documentos/Listado_floristico.pdf

Comité Asesor Nacional sobre el Territorio Insular Mexicano (CANTIM). 2012. Estrategia Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable del Territorio Insular Mexicano. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Gobernación, Secretaría de Marina - Armada de México, Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. México. 125 pp. https://www.islas.org.mx/libros_files/ENI.pdf

Convention on Biological Diversity (CBD). 2025. Understanding pathways of introduction and their identification. https://www.cbd.int/invasive/toolkit/doc/pathways-training-en.pdf Fecha de consulta [18/01/25].

Charles, H., Dukes, J.S. 2007. Impacts of invasive species on ecosystem services. In: Nentwig, W. (eds.). Biological Invasions, 217-237. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_13

Chauhan, A., Dolma, T., Vardhan, S., Bhupendra. 2026. Invasive Species and Biodiversity Destruction. In: Sobti, R.C. (eds) Biotechnology Innovations for a Sustainable Future. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9859-9_41

CONABIO. 1997. Provincias Biogeográficas de México, Escala 1:4,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/rbiog4mgw.html

CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. http://www.conabio.gob.mx/2ep/images/3/37/capital_natural_2EP.pdf

CONABIO. 2015. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. México. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf

CONABIO. 2022. Áreas naturales, integridad ecológica y capital natural. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://biodiversidad.https://biodiversidad.gob.mx/pais/estado-de-los-ecosistemas Fecha de consulta [01/07/25].

CONABIO. 2024. Base de Datos Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. https://www.snib.mx/

CONABIO. 2025. Enciclovida. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. https://enciclovida.mx/ Fecha de consulta [12/01/25].

CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 185 pp.
https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/61_libro_pm.pdf

CONANP. 2019. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 366 pp.
https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMCaribeMexicano.pdf

CONANP. 2024. Atlas interactivo de las áreas naturales protegidas de México.
http://sig.conanp.gob.mx/website/interactivo/atlas/atlas_anp.htm Fecha de consulta [11/12/24].

CONANP. 2026. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://simec.conanp.gob.mx Fecha de consulta [10/01/26].

CONANP-SEMAR-GECI-CONABIO. 2020. Protocolo de Bioseguridad Insular del Parque Nacional Arrecife Alacranes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Marina. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 51 pp.
https://www.islas.org.mx/guias_files/Protocolo%20AA%20041021.pdf

Cook, D.C., Thomas, M.B., Cunningham, S.A., Anderson, D.L., De Barro, P.J. 2007. Predicting the economic impact of an invasive species on an ecosystem service. Ecological Applications, 17(6): 1832–1840. https://doi.org/10.1890/06-1632.1

Cuthbert, R.N., Diagne, C., Haubrock, P.J., Turbelin, A.J., Courchamp, F. 2021. Are the “100 of the world’s worst” invasive species also the costliest?. Biol Invasions, 24: 1895-1904.
https://doi.org/10.1007/s10530-021-02568-7

Daily, G.C. 1997. Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, DC.

D’Antonio, C., Meyerson, L.A., et al. 2001. Exotic species and conservation. In: Soulé, M.E., Orians, G.H. (eds.). Conservation biology: research priorities for the next decade, Washington, Island Press. 307 pp.
https://www.researchgate.net/publication/43285010_Exotic_species_and_conservation_Research_needs

Day, J.W., Días de León, A., González, G., Moreno-Casasola, P., Yáñez-Arancibia, A. 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Resumen Ejecutivo. En: Caso, M., Pisanty, I., Excurra, E. (comps.).

Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C., y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. México, pp. 15-46. http://140.84.163.2:8080/xmlui/handle/publicaciones/127

Devi, S., Singh, G., Rana, A. 2026. Ecological Consequences of Invasive Species on Ecosystem. In: Sobti, R.C. (eds) Biotechnology Innovations for a Sustainable Future. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9859-9_43

Dirección General de Repositorios Universitarios, Universidad Nacional Autónoma de México (DGRU-UNAM). 2025. Portal de Datos Abiertos UNAM, Colecciones Universitarias. https://datosabiertos.unam.mx/ Fecha de consulta [30/01/25].

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., et al. 2015. The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. Curr. Opin. Environ. Sustain, 14: 1–16. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101055
Diario Oficial de la Federación (DOF). 1996. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa/LGEEPA_ref02_13dic96.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2009. Acuerdo mediante el cual se declara erradicado el brote de palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum* berg.) en Isla Contoy, Municipio de Isla Mujeres, Estado de Quintana Roo. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5114029&fecha=12/10/2009

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. Ley General de Vida Silvestre. México. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2016. Acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464456&fecha=07/12/2016#gsc.tab=0

Dudley, N. (ed.). 2008. Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, Suiza: UICN. x + 96 pp. https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/paps-016-es.pdf

Ellis, E., Hernández-Gómez, I., Romero-Montero, J. 2017. Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península de Yucatán. Ecosistemas, 26(1): 101-111. https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16

Enders, M., Havemann, F., Ruland, F., et al. 2020. A conceptual map of invasion biology: Integrating hypotheses into a consensus network. Global Ecol Biogeogr, 29: 978–991. https://doi.org/10.1111/geb.13082

Espinoza-Avalos, J., Aguilar-Rosas, L.E., Aguilar-Rosas, R., Gómez-Poot, J.M. & Raigoza-Figueras, R. 2015. Presencia de Caulerpaceae (Chlorophyta) en la Península de Yucatán, México. Botanical sciences, 93(4): 845-854. https://doi.org/10.17129/botsci.160

Figueroa, D. 2015. Levantamiento de información relacionado a Protocolos para el manejo de especies exóticas invasoras en territorios insulares. Ministerio de Medio Ambiente de Chile. PNUD. GEF. 54 pp. https://especies-exoticas.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/8.-Protocolo-para-el-manejo-de-EEI-en-AP-continentales.pdf

Fisher, B., Turner, K.R., Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 68: 643-653. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014

Flores, J.S., Espejel, I. 1994. Tipos de vegetación de la península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense. Fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.

Foxcroft, L.C., Pyšek, P., Richardson, D.M. et al. 2017. Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. Biol Invasions, 19: 1353–1378. https://doi.org/10.1007/s10530-016-1367-z

Froese, R., Pauly, D. (eds.). 2025. FishBase. https://www.fishbase.org Fecha de consulta [30/03/25].

Frost, D.R. 2024. Amphibian species of the world 6.2. American Museum of Natural History. https://amphibiansoftheworld.amnh.org/ Fecha de consulta [25/07/24].

Fundación Pedro y Elena Hernández. 2018. Monitoreo y conservación del flamenco del Caribe y su hábitat en cuatro áreas naturales protegidas de la península de Yucatán. CONANP. México.

Gallien, L., Carboni, M. 2017. The community ecology of invasive species: where are we and what's next?. Ecography, 40: 335–352. https://doi.org/10.1111/ecog.02446

GBIF. 2024. Global Biodiversity Information Facility. www.gbif.org Fecha de consulta [31/10/24].

Genovesi, P., Monaco, A. 2013. Guidelines for Addressing Invasive Species in Protected Areas. In: Foxcroft, L., Pyšek, P., Richardson, D., Genovesi, P. (eds.). Plant Invasions in Protected Areas. Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology, 7. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7750-7_22

Gill, F., Donsker, D., Rasmussen, P. (eds.). 2025. IOC World Bird List (v15.1). https://www.worldbirdnames.org/new/ Fecha de consulta [30/03/25].

GISD. 2025. Global Invasive Species Databas. https://www.iucngisd.org/gisd/ Fecha de consulta [11/02/25].

Guiry, M.D., Guiry, G.M. 2025. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org Fecha de consulta [30/05/25].

Guzmán-Méndez, I.A., Rivera-Madrid, R., Díaz-Jaimes, P., García-Rivas, M.C., Aguilar-Espinosa, M., Arias-González, J.E. 2017. First genetically confirmed record of the invasive devil firefish *Pterois miles* (Bennett, 1828) in the Mexican Caribbean. BioInvasions Records, 6: 99-103. https://doi.org/10.3391/bir.2017.6.2.02

Hui, C., Richardson, D.M., Landi, P., et al. 2016. Defining invasiveness and invasibility in ecological networks. Biol Invasions, 18: 971–983. https://doi.org/10.1007/s10530-016-1076-7

Hulme, P.E. 2006. Beyond control: Wider implications for the management of biological invasions. Journal of Applied Ecology, 43: 835–847. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01227.x

Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pysek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W., Vilà, M. 2008. Grasping at the routes of biological invasions:a framework for integrating pathways into policy. Journal of Applied Ecology, 45: 403–414. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01442.x

Hulme, P.E., Pyšek, P., Jarošík, V., Pergl, J., Schaffner, U., Vilà, M. 2013. Bias and error in understanding plant invasion impacts. Trends in Ecology and Evolution, 28: 212–218. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.010

Hulme, P.E. 2018. Protected land: Threat of invasive species. Science, 361(6402): 561–562. https://doi.org/10.1126/science.aau3784

Hulme, P.E., Lieurance, D., Richardson, D.M., Robinson, T.B. 2025. Multiple targets of the Global Biodiversity Framework must be addressed to manage invasive alien species in protected areas. NeoBiota, 99: 149-170. https://doi.org/10.3897/neobiota.99.152680

IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F.,

Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Roy Chowdhury, B., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I.J., Willis, K.J., Zayas, C.N. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages. https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/ipbes

IPBES 2023. Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy, H.E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B.S., Hulme, P.E., Ikeda, T., Sankaran, K.V., McGeoch, M.A., Meyerson, L.A., Nuñez, M.A., Ordonez, A., Rahlao, S.J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A.W., Vandvik, V. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692

ITIS. 2025. Integrated Taxonomic Information System. https://www.itis.gov/ Fecha de consulta [30/01/25].

International Union for Conservation of Nature (**IUCN**). 2000. 51st Meeting of the IUCN Council. Guideline for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. Invasive Species Specialist Group. Gland, Suiza. 25 pp. https://portals.iucn.org/library/node/12413

Kumschick, S., et al. 2014. Ecological Impacts of Alien Species: Quantification, Scope, Caveats, and Recommendations. BioScience, 65: 55–63. https://doi.org/10.1093/biosci/biu193

Langhammer, P.F., Bull, J.E., et al. 2024. The positive impact of conservation action. Science, 26; 384(6694): 453-458. https://doi.org/10.1126/science.adj6598

Latofski-Robles, M., Méndez-Sánchez, F., Aguirre-Muñoz, A., Jáuregui-García, C., Koleff-Osorio, P., González-Martínez, A.I., Born-Schmidt, G., Bernal-Stoopen, J., Rendón-Hernández, E. 2019. Mexico's island biosecurity programme: collaborative formulation and implementation, pp. 484–488. En: Veitch, C.R., Clout, M.N., Martin, A.R., Russell, J.C., West, C.J. Island Invasives: scaling up to meet the challenge. Occasional Paper SSC no. 62. Gland, Switzerland: IUCN. https://www.islas.org.mx/articulos_files/Latofski-Robles%202019.pdf

Levine, J.M., Adler, P.B., Yelenik, S.G. 2004. A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions. Ecology Letters, 7: 975–989. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00657.x

Lipinskaya, T., Semenchenko, V., Minchin, D. 2020. A pathways risk assessment of aquatic non-indigenous macroinvertebrates passing to, and through, the Central European invasion corridor. Management of Biological Invasions, 11(3): 525–540. https://doi.org/10.3391/mbi.2020.11.3.12

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2004. 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Publicado por el Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), un grupo especialista de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 12 pp. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126-Es.pdf

Lugo-Hubp, J., Aceves-Quezada, J., Espinosa-Pereña, R. 1992. Rasgos Geomorfológicos mayores de la península de Yucatán. Revista del Instituto de Geología de la UNAM, 10(2): 143-150. http://www.rmcg.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1236

Macedo, R., Haubrock, P., Klippel, G., Fernandez, R., Leroy, B., Angulo, E., Carneiro, L., Musseau, C., Rocha, O., Cuthbert, R. 2024. The economic costs of invasive aquatic plants: A global perspective on ecology and management gaps. The Science of The Total Environment. 908. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168217

Magliozzi, C., Cardoso, A.C., Gervasini, E., Melone, B., Bizzotto, E.C., Brundu, G., Cagnacci, F., Cebrian, E., Adriaens, T., Alves, M.H., Bartilotti, C., Carnevali, L., Duarte, S., Groom, Q., Queiroga, R.M., Meeus, S., Nunes, A.L., Preda, C., Rendón-Hernández, E., Vanden Abeele, S., Scalera, R., Vanhove, M.P.M., Álvaro,

N.V. 2025. Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors. In: Anastácio, P., Ribeiro, F., Chainho, P. (eds.) Invasions in Aquatic Systems. NeoBiota, 102: 295–312. https://doi.org/10.3897/neobiota.102.152015

Maxwell, S.L., Cazalis, V., Dudley, N., Hoffmann, M., Rodrigues, A.S.L., Stolton, S., Visconti, P., Woodley, S., Kingston, N., Lewis, E., Maron, M., Strassburg, B.B.N., Wenger, A., Jonas, H.D., Venter, O., Watson, J.E.M. 2020. Area-based conservation in the twenty-first century. Nature, 586: 217–227. https://doi. org/10.1038/s41586-020-2773-z

McNeely, J.A., Mooney, H.A., Neville, L.E., Schei, P., Waage, J.K. (eds.). 2001. Estrategia mundial sobre especies exóticas invasoras, UICN Gland (Suiza) y Cambridge (Reino Unido), X + 50 págs. https://www.gisp.org/publications/brochures/globalstrategy.pdf

Mendoza, R., Ramírez-Martínez, C., Aguilera, C., Meave del Castillo, M.E. 2014. Principales vías de introducción de las especies exóticas. En: Mendoza, R., Koleff, P. (coords.). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 43-73. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/01/Especies-acu%C3%A1ticas-invasoras-en-M%C3%A9xico.pdf

Meyerson, L.A., Reaser, J.K. 2002. Biosecurity: moving toward a comprehensive approach. BioScience, 52: 593–600. https://digitalcommons.uri.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=nrs_facpubs

Meyerson, L.A., Reaser, J.K. 2003. Bioinvasions, bioterrorism, and biosecurity. Frontiers in Ecology and the Environment, 1: 307–314. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0307:BBAB]2.0.CO;2

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Island Press, Washington, D.C. https://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html

Moodley, D., Angulo, E., Cuthbert, R.N., Leung, B., Turbelin, A., Novoa, A., Kourantidou, M., Heringer, G., Haubrock, P.J., Renault, D., Robuchon, M., Fantle-Lepczyk, J., Courchamp, F., Diagne, C. 2022. Surprisingly high economic costs of biological invasions in protected areas. Biological Invasions, 24: 1995–2016. https://doi.org/10.1007/s10530-022-02732-7

Moore, J.L., Rout, T.M., Hauser, C.E., Moro, D., Jones, M., Wilcox, C., Possingham, H.P. 2010. Protecting islands from pest invasion: optimal allocation of biosecurity resources between quarantine and surveillance. Biological Conservation, 143(5): 1068–1078. http://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.01.019

Morales, J. 2004. “El joven Mar Caribe”. Ciencias, 76. Octubre-diciembre. UNAM. Facultad de Ciencias: 35-41 pp. México. https://www.revistacienciasunam.com/es/77-revistas/revista-ciencias-76/619-el-joven-mar-caribe.html

Naughton-Treves, L., Holland, M.B., Brandon, K. 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. Annual Review of Environment and Resources, 30: 219–252. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.164507

Ortega-Morales, A.I., Bond, G., Méndez-López, R., Garza-Hernández, J.A., Hernández-Triana, L.M., Casas-Martínez, M. 2018. First Record of Invasive Mosquito *Aedes albopictus* in Tabasco and Yucatan, Mexico. Journal of the American Mosquito Control Association, 34(2): 120–123. https://doi.org/10.2987/18-6736.1

Ortegón-Aznar, I., Rosado-Espinosa, L.A., Aguilar-Perera, A. 2015. Occurrence of the introduced alga *Caulerpa ollivieri* Dostál, 1929 (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the Southern Gulf of Mexico. BioInvasions Records, 4(1): 17-21. https://www.reabic.net/journals/bir/2015/1/BIR_2015_OrtegonAznar_etal.pdf

Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.). 2025. SeaLifeBase. https://www.sealifebase.org/
Fecha de consulta [30/01/25].

PAST Core Team. 2025. PAST: A Software for Scientific Data Analysis. Available online: https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/

Pejchar, L., Mooney, H. 2009. Invasive species, ecosystem services and human well-being. Trends in Ecology and Evolution, 24(9): 497-504. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.016

Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L.O., Caballero-Aragón, H., Ressl, R. (coords.). 2020. Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano. CONABIO. México. https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/1409

Pérez-Sarabia, J.E., Duno de Stefano, R., Carnevali, G., Ramírez, I., Méndez-Jiménez, N., Zamora-Crescencio, P., Gutiérrez-Báez, C., Cetzal-Ix, W. 2017. El conocimiento florístico de la Península de Yucatán, México. Polibotánica, 44: 39-49. https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.3

Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J. 2001. Economic and environmental threats of alien plant, animal and microbe invasions. Agriculture, Ecosystems and Environment, 84: 1-20. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00178-X

Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison, D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. Ecological Economics, 52: 273–288. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002

Primack, R.B. 2002. Essentials of Conservation Biology. 3rd Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland.

Pronatura. 2018. Conservación de las Tortugas Marinas en la Playa Río Lagartos. Pronatura Península de Yucatán. CONANP. México.

Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. Biol Rev, 95: 1511-1534. https://doi.org/10.1111/brv.12627

RAMSAR. 2026. Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. https://www.ramsar.org/es Fecha de consulta [03/02/26].

Revolledo, M. 2010. Hidrología. En: Villalobos-Zapata, G.J., Mendoza, J. (coord.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. 730 pp. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7371.pdf

Rico-Sánchez, A.E., Haubrock, P.J., Cuthbert, R.N., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., López-López, E., Duboscq-Carra, V.G., Núñez, M.A., Diagne, C., Courchamp, F. 2021. Economic costs of invasive alien species in Mexico. In: Zenni, R.D., McDermott, S., García-Berthou, E., Essl, F. (eds.). The economic costs of biological invasions around the world. NeoBiota, 67: 459–483. https://doi.org/10.3897/neobiota.67.63846

Robertson, P.A., Mill, A., Novoa, A., et al. 2020. A proposed unified framework to describe the management of biological invasions. Biol Invasions, 22: 2633–2645. https://doi.org/10.1007/s10530-020-02298-2

Russell, J.C., Towns, D.R., Clout, M.N. 2008. Review of rat invasion biology: implications for island biosecurity. Science for Conservation, 286. 53 pp. https://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/sfc286entire.pdf

Russell, J.C., Meyer, J.Y., Holmes, N.D., Pagad, S. 2017. Invasive alien species on islands: impacts, distribution, interactions and management. Environmental Conservation, 1-12.

https://doi.org/10.1017/S0376892917000297

Rzedowski, J., Reyna-Trujillo, T. 1990. Tópicos biogeográficos. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Sagolo, D., Reed, L. 2010. Biosecurity Plan for the Eradication of Rats from Far and Away Islands, Republic of Pacifica. Unpublished report prepared for National Parks and Conservation Department, Republic of Pacifica.
http://rce.pacificinvasivesinitiative.org/tools/Templates/Biosecurity%20Plan%20WORKED%20EXAMPLE.pdf

Sala, O.E., Stuart, F., Armesto, J.J., et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2010. Science, 287: 1770-1774. https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770

Subconsejo de Bioseguridad Insular de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro (SBIRBBC). 2018. Protocolo de Bioseguridad Insular de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 37 pp.
https://www.islas.org.mx/guias_files/Protocolo%20de%20Bioseguridad%20Insular%20Banco%20Chinchorro%20091118.pdf

Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). 2005. Handbook of the Convention on Biological Diversity Including its Cartagena Protocol on Biosafety, 3rd edition. Canada.
https://www.cbd.int/doc/handbook/cbd-hb-all-en.pdf

Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). 2006. Global Biodiversity Outlook 2. Montreal, 81 + vii pages. https://www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-en.pdf

Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). 2009. Especies exóticas invasoras una amenaza a la diversidad biológica. Canadá. 51pp.
https://www.cbd.int/doc/bioday/2009/idb-2009-booklet-es.pdf

Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). 2011. Especies exóticas invasoras. Canadá. https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf

Schüttler, E., Karez, C. (eds.). 2009. Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO, Montevideo.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

Subgrupo del Catálogo de Islas Nacionales del Grupo Técnico para la Delimitación de las Zonas Marítimas Mexicanas (SCINGTDZMM). 2014. Catálogo del Territorio Insular Mexicano. INEGI, SEGOB, SEMAR, SEMARNAT, SRE, SCT, INECC, CONANP, UNAM. Aguascalientes, México. 245 pp.
https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos_abiertos_INECC/CGACC/DocumentosRIslasMarias/Eje2_InstrumentosDelTerritorioInsularMexicano/CatalogoInsularDelTerritorioMexicano.pdf

Tropicos v3.4.2. 2025. Missouri Botanical Garden. https://tropicos.org
Fecha de consulta [30/01/25].

Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R., Hošek, J. 2025. The Reptile Database. http://www.reptile-database.org
Fecha de consulta [30/01/25].

UICN. 2019. Guía para la planificación y gestión de especies invasoras en islas. Cambridge, Reino Unido y Gland, Suiza: UICN. viii + 43pp.
https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-030-Es.pdf

UICN. 2023. Categorías y criterios de la EICAT de la UICN. Clasificación del impacto ambiental de taxones exóticos. Primera edición. Gland, Suiza. https://doi.org/10.2305/ALRE3671

UNESCO. 2026. Programa el Hombre y la Biosfera. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://www.unesco.org/en/mab/wnbr/about?hub=66369
Fecha de consulta [03/02/25].

Wakida-Kusunoki, A.T., Amador-Del Ángel, L.E. 2008. Nuevos Registros de los Plecos *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau 1855) y *P. disjunctivus* (Weber 1991) (Siluriformes: Loricariidae) en el sureste de México. Hidrobiológica, 18: 251–256. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/916

Wilson, D.E., Reeder, D.M. 2005. Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference (3rd ed). Johns Hopkins University Press. https://doi.org/10.1644/06-MAMM-R-422.1

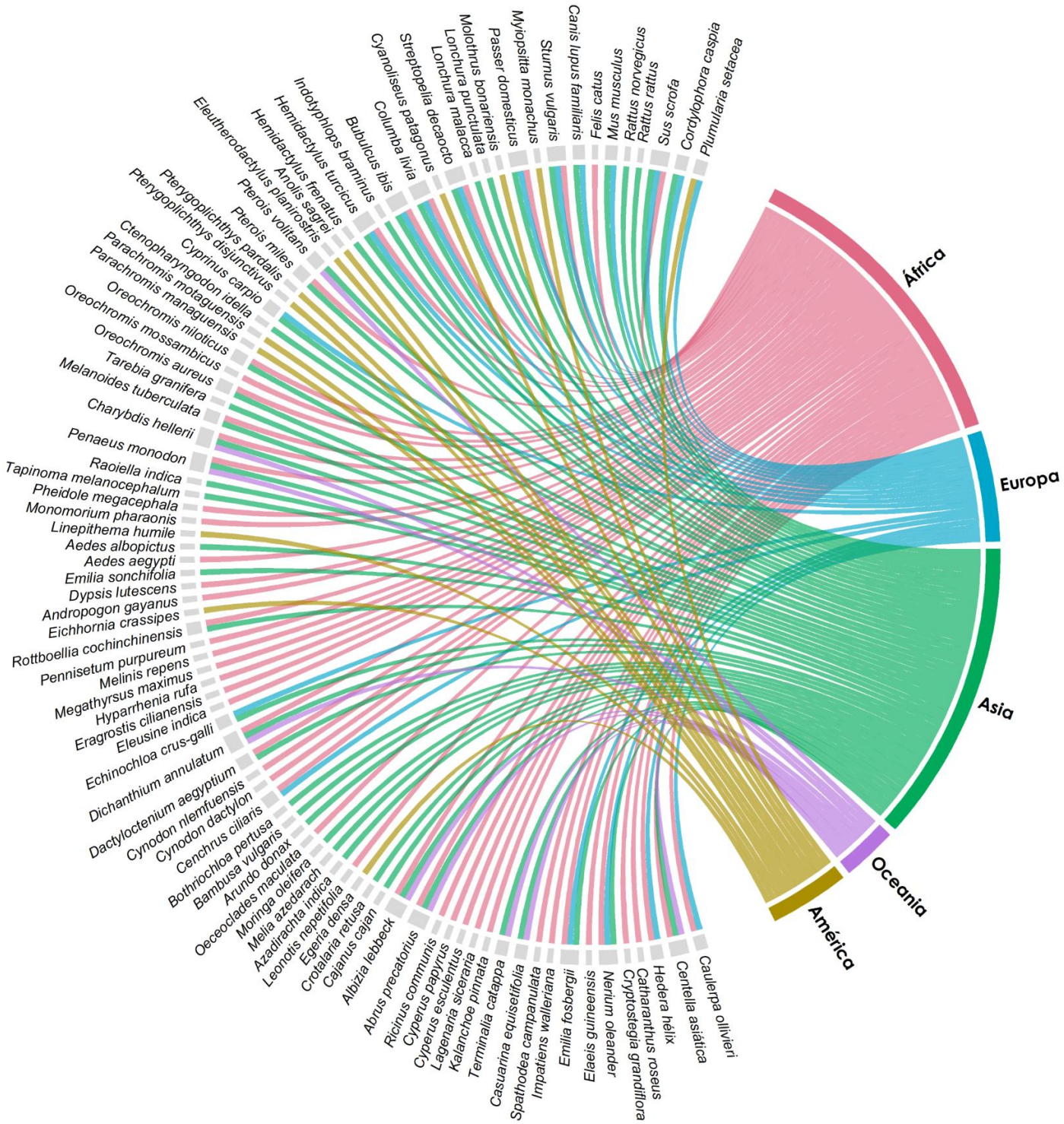
Wittenberg, R., Cock, M.J.W. (eds.). 2001. Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, xvii - 228.
https://www.cbd.int/doc/pa/tools/Invasive%20Alien%20Species%20Toolkit.pdf

WoRMS. 2025. World Register of Marine Species. https://www.marinespecies.org
Fecha de consulta [30/01/25].

Zhan, A., Bock, D., Briski, E., Colautti, R., Hu, J., & MacIsaac, H. 2025. Ecological and evolutionary dynamics of invasive species under global change. Global Change Biology, 31(10), e70530.
https://doi.org/10.1111/gcb.70530

Ziller, S.R., Dechoum, M.S., Silveira, R.A.D., da Rosa, H.M., Motta, M.S., da Silva, L.F., Oliveira, B.C.M., Zenni, R.D. 2020. A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. In: Wilson, J.R., Bacher, S., Daehler, C.C., Groom, Q.J., Kumschick, S., Lockwood, J.L., Robinson, T.B., Zengeya, T.A., Richardson, D.M. NeoBiota, 62: 591-606. https://doi.org/10.3897/neobiota.62.52633

Anexo A. Origen geográfico de las especies exóticas invasoras.



Anexo B. Bioseguridad insular como estrategia de prevención, detección temprana y respuesta rápida en áreas naturales protegidas.

Las EEI han invadido y perjudicado la biota nativa en prácticamente todos los ecosistemas del mundo, estas especies han contribuido a la extinción de cientos de especies nativas sobre todo en islas cuyo costo ambiental ha sido la pérdida de servicios ecosistémicos (Russell et al. 2017; Primack, 2002; McNeely et al. 2001). Las islas, por su condición de aislamiento, constituyen ecosistemas únicos que han evolucionado de forma independiente a los territorios continentales y aunque sólo representan un 5% de la superficie total del planeta, contienen aproximadamente un 20% de todas las especies de aves, reptiles y plantas (Figueroa, 2015). Su biodiversidad es particularmente frágil a las perturbaciones humanas y al ingreso de especies exóticas (Aguirre-Muñoz et al. 2009), ya que las especies nativas no están preparadas para afrontar agentes foráneos de grave peligro, lo que podría explicar por qué las islas contienen el 40% de todas las especies en peligro de extinción alrededor del mundo, y por qué el 80% de las extinciones conocidas han ocurrido en estos ecosistemas (Wittenberg y Cock, 2001).

Para afrontar esta problemática, organizaciones a nivel mundial han planteado protocolos a seguir para la gestión de EEI en islas (McNeely et al. 2001; IUCN, 2000). Con base en la experiencia internacional e información científica, se ha determinado que la prevención es la estrategia más rentable desde el punto de vista económico, y la más recomendable desde el punto de vista ecológico y social. Las estrategias implementadas posteriores a la introducción de una EEI requieren esfuerzos de gran magnitud con posibilidades limitadas de una erradicación y/o daños ecológicos irreversibles (Figueroa, 2015).

El fuerte impacto que tienen las EEI sobre la biodiversidad de las islas proyecta una tendencia continua a escala mundial (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Fig. A). En México, se refuerza esta premisa, ya que las EEI siguen siendo la principal problemática en islas (Fig. B), donde ya han provocado la extinción de 21 especies y subespecies insulares, además de la extirpación de numerosas colonias de aves marinas (Aguirre-Muñoz et al. 2017).

Una de las estrategias más eficientes para prevenir las afectaciones a los elementos insulares –islas, islotes, cayos y arrecifes– que existen en México, es la bioseguridad insular (Aguirre-Muñoz et al. 2017). El término bioseguridad se refiere al conjunto de políticas, medidas y acciones que se llevan a cabo para proteger la biodiversidad y el territorio insular de las EEI (Aguirre-Muñoz et

al. 2016; Russell et al. 2008), comprende la planeación e implementación de acciones para minimizar la probabilidad de transporte, llegada o establecimiento de EEI (Meyerson & Reaser, 2002; 2003).

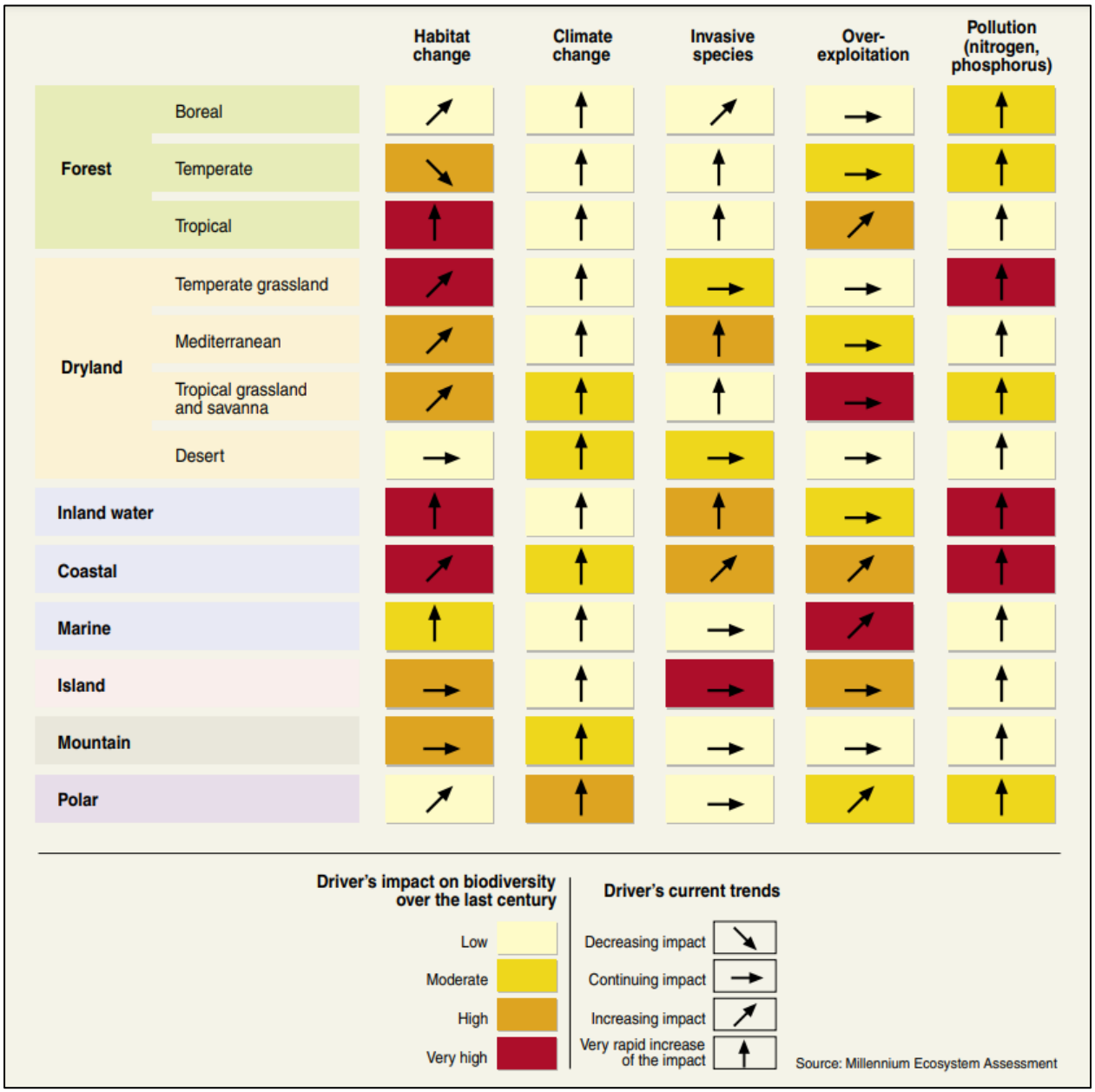


Figura A. Principales impulsores directos del cambio en la biodiversidad y los ecosistemas. El color de las celdas indica el impacto de cada impulsor sobre la biodiversidad en cada tipo de ecosistema durante los últimos 50-100 años. Las flechas horizontales indican una continuación del nivel actual de impacto; las flechas diagonales indican un incremento o decremento, y las flechas verticales indican una tendencia al aumento progresivo del impacto.
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

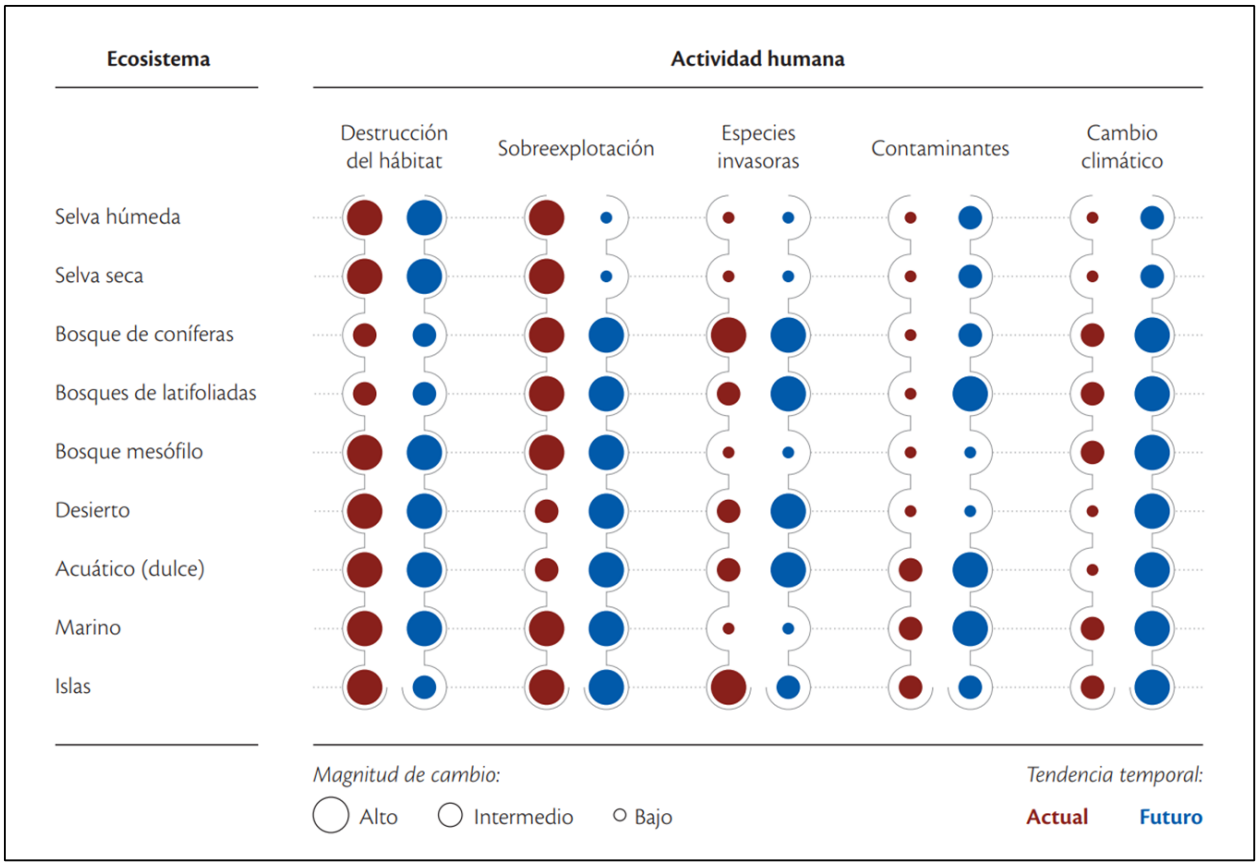


Figura B. Impacto de la actividad humana sobre los ecosistemas de México. La magnitud de cambio (impacto), esta denotada por los círculos de diferente tamaño y la tendencia temporal (actual y a futuro) del cambio en los ecosistemas se muestra con los colores.
Fuente: CONABIO, 2006.

La bioseguridad insular se compone de tres elementos fundamentales: la prevención o cuarentena, la vigilancia o detección temprana y la respuesta rápida o reacción (Sagolo & Reed, 2010). La prevención incluye la identificación de las vías de introducción de las EEI que potencialmente podrían llegar a una isla, la evaluación del riesgo de introducción y el establecimiento de procedimientos para minimizar dicho riesgo. Por detección temprana se entienden, los diversos métodos de vigilancia a través de dispositivos de detección, como trampas o cámaras trampa, para determinar si existe una incursión. Finalmente, un plan de respuesta rápida a la incursión de una EEI que se detecte o se sospecha, tiene como objetivo no solo confirmar la presencia sino también eliminarla (Moore et al. 2010; Latofski-Robles et al. 2019). También, se debe asegurar que existan recursos financieros y materiales adecuados para la respuesta rápida, así como el personal especializado. La cooperación interinstitucional y la organización en las comunidades es indispensable para detener el establecimiento y expansión de las EEI (Capdevila et al. 2006).

Áreas naturales protegidas con ecosistemas insulares en la península de Yucatán, Caribe mexicano y sureste del Golfo de México

- Arrecife Alacranes (**AA**)
- Arrecifes de Cozumel (**AC**)
- Arrecifes del Golfo de México-Sur (**AG**)
- Banco Chinchorro (**BC**)
- Caribe Mexicano (**CM**)
- Isla Contoy (**IC**)
- Laguna de Términos (**LT**)
- La Porción Norte y la Franja Costera Oriental, Terrestres y Marinas del Isla de Cozumel (**CO**)
- Los Petenes (**PE**)
- Ría Celestún (**RC**)
- Sian Ka'an (**SK**)
- Yum Balam (**YB**; CONANP, 2026)

Acciones de bioseguridad insular

Se proponen acciones de prevención y atención de EEI (Tabla A) como una visión regional para reducir la incursión en islas, las cuales se plantean en referencia al análisis de los siguientes instrumentos de planeación: Estrategia mundial sobre especies exóticas invasoras (McNeely et al. 2001); ENCTIM (CANTIM, 2012), Levantamiento de información relacionado a Protocolos para el manejo de especies exóticas invasoras en territorios insulares (Figueroa, 2015), Especies exóticas invasoras: una guía sobre las mejores prácticas de prevención y gestión (Wittenberg y Cock, 2001), Guía para la planificación y gestión de especies invasoras en islas (UICN, 2019), Protocolo de bioseguridad insular del Parque Nacional Arrecife Alacranes (CONANP-SEMAR-GECI-CONABIO) y, Protocolo de bioseguridad insular de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro (SBIRBBC, 2018).

Tabla A. Acciones para la prevención, detección temprana y respuesta rápida en ANP insulares.

Acciones	AA	AC	AG	BC	CM	CO	IC	LT	PE	RC	SK	YB	Instituciones responsables
Identificar las vías de introducción y vectores de las EEI para evitar la propagación de nuevas poblaciones.			▲		▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP CONABIO SEMARNAT
Colocar letreros informativos con las medidas de bioseguridad en sitios estratégicos como muelles, puertos y aeropuertos.	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP CONABIO SICT SEMAR
Elaborar Protocolos de bioseguridad insular locales con una ruta crítica y clara sobre las actividades de detección temprana y respuesta			▲		▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP CONABIO SEMAR Comunidades

rápida, en colaboración con las comunidades locales, sector turístico, cooperativas pesqueras y las instituciones gubernamentales.													Cooperativas OSC Instituciones académicas
Acciones	**AA**	**AC**	**AG**	**BC**	**CM**	**CO**	**IC**	**LT**	**PE**	**RC**	**SK**	**YB**	**Instituciones responsables**
Difundir y fortalecer la implementación de los tres Protocolos de Bioseguridad Insular que existen en la región (Arrecife Alacranes, Banco Chinchorro e Isla de Cozumel).	▲	▲		▲		▲							CONANP SEMAR Comunidades Cooperativas OSC
Capacitar a los operadores de empresas turísticas y pescadores sobre las afectaciones que causan las EEI en las islas.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP CONABIO SEMARNAT OSC
Implementar un programa de control de roedores y fumigaciones en los muelles, marinas privadas y aeropuertos.	▲	▲		▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	CONANP SEMAR SICT OSC
Instalar estaciones de limpieza de calzado previo al abordaje de embarcaciones, con la finalidad de eliminar la tierra y las semillas.	▲	▲		▲		▲	▲						CONANP Comunidades Cooperativas turísticas
Crear o fortalecer los puestos de especialistas (Oficiales de bioseguridad insular), para garantizar la correcta implementación de acciones en los puntos críticos de control.	▲	▲		▲		▲	▲				▲		CONANP CONABIO SEMARNAT SEMAR
Fortalecer la infraestructura y asegurar el financiamiento para la operación adecuada de los Protocolos de bioseguridad insular.	▲	▲		▲		▲	▲				▲		CONANP CONABIO SEMARNAT SEMAR
Establecer reuniones periódicas entre las instituciones involucradas en la conservación y seguridad de las islas para una coordinación efectiva.	▲	▲		▲		▲	▲				▲	▲	CONANP OSC Instituciones académicas

Acciones	AA	AC	AG	BC	CM	CO	IC	LT	PE	RC	SK	YB	Instituciones responsables
Hacer vinculantes las acciones de bioseguridad con los Programas de Manejo de ANP y otros Programas ambientales y del sector productivo.	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP SEMARNAT SEMAR CONAPESCA
Realizar campañas de educación ambiental y participación comunitaria en las ANP.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP CONABIO SEMARNAT
Establecer un Fondo de Emergencias para la Atención de EEI ante cualquier evento climático o invasión excepcional en las islas de la región.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP SEMARNAT CONABIO SEMAR
Promover que exista la legislación, reglamentos y procedimientos para la erradicación de EEI en las estrategias de detección temprana.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP SEMARNAT Sector legislativo
Sensibilizar a los visitantes a las islas sobre los impactos de EEI y la reglamentación de bioseguridad, utilizando carteles, audios o videos en líneas aéreas, transbordadores entre islas y puntos turísticos.	▲	▲		▲		▲	▲			▲	▲	▲	CONANP CONABIO SEMARNAT PROFEPA SEMAR SICT
Revisar por parte de los encargados de bioseguridad insular todo el equipaje y materiales en los puntos de embarque hacia las islas, para evitar el transporte de especies o semillas.	▲	▲		▲		▲						▲	CONANP SEMAR SICT
Desinfectar todo el equipo de campo que se transporte a las islas con una solución de cloro al 10% o alcohol al 70%.	▲	▲		▲		▲							CONANP SEMAR
Informar a los visitantes de las islas sobre las medidas de bioseguridad necesarias para evitar el transporte de EEI por parte de prestadores de servicios turísticos.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP SEMAR Comunidades Empresas turísticas

Acciones	AA	AC	AG	BC	CM	CO	IC	LT	PE	RC	SK	YB	Instituciones responsables
Capacitar al personal de la SEMAR y designar encargados en bioseguridad para atender eventualidades en altamar, en puntos de salida continentales y de llegada a las islas.	▲	▲		▲		▲	▲						CONANP CONABIO SEMAR SEMARNAT
Realizar un manejo adecuado de la basura en las islas para minimizar la disponibilidad de comida para roedores u otras especies.	▲	▲		▲		▲	▲	▲				▲	Ayuntamiento Comunidades pesqueras Empresas turísticas
Priorizar el tema de bioseguridad insular en las reuniones de Consejo Asesor de las ANP, para fortalecer la coordinación con los actores locales.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP Comunidades Instituciones académicas OSC
Realizar intercambios de experiencias entre técnicos encargados de bioseguridad insular en la región y a nivel nacional.	▲	▲		▲	▲	▲	▲				▲	▲	CONANP SEMAR CONABIO SEMARNAT
Fomentar brigadas de bioseguridad insular integradas por personas de comunidades locales, principalmente del sector pesquero y prestadores de servicios turísticos.			▲		▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	CONANP Comunidades pesqueras Empresas turísticas
Contar con manuales técnicos de identificación de especies de diversos grupos taxonómicos, para asegurar la correcta intervención de respuesta rápida.	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	▲ ■	CONANP CONABIO SEMARNAT PROFEPA OSC
Implementar un sistema de vigilancia permanente y alerta temprana para la detección de especies introducidas en las islas.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	CONANP PROFEPA CONABIO SEMAR
Inspeccionar y poner en cuarentena las zonas donde se importan	■	■		■		■	■					■	CONANP PROFEPA

materiales y se transportan personas entre el continente y las islas, usando métodos de evaluación y análisis de riesgo para revisar la mercancía.													SEMAR SEMARNAT SICT
Acciones	**AA**	**AC**	**AG**	**BC**	**CM**	**CO**	**IC**	**LT**	**PE**	**RC**	**SK**	**YB**	**Instituciones responsables**
Construir casetas de inspección especializadas en bioseguridad insular para detectar de manera inmediata la presencia de especies exóticas.	■	■		■		■	■					■	CONANP SEMAR ONG
Realizar inspecciones periódicas en las islas a través de transectos para identificar nuevas especies de plantas exóticas, con el apoyo de los Programas de subsidio de la CONANP.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	CONANP Comunidades
Realizar transectos lineales utilizando trampas Sherman, trampas Tomahawk, cámaras trampa, estaciones olfativas y bloques indicadores, con el apoyo de los Programas de subsidio de la CONANP.	■	■		■		■	■						CONANP Comunidades
Inspeccionar las condiciones de muelles, marinas, rampas, bodegas de pescadores y prestadores de servicios turísticos para asegurar que se encuentren libres de EEI.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	CONANP Comunidades pesqueras Empresas turísticas
Desarrollar e implementar planes de respuesta rápida con personal capacitado y con el presupuesto operativo necesario para identificar y erradicar especies exóticas.	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	CONANP OSC Comunidades pesqueras Empresas turísticas
Notificar las acciones de detección temprana y respuesta rápida a las	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Instituciones académicas OSC

Direcciones de ANP para las gestiones correspondientes.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Comunidades pesqueras Empresas turísticas
Acciones	**AA**	**AC**	**AG**	**BC**	**CM**	**CO**	**IC**	**LT**	**PE**	**RC**	**SK**	**YB**	**Instituciones responsables**
Revisar con binomios caninos todo el equipaje que se traslada a las islas, principalmente en zonas de alta incidencia turística, y eliminar los ejemplares encontrados.		■ ●				■ ●							CONANP SEMAR ONG
Atender de forma prioritaria los reportes de presencia de alguna EEI en las islas por parte del personal de las ANP, y realizar las gestiones correspondientes para documentar el proceso.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	CONANP OSC Comunidades
Eliminar a las especies exóticas posterior a la detección temprana, con la participación de las comunidades locales, y con el acompañamiento permanente de las autoridades correspondientes.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	CONANP SEMAR SEMARNAT PROFEPA Comunidades OSC Instituciones académicas

▲ Prevención; ■ Detección temprana; ● Respuesta rápida; Acción prioritaria para prevención; Acción prioritaria para detección temprana; Acción prioritaria para respuesta rápida.

Anexo 1. Referencias sobre la presencia de especies exóticas invasoras en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán, Caribe mexicano y sureste del Golfo de México

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Aguilar-Perera, A. & A. Tuz-Sulub. 2010. Non-native, invasive red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. Aquatic Invasions, 5(1): S9-S12. https://www.reabic.net/aquaticinvasions/2010/Supplement/AI_2010_5_S1_Aguilar-Perera_Tuz-Sulub.pdf

Aguilar-Perera, A. & L. Quijano-Puerto. 2016. Relations between fish length to weight, and otolith length and weight, of the lionfish *Pterois volitans* in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 51(2): 469-474. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5614975

Aguilar-Perera, A., Quijano-Puerto, L. & R.C. Hernández-Landa. 2017. Lionfish invaded the mesophotic coral ecosystem of the Parque Nacional Arrecife Alacranes, Southern Gulf of Mexico. Marine Biodiversity, 47: 15–16. https://doi.org/10.1007/s12526-016-0536-8

Aguilar-Perera, A., Quijano-Puerto, L., Carrillo-Flota, E., Williams, E. & L. Bunkley-Williams. 2018. First record of the snapper-choking isopod *Cymothoa excisa* (Isopoda: Cymothoidae) parasitizing invasive lionfish *Pterois volitans* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 98(8): 2095-2097. https://doi.org/10.1017/S0025315417001576

Aguilar-Perera, A., & R.C. Hernández-Landa. 2018. Occurrence of large thickets of *Acropora prolifera* (Scleractinia: Acroporidae) in the southern Gulf of Mexico. Mar Biodiv, 48: 2203–2205. https://doi.org/10.1007/s12526-017-0685-4

Aguilar-Perera, A., Valle-Nava, J., Williams, E.H. & L. Bunkley-Williams. 2018. Rocinela signata (Isopoda: Aegidae) parasitizing Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) in the Southern Gulf of Mexico, Marine Biology Research, 14(8): 883-886. https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1528012

Aguilar-Perera, A. & R.C. Hernández-Landa. 2022. "Variation in Body Length, Length-Weight Relationship, and Condition Factor of Lionfish (*Pterois volitans*) Between Years in a Mesophotic Coral Ecosystem in Alacranes Reef, Southern Gulf of Mexico". Caribbean Journal of Science, 52(2): 142-151. https://doi.org/10.18475/cjos.v52i2.a1

Aldrete-Chávez, A., Aguilar-Marín, L., De la Cruz-Landero, N., Guerra-Santos, J., Brito, R., Guevara, E. & R. Gelabert. 2010. Effects of scarification chemical treatments on the germinations of *Crotalaria retusa* L. Seeds. Journal of Biological Sciences, 10(6): 541-544. https://scialert.net/abstract/?doi=jbs.2010.541.544

Álvarez-Pliego, N., Sánchez, A., Florido, R. & M. Salcedo. 2015. First record of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Chumpan River system, southeast Mexico. BioInvasions Records, 4(4): 309–314. http://dx.doi.org/10.3391/bir.2015.4.4.14

Amador-Del Ángel, L.E., Wakida-Kusunoki, A.T. Guevara-Carrió, E.C., Brito-Pérez, R., y P. Cabrera-Rodríguez. 2009. Peces invasores de agua dulce en la región de la Laguna de Términos, Campeche. U. Tecnociencia, 3(2): 11-28. https://www.repositorio.unacar.mx/jspui/handle/1030620191/75

Aranda-González, I., Aguilar-Perera, A., Chel-Guerrero, L. Gallégos-Tintoré, S., & D. Betancur-Ancona. 2019. Chemical composition, amino acid and fatty acid profiles of Lionfish *Pterois volitans* from the Alacranes reef, southern Gulf of Mexico. Indian Journal of Animal Research, 54(10): 1246-1250. https://dx.doi.org/10.18805/ijar.B-1041

Arias-González, J.E., González-Gándara, C., Cabrera, J.L. & V. Christensen. 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. Environmental Research, 111(7): 917–925. https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.07.008

Arredondo-Chávez, A.T., Sánchez-Jiménez, J.A., Ávila-Morales, O.G., Torres-Chávez, P., Herrerias-Diego, Y., Medina-Nava, M., Madrigal-Gurdi, X., Campos-Mendoza, A., Domínguez-Domínguez, O. & J.A. Caballero-Vázquez. 2016. Spatio-temporal variation in the diet composition of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae), in the Mexican Caribbean: Insights into the ecological effect of the alien invasion. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 46(3): 185–200. https://doi.org/10.3750/AIP2016.46.3.03

Ayala-Pérez, L.A., Ramos-Miranda, J. y D. Flores-Hernández. 2003. La comunidad de peces de la Laguna de Términos: estructura actual comparada. Biología Tropical, 50(3-4): 783-793. https://www.redalyc.org/pdf/449/44911882020.pdf

Barão-Nóbrega, J.A.L., Nahuat-Cervera, P.E., Avella, I., Capehart, G., García, B., Oakley, J., Theodorou, A. & K.Y. Slater. 2022. Herpetological diversity in Calakmul, Campeche, Mexico: species list with new distribution notes. Revista Mexicana de Biodiversidad, 93: e933927. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3927

Betancur-R, R., Hines, A., Acero, A., Ortí, G., Wilbur, A.E. & D.W. Freshwater. 2011. Reconstructing the lionfish invasion: insights into Greater Caribbean biogeography. Journal of Biogeography, 38(7): 1281–1293. https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2699.2011.02496.x

Camacho-Valdez, V., Rodiles-Hernández, R., Navarrete-Gutiérrez, D.A. & E. Valencia-Barrera. 2022. Tropical wetlands and land use changes: The case of oil palm in neotropical riverine floodplains. PLoS ONE, 17(5): e0266677. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266677

Canales-Delgadillo, J.C., Benítez-Orduña, E., Pérez-Ceballos, R.Y., Zaldívar, A., Gómez-Ponce, M., Cardoso-Mohedano, J.G. & M. Merino-Ibarra. 2020. Inter-annual diversity of birds in the shoreline of an island in the southern Gulf of Mexico. Huitzil, 21(1): e565. https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.1.433

Carrillo-Flota, E. del C. & A. Aguilar-Perera. 2017. Stakeholder perceptions of red lionfish (*Pterois volitans*) as a threat to the ecosystem and its potential for human consumption in Quintana Roo, Mexico. Ocean & Coastal Management, 136: 113–119. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.027

Castañeda-Chávez, M. R., Lango-Reynoso, F., Navarrete-Rodríguez, G. & A.T. Wakida-Kusunoki. 2021. Concentration of Metals in Native and Invasive Species of Fish in the Fluvial-Lagoon-Deltaic System of the Palizada River, Campeche. Fishes, 6(72). https://doi.org/10.3390/fishes6040072

Castaño-Meneses, G. 2012. Primeros registros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en suelos de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) en Xcalak, Quintana Roo, México. Dugesiana, 19(2): 113-116. http://dugesiana.cucba.udg.mx/index.php/DUG/article/view/4067

Castillo-Campos, G., García-Franco, J.G., Martínez, M.L. & J.J. Pale-Pale. 2023. Alien and Potentially Invasive Plants in Four Lagoons on the Island of Cozumel, Mexico. Plants, 12, 1918. https://doi.org/10.3390/plants12091918

Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del litoral Atlántico de México. Acta Botánica Mexicana, 45: 55-80. https://doi.org/10.21829/abm45.1998.812

Cen-López, A. & A. Aguilar-Perera. 2020. Perceptions of diver-fishermen and recreational divers on lionfish as a threat in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico. Ocean & Coastal Management, 193, 105225. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105225

Cepeda-González, M.F., Escalona-Segura, G., Montero-Muñoz, J.L., Méndez-González, M.E., Pozo-de la Tijera, C. y Hernández-Betancourt, S. 2011. Composición de especies de aves en potreros de matrices de origen antropogénico y mixto en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México. Brenesia, 75-73: 37-48. https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11748

Chablé-Santos, J., Gómez-Uc, E. y S. Hernández-Betancourt. 2012. Registros reproductivos de la paloma de collar (*Streptopelia decaocto*) en Yucatán, México. Huitzil, 13(1): 1-5. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-74592012000100001

Charruau, P., Díaz de la Vega, A.H. & F.R. Méndez. 2015. Reptiles of Banco Chinchorro: Updated List, Life History Data, and Conservation. The Southwestern Naturalist, 60(4): 299–312. http://dx.doi.org/10.1894/0038-4909-60.4.299

Cimé, J.A., Chablé-Santos, J.B., Sosa-Escalante, J.E. y S.F. Hernández-Betancourt. 2006. Quirópteros y pequeños roedores de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. Acta Zoológica Mexicana, 22(1): 127-131. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372006000100011&lng=es

Cobian, D., Schmitter-Soto, J.J., Aguilar-Perera, A., Aguilar, C.M., Ruiz-Zárate, M.A., González, G., Chevalier, P.P., García, A., Herrera, R., Perera, S., Caballero, H. y E. de la Guardia. 2018. Diversidad de las comunidades de peces en dos áreas marinas protegidas del Caribe y su relación con el pez león. Rev. Biol. Trop, 66(1): 189-203. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-77442018000100189&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Cobián-Rojas, D., Schmitter-Soto, J.J., Aguilar, C.M., Aguilar-Perera, A., Ruiz-Zárate, M.A., González-Sansón, G., Chevalier, P.P., Herrera, R., García, A., Corrada, R.I., Cabrera, D., Salvat, H. & S. Perera. 2018. The community diversity of two Caribbean MPAs invaded by lionfish does not support the biotic resistance hypothesis. Journal of Sea Research, 134: 26–33. https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.01.004

Collado-Vides, L., González-González, J. & E. Ezcurra. 1995. Patrones de distribución ficofloristica en el sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. Acta Botánica Mexicana, 31: 19-32. https://doi.org/10.21829/abm31.1995.734

Collantes-Chávez-Costa, A., Alanís-Rodríguez, E., Yam-Uicab, O., López-Contreras, C., Sarmiento-Muñoz, T. & J.L. Tapia-Muñoz. 2019. Composition, structure and diversity of coastal vegetation in the northeastern of Cozumel, Mexico. Botanical Sciences, 97(2): 135-147. https://doi.org/10.17129/botsci.2044

Colston, T.J., Barão-Nóbrega, J.A.L., Manders, R., Lett, A., Willmott, J., Cameron, G., Hunter, S., Radage, A., Littlefair, E., Williams, R.J., Lopez, A. & K. Slater. 2015. Amphibians and reptiles of the Calakmul Biosphere Reserve, México, with new records. Check List, 11(5): 1759. http://dx.doi.org/10.15560/11.5.1759

Cuarón, A.D., Martínez-Morales, M.A., Mcfadeen, K.W., Valenzuela, D. & M.E. Gompper. 2004. The status of dwarf carnivores on Cozumel Island, Mexico. Biodiversity and Conservation, 13: 317-331. https://link.springer.com/article/10.1023/B:BIOC.0000006501.80472.cc

Degante-González, A.P., Tepatlán-Vargas, R., Ramírez-Utrera, A.R., Mora-Herediay, E. y R. Villegas-Patraca. 2018. Registro del capuchino tricolor (*Lonchura malacca*) en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Rev. Mex. Biodivers, 89: 582-586. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2036

Endañú-Huerta, E., López-Contreras, J.E., Amador-Del Ángel, L.E., Carnevali, G., Guevara-Carrió, E., Duno de Stefano, R. y W. Cetzal-Ix. 2017. Diversidad de orquídeas del Sistema Fluvio Lagunar Deltaico Palizada-Del Este en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche, México. Acta Biológica Colombiana, 22(3): 398-407. http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n3.53107

Espinoza-Avalos, J., Aguilar-Rosas, L.E., Aguilar-Rosas, R., Gómez-Poot, J.M. & Raigoza-Figueras, R. 2015. Presencia de Caulerpaceae (Chlorophyta) en la Península de Yucatán, México. Botanical sciences, 93(4): 845-854. https://doi.org/10.17129/botsci.160

Estrada-Venegas, E.G., Acuña, J.A., Chaires-Grijalva, M.P. y A. Equihua-Martínez. 2015. *Raoiella indica* Hisrt (ACARI: TENUIPALPIDAE) su situación actúa en el Estado de Quintana Roo, a ocho meses de su detección oficial. Folia Entomológica Mexicana, 1(1): 7-16. http://revistas.acaentmex.org/index.php/folia/article/view/159/147

Estrada-Venegas, E.G., Chaires-Grijalva, P., Acuña, J.A., Equihua, A. y M. Ramos. 2017. Ácaros PHYTOSEIIDAE Asociados a *Raoiella indica* Hirst, 1924 (ACARI: TENUIPALPIDAE) en el sur de México. Folia Entomológica Mexicana, 3(1): 1−8. http://revistas.acaentmex.org/index.php/folia/article/view/135/124

Flota-Bañuelos, C., Candelaria-Martínez, B., Mejénes-López, S.M.A., Vázquez-May, L.A., Castillo-Sánchez, L. y E. López-Coba. 2018. Avifauna de áreas agropecuarias y de regeneración en Tizimín, Yucatán, México. Agroproductividad, 11(6): 24-30. https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/422

García, E., Silva, E., Reyes, J., Arcocha, E., Buenfil, C., Bolívar, N. y G. Cortés. 2015. Caracterización físico-mecánica del recurso natural Bambú presente en el Estado de Campeche, México. Revista Iberoamericana de Ciencias, 2(7): 25-38. http://www.reibci.org/publicados/2015/dic/1400110.pdf

García-Arroyo, M., Gómez-Martínez, M.A. & I. MacGregor-Fors. 2022. The queen of the island: On the density and distribution of the Eurasian Collared-Dove (*Streptopelia decaocto*) in Cozumel. Urban Ecosystems, 25: 285–290. https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-021-01147-x

García-Rivas, M. del C., Machkour-M'Rabet, S., Pérez-Lachaud, G., Schmitter-Soto, J.J., Doneys, C., St-Jean, N., Cobián, D. & Y. Hénaut. 2017. What are the characteristics of lionfish and other fishes that influence their association in diurnal refuges? Marine Biology Research, 13(8): 899–908. https://doi.org/10.1080/17451000.2017.1314496

García-Rivas, M. del C., Machkour-M'Rabet, S., Pérez-Lachaud, G., Schmitter-Soto, J.J., Céréghino, R., Doneys, C., St-Jean, N. & Y. Hénaut. 2018. Age-dependent strategies related to lionfish activities in the Mexican Caribbean. Environmental Biology of Fishes, 101: 563–578. https://doi.org/10.1007/s10641-018-0718-2

Gómez-Ponce, M.A., Bolaños-Martínez, N., Díaz-Jaimes, P., Bortolini-Rosales, J.L. & P. de J. Castellanos. 2020. A new record of a tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 breeding female in the coast of Campeche, Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research, 48(1): 150-155. http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2339

González-Jaramillo, M., Martínez, E., Esparza-Olguín, L.G. y J.L. Rangel-Salazar. 2016. Actualización del inventario de la avifauna de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, península de Yucatán, México: abundancia, estacionalidad y categoría de conservación. Huitzil, 17(1): 54-106.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-74592016000100004&script=sci_abstract

González-Sánchez, V.H., Johnson, J.D., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., DeSantis, D.L. & L.D. Wilson. 2017. The Herpetofauna of the Mexican Yucatan Peninsula: composition, distribution, and conservation status. Mesoamerican Herpetology, 4(2): 264-380.
https://mesoamericanherpetology.com/uploads/3/4/7/9/34798824/mh_4-2_gonzalez-sanchez_et_al.pdf

González-Sánchez, V.H., Johnson, J.D., González-Solís, D., Fucsko, L.A. & L.D. Wilson. 2021. A review of the introduced herpetofauna of Mexico and Central America, with comments on the effects of invasive species and biosecurity methodology. ZooKeys, 1022: 79–154. https://doi.org/10.3897/zookeys.1022.51422

Guzmán-Méndez, I.A., Rivera-Madrid, R., Díaz-Jaimes, P., García-Rivas, M.C., Aguilar-Espinosa, M. y J.E. Arias-González. 2017. First genetically confirmed record of the invasive devil firefish *Pterois miles* (Bennett, 1828) in the Mexican Caribbean. BioInvasions Records, 6(2): 99–103. https://doi.org/10.3391/bir.2017.6.2.02

Guzmán-Méndez, I.A., Rivera-Madrid, R., Planes, S., Boissin, E., Cróquer, A., Agudo-Adriani, E., González-Gándara, C., Pérez-España, H., Giro-Petersen, A., Luque, J., García-Rivas, M.C., Aguilar-Espinosa, M., Arguelles, J. & J.E. Arias-González. 2020. Genetic connectivity of lionfish (*Pterois volitans*) in marine protected areas of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Ecol Evol, 10: 3844–3855. https://doi.org/10.1002/ece3.5829

Hackerott, S., Valdivia, A., Green, S.J., Côté, I.M., Cox, C.E., Akins, L., Layman, C.A., Precht, W.F. & J.F. Bruno. 2013. Native Predators Do Not Influence Invasion Success of Pacific Lionfish on Caribbean Reefs PLoS ONE, 8(7): e68259. https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0068259

Hernández-Pérez, E.L., Castillo, G., García, G., Hidalgo-Mihart, M., Sanvicente, M., Contreras-Moreno, F.M., Jesús-de la Cruz, A., Juárez-López, R. & R. Reyna-Hurtado. 2019. Distribución potencial del cerdo asilvestrado, *Sus scrofa* (Artiodactyla: Suidae) y el pecarí de collar, *Pecari tajacu* (Artiodactyla: Tayassuidae) en la región de Laguna de Términos, México. Revista de Biología Tropical, 67(6): 1170-1179. http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i6.37006

Hernández-Pérez, E.L., Castillo-Vela, G., García-Marmolejo, G., Hidalgo-Mihart, M., Contreras-Moreno, F.M., Jesús-de la Cruz, A., Juárez-López, R. y R. Reyna-Hurtado. 2020. Relaciones ecológicas entre pecaríes de collar y cerdos asilvestrados en el sur de México: ¿evidencia de la división de nicho?. Revista Mexicana de Biodiversidad, V.91: e912977. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2977

Hidalgo-Mihart, M.G., Pérez-Hernández, D., L.A. Pérez-Solano, D.L., Contreras-Moreno, F., Angulo-Morales, J. y J. Hernández-Nava. 2014. Primer registro de una población de cerdos asilvestrados en el área de la Laguna de Términos, Campeche, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85: 990-994. https://doi.org/10.7550/rmb.38520

Hidalgo-Mihart, M.G., Contreras-Moreno, F.M., Jesús-de la Cruz, A., Juárez-López, R., Bravata de la Cruz, Y., Pérez-Solano, L.A., Hernández-Lara, C., Friedeberg, D., Thornton, D. & J.M. Kohler-González. 2017. Inventory of medium-sized and large mammals in the wetlands of Laguna de Terminos and Pantanos de Centla, Mexico. Check List, 13(6): 711–726. https://doi.org/10.15560/13.6.711

Johnston, M.W. & S.J. Purkis. 2011. Spatial analysis of the invasion of lionfish in the western Atlantic and Caribbean. Marine Pollution Bulletin, 62(6): 1218–1226. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.028

Kluza, D.A. 1998. First Record of Shiny Cowbird (*Molothrus bonariensis*) in Yucatán, Mexico. The Wilson Bulletin, 110(3): 129-130. https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/wilson/v110n03/p0429-p0430.pdf

López-Gómez, M.J., Aguilar-Perera, A. & L. Perera-Chan. 2014. Mayan diver-fishers as citizen scientists: detection and monitoring of the invasive red lionfish in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico. Biol Invasions, 16: 1351–1357. https://doi.org/10.1007/s10530-013-0582-0

López-Pérez, A.M., Sánchez-Montes, S., Maya-Badillo, B.A., Orta-Pineda, G., Reveles-Félix, S., Becker, I., Bárcenas-Barreto, K., Torres-Monroy, A., Ojeda-Flores, R. & J.I. Sánchez-Betancourt. 2022. Molecular detection of *Rickettsia*

amblyommatis and *Rickettsia parkeri* in ticks collected from wild pigs in Campeche, Mexico. Ticks and Tick-borne Diseases, 13, 101844. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101844

MacGregor-Fors, I., Gómez-Martínez, M.A., Vázquez, L.B. & M.L. Martínez. 2022. Birds of the Land of Swallows: contribution of the main ecosystems of Cozumel Island to its avian diversity. Écoscience, 29(1): 15-24. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11956860.2021.1932293

Martínez, M.L., Castillo-Campos, G., García-Franco, J.G., Pérez-Maqueo, O., Mendoza-González, G. & J.J. Pale-Pale. 2021. Mexican Coastal Dunes: Recipients and Donors of Alien Flora. Diversity, 13, 530. https://doi.org/10.3390/d13110530

Maya-Badillo, B.A., Ojeda-Flores, R., Chaves, A., Reveles-Félix, S., Orta-Pineda, G., Martínez-Mercado, M.J., Saavedra-Montañez, M., Segura-Velázquez, R., Sanvicente, M. & J.I. Sánchez-Betancourt. 2020. Eco-Epidemiological Evidence of the Transmission of Avian and Human Influenza A Viruses in Wild Pigs in Campeche, Mexico. Viruses, 12(5): 528. https://doi.org/10.3390/v12050528

Mercer, D.E., Haggar, J., Snook, A., et al. 2005. Agroforestry adoption in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. Small-scale Forestry, 4: 163–183. https://doi.org/10.1007/s11842-005-0011-z

Morales-Vera, T.H., Ruz-Rosado, D., Velarde, E. & E. Keith. 2017. Status of seabird nesting populations on Arrecife Alacranes, Golfo de México. Marine Ornithology, 45: 175–185. http://www.marineornithology.org/article?rn=1225

Ocaña, D. & Lot, H. 2009. Estudio de la vegetación acuática vascular del sistema fluvio-lagunar-deltaico del río Palizada en Campeche, México. Anales del Instituto de Biología Serie Botánica, 67(2). https://revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/1894

Ortega-Morales, A.I., Bond, G., Méndez-López, R., Garza-Hernández, J.A., Hernández-Triana, L.M. & M. Casas-Martínez. 2018. First Record of Invasive Mosquito *Aedes albopictus* in Tabasco and Yucatan, Mexico. Journal of the American Mosquito Control Association, 34(2): 120–123. https://doi.org/10.2987/18-6736.1

Ortegón-Aznar, I., Rosado Espinoza, L.A., Aguilar Perera, A. 2015. Occurrence of the introduced alga *Caulerpa ollivieri* Dostál, 1929 (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the Southern Gulf of Mexico. BioInvasions Records, 4(1): 17–21. https://www.reabic.net/journals/bir/2015/1/BIR_2015_OrtegonAznar_etal.pdf

Ortiz, M., Rodríguez-Zaragoza, F., Hermosillo-Nuñez, B. & F. Jordan. 2015. Control Strategy Scenarios for the Alien Lionfish *Pterois volitans* in Chinchorro Bank (Mexican Caribbean): Based on Semi-Quantitative Loop Analysis. PLOS ONE, 10(6): e0130261. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130261

Ortiz-Medina, J., Peña-Peniche, A. y J. Chablé-Santos. 2022. Diversidad de anfibios y reptiles en cuatro tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, México. Revista Latinoamericana de Herpetología, 5(4): 16-32. https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.4.435

Padilla, S.E. y E. Perera–Trejo. 2009. Herpetofauna del sureste de la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, México. Revista Mexicana de Herpetología, 17(1): 1–11. https://www.academia.edu/29155437/HERPETOFAUNA_DEL_SURESTE_DE_LA_RESERVA_DE_LA_BIOSFERA_LOS_PETENES_CAMPECHE_M%C3%89XICO_seRgio_e_padilla_y_eRnesto_peReRa_tReJo

Palacios-Aguilar, R., Santos-Bibiano, R. & E. Beltrán-Sánchez. 2016. First records for Cozumel Island, Quintana Roo, Mexico: *Eleutherodactylus planirostris* (Anura: Eleutherodactylidae), *Trachycephalus typhonius* (Anura: Hylidae), and *Indotyphlops braminus* (Squamata: Typhlopidae). Mesoamerican Herpetology, 3(2): 531-533. https://www.academia.edu/29244277/First_records_for_Cozumel_Island_Quintana_Roo_Mexico_Eleutherodactylus_planirostris_Anura_Eleutherodactylidae_Trachycephalus_typhonius_Anura_Hylidae_and_Indotyphlops_braminus_Squamata_Typhlopidae_

Parra-Tabla, V., Albor-Pinto, C., Tun-Garrido, J., Angulo, D.F., Barajas, C., Silveira, R., Ortiz-Díaz, J.J. & Arceo-Gómez, G. 2018. Spatial patterns of species diversity in sand dune plant communities in Yucatan, Mexico: Importance of invasive species for species dominance patterns. Plant Ecology & Diversity, 11(2): 157-172. https://doi.org/10.1080/17550874.2018.1455232

Perdomo-Velázquez, H., Andresen, E., Vega, E., Schondube, J.E. & A.D. Cuarón. 2017. Effects of Hurricanes on the Understory Forest Birds of Cozumel Island. Tropical Conservation Science, 10: 1-14. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1940082917737759

Perera-Chan, L.C. & Aguilar-Perera, A. 2014. Length-weight and length-length relationships of the invasive red lionfish [*Pterois volitans* (Linnaeus, 1758): Scorpaenidae] in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, Southern Gulf of Mexico. Journal of Applied Ichthyology, 30: 202-203. https://doi.org/10.1111/jai.12294

Pérez-Flores, J., Mardero, S., López-Cen, A. & F.M. Contreras-Moreno. 2021. Human-wildlife conflicts and drought in the greater Calakmul Region, Mexico: implications for tapir conservation. Neotropical Biology and Conservation, 16(4): 539–563. https://doi.org/10.3897/neotropical.16.e71032

Petatán-Ramírez, D., Hernández, L., Becerril-García, E.E., Berúmen-Solórzano, P., Auliz-Ortiz, D. & H. Reyes-Bonilla. 2020. Potential distribution of the tiger shrimp *Penaeus monodon* (Decapoda: Penaeidae), an invasive species in the Atlantic Ocean. Revista de Biología Tropical, 68(1): 156-166. http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37719

Pozo de la Tijera, C. y J.E. Escobedo. 1999. Mamíferos terrestres de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Revista de Biología Tropical, 47(1–2): 251-262. https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol47-1/24_Pozo_Mamiferos_terrestres.pdf

Rodríguez-Córtes, K.D., Aguilar-Perera, A. & J.L. Bonilla-Gómez. 2015. Growth and mortality of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidea), in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico, as determined by size-frequency analysis. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 45(2): 175-179. https://doi.org/10.3750/AIP2015.45.2.07

Sabido-Itzá, M.M., Aguilar-Perera, A. & A. Medina-Quej. 2016. Length–weight and length–length relations, and relative condition factor of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae), from two natural protected areas in the Mexican Caribbean. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 46(4): 279-285. https://doi.org/10.3750/AIP2016.46.4.01

Sabido-Itzá, M.M., Medina-Quej, A., de Jesús-Navarrete, A., Gómez-Poot, J.M. & M.C. García-Rivas. 2016. Size structure as evidence of population establishment of *Pterois volitans* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) in the South Mexican Caribbean. Revista de Biología Tropical, 64(1): 353–362. https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18943

Sabido-Itzá, M.M., Castro-Pérez, J.M., Nava-Martínez, G., Medina-Quej, A., M.B. Hernández-Millán. 2019. Los censos visuales en transectos de banda subestiman la abundancia del pez león *Pterois* spp. en arrecifes coralinos del Caribe. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 54(3): 329-335. https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.3.2028

Sabido-Itzá, M.M. & M. del C. García-Rivas. 2019. Record of abundance, spatial distribution and gregarious behavior of invasive lionfish *Pterois* spp. (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) in coral reefs of Banco Chinchorro Biosphere Reserve, southeastern Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research, 47(2): 349-355. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2019000200349&script=sci_abstract

Sánchez, A., Florido, R., Álvarez-Pliego, N. y M. Salcedo. 2015. Distribución de *Pterygoplichthys* spp. (Siluriformes: Loricariidae) en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. Revista Mexicana de Biodiversidad, 86(4): 1099-1102. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.016

Schmitter-Soto, J.J., Aguilar-Perera, A., Cruz-Martínez, A., Herrera-Pavón, R.L., Morales-Aranda, A.A., & D. Cobián-Rojas. 2018. Interdecadal trends in composition, density, size, and mean trophic level of fish species and guilds before and after coastal development in the Mexican Caribbean. Biodiversity and Conservation, 27: 459–474. https://doi.org/10.1007/s10531-017-1446-1

Schofield, P. 2010. Update on geographic spread of invasive lionfishes (*Pterois volitans* [Linnaeus,1758] and *P. miles* [Bennett, 1828]) in the Western North Atlantic Ocean, Caribbean Sea and Gulf of Mexico. Aquatic Invasions, 5(1): S117–S122. https://doi.org/10.3391/ai.2010.5.S1.024

Simoes, N., Wakida-Kusunoki4, A.T., Cruz-Sánchez, J.L., Alvarez, F. & J.L. Villalobos-Hiriart. 2019. On the presence of *Charybdis* (*Charybdis*) *hellerii* (A. Milne-Edwards, 1867) on the Mexican coast of the Gulf of Mexico. BioInvasions Records, 8 (3): 670–674. https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.3.24

Soria-Barreto, M., González-Díaz, A.A., Castillo-Domínguez, A., Álvarez-Pliego, N. y R. Rodiles-Hernández. 2018. Diversidad íctica en la cuenca del Usumacinta, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 89: 100-117. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v89sdic/2007-8706-rmbiodiv-89-sdic-100.pdf

Sosa-López, A., Juárez-Camargo, P., Del Rio-Rodríguez, Ayala-Pérez L.A., Romero-Herrera, C.U. y M.I. Gómez-Solano. 2017. First record of invasive red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: Scorpaenidae) in waters of a natural protected area from Campeche, México. El Hombre y su Ambiente, 1(13): 10-15. https://www.researchgate.net/profile/Mi-Gomez-Solano/publication/318311312_First_record_of_invasive_red_lionfish_Pterois_volitans_Linnaeus_1758_Scorpaenidae_in_waters_of_a_natural_protected_area_from_Campeche_Mexico/links/59627b44a6fdccc9b1474d0c/First-record-of-invasive-red-lionfish-Pterois-volitans-Linnaeus-1758-Scorpaenidae-in-waters-of-a-natural-protected-area-from-Campeche-Mexico.pdf

Toro-Ramírez, A., Wakida-Kusunoki, A.T., Amador-del Ángel, L.E. & J.L. Cruz-Sánchez. 2014. Common snook [*Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792)] preys on the invasive Amazon sailfin catfish [*Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855)] in the Palizada River, Campeche, southeastern Mexico Journal of Applied Ichthyology, 30: 532–534. https://doi.org/10.1111/jai.12391

Torres-Castro, I.L., Vega-Cendejas, M.E., Schmitter-Soto, J.J., Palacio-Aponte, G. y R. Rodiles-Hernández. 2009. Ictiofauna de sistemas cárstico-palustres con impacto antrópico: los petenes de Campeche, México. Rev. Biol. Trop, 57(1-2): 141-157. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442009000100014&script=sci_arttext

Trinidad-Ocaña, C., Juárez-Flores, J., Sánchez, A.J., y E. Barba-Macías. 2018. Diversidad de moluscos y crustáceos acuáticos en tres zonas en la cuenca del río Usumacinta, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 89: S65 - S78. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2387

Valdez-Moreno, M., Quintal-Lizama, C., Gómez-Lozano, R. & M. del C. García-Rivas. 2012. Monitoring an Alien Invasion: DNA Barcoding and the Identification of Lionfish and Their Prey on Coral Reefs of the Mexican Caribbean. PLoS ONE, 7(6): e36636. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036636

Valdivia, A., Bruno, J.F., Cox, C.E., Hackerott, S. & S.J. Green. 2014. Re-examining the relationship between invasive lionfish and native grouper in the Caribbean. PeerJ, 2: e348. https://doi.org/10.7717/peerj.348

Vásquez-Cruz, V., Reynoso-Martínez, A., Fuentes-Moreno, A. & L. Canseco-Márquez. 2020. The Distribution of Cuban Brown Anoles, *Anolis sagrei* (Squamata: Dactyloidae), in Mexico, with New Records and Comments on Ecological Interactions. Reptiles & Amphibians, 27(1): 29–35. https://doi.org/10.17161/randa.v27i1.14442

Vázquez, M.A., May, D.A. y E.B. Alamilla. 2016. Riqueza especifica y biodiversidad de Cozumel, Quintana Roo, México. Teoría y Praxis, 19:137-171. https://www.redalyc.org/pdf/4561/456146535008.pdf

Vázquez-Yeomans, L., Carrillo, L., Morales, S., Malca, E., Morris, J.A., Schultz, T. & J.T. Lamkin. 2011. First larval record of *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) collected from the ichthyoplankton in the Atlantic. Biological Invasions, 13(12): 2635–2640. https://doi.org/10.1007/s10530-011-9968-z

Villaseñor-Derbez, J.C. & R. Herrera-Pérez. 2014. Brief description of prey selectivity and ontogenetic changes in the diet of the invasive lionfish *Pterois volitans* (Actinopterygii, Scorpaenidae) in the Mexican Caribbean. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 9(2): 131-135. https://villasenor-derbez.com/files/publications/001_Pvolitans_diet.pdf

Wakida-Kusunoki, A.T. y L.E. Amador-del Ángel. 2008. Nuevos registros de los plecos *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau 1855) y *P. disjunctivus* (Weber 1991) (Siluriformes: Loricariidae) en el Sureste de México. Hidrobiológica, 18(3): 251-256. https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/issue/view/61

Wakida-Kusunoki, A.T. y L.E. Amador-del Ángel. 2011. Aspectos biológicos del pleco invasor *Pterygoplichthys pardalis* (Teleostei: Loricariidae) en el río Palizada, Campeche, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82(3): 870-878. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532011000300013&script=sci_abstract&tlng=pt

Wakida-Kusunoki, A.T., Rojas-González, R.I., González-Cruz, A., Del Ángel, L.E., Sánchez-Cruz, J.L. & N.A. López. 2013. Presence of giant tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 on the Mexican coast of the Gulf of Mexico. BioInvasions Records, 2(4): 325–328. http://dx.doi.org/10.3391/bir.2013.2.4.11

Wakida-Kusunoki, A.T. y A. Toro-Ramírez. 2016. El robalo prieto (*Centropomus poeyi*), nuevo depredador del pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*). Hidrobiológica, 26(1): 147-149. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000100147

Wakida-Kusunoki, A., De Anda-Fuentes, D. & N. López-Téllez. 2016. Presence of giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) in eastern Peninsula of Yucatan coast, Mexico. Lat. Am. J. Aquat. Res, 44(1): 155-158.

https://doi.org/10.3856/vol44-issue1-fulltext-16

Wakida-Kusunoki, A.T., Cruz-Sánchez, J.L. & N.A. López-Téllez. 2021. A review of recent sightings and reports of the giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Decapoda: Penaeidae) on the Mexican coast of the Gulf of Mexico (2012-2019). Revista de Biología Marina y Oceanografía, 56(1): 83-88. https://doi.org/10.22370/rbmo.2021.56.1.2802

Zaldívar-Cruz, B., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Canales-Delgadillo, J., Endañu-Huerta, E., Flores, A.B. & J. Tun-Garrido. 2022. Structural and diversity changes in coastal dunes from the Mexican Caribbean: the case of the invasive Australian pine (*Casuarina equisetifolia*). Management of Biological Invasions, 13(1): 131–146. https://doi.org/10.3391/mbi.2022.13.1.08

LIBROS O CAPÍTULOS DE LIBROS

Aguilar-Perera, A. y E. Carrillo. 2014. Revisión sobre la invasión del pez león en el Sureste del Golfo de México. En: Low, A., Quijón, P. y E. Peters. (eds.). Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en Ecosistemas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, University of Prince Edward Island. México, pp. 119-141.
https://agua.org.mx/biblioteca/especies-invasoras-acuaticas-casos-de-estudio-en-ecosistemas-de-mexico-2/

Aguilar-Perera, A., Quijano-Puerto, L. & E. Carrillo-Flota. 2015. Manual of dissection techniques for the lionfish, *Pterois volitans*, from southern Gulf of Mexico. Fundación UADY-CONANP-CCBA-UAY. 36 pp.
https://www.researchgate.net/publication/277300992_Manual_of_Dissection_Techniques_for_the_lionfish_Pterois_volitans_from_Southern_Gulf_of_Mexico

Amador-del Ángel, L.E., Guevara, E., Brito, R., Wakida-Kusunoki, A.T. y P. Cabrera-Rodríguez. 2012. Aportaciones recientes al estudio de la ictiofauna del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche. En: Ruíz, A., Canedo, Y., Zavala, J.C., Campos, S.C., Sabido, M.Y., Ayala-Pérez, L.A. y L.E. Amador-del Ángel. (eds.). Aspectos hidrológicos y ambientales en la Laguna de Términos. Universidad Autónoma del Carmen. México, pp. 128-154.https://www.researchgate.net/publication/270879674_APORTACIONES_RECIENTES_AL_ESTUDIO_DE_LA_ICTIOFAUNA_DEL_AREA_NATURAL_DE_PROTECCION_DE_FLORA_Y_FAUNA_LAGUNA_DE_TERMINOS_CAMPECHE

Amador-del Ángel, L.E. y A.T. Wakida-Kusunoki. 2014. Peces invasores en el sureste de México. En: Mendoza, R. y P. Koleff. (coords.). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, pp. 425-433.
https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/01/Especies-acu%C3%A1ticas-invasoras-en-M%C3%A9xico.pdf

Amador-del Ángel, L., Endañú-Huerta, E., López-Contreras, J., Wakida-Kusunoki, A., Guevara, E. y R. Brito. 2015. Fauna exótica establecida e invasora en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche: Estado actual, impactos, necesidades y perspectivas. En: Amador-del Ángel, L.E y M. Frutos. (eds.). Problemas contemporáneos regionales del Sureste Mexicano. El caso del estado de Campeche. Universidad Autónoma del Carmen. México, pp. 234-279.
https://www.researchgate.net/publication/279204306_Fauna_exotica_establecida_e_invasora_en_el_Area_de_Proteccion_de_Flora_y_Fauna_Laguna_de_Terminos_Campeche_Estado_actual_impactos_necesidades_y_perspectivas

Ángeles-Solís, D., Gómez-Hernández, Y., Ortiz-Moreno, A. y E. Sosa-Cordero. 2014. Programa de control del pez león *Pterois volitans* (Linnaeus 1758) en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. En: Low, A., Quijón, P. y E. Peters. (eds.). Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en Ecosistemas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, University of Prince Edward Island. México, pp. 523-541.
https://agua.org.mx/biblioteca/especies-invasoras-acuaticas-casos-de-estudio-en-ecosistemas-de-mexico-2/

Ayala-Pérez, L.A., Pineda-Peralta, A.D., Álvarez-Guillen, H. y L.E. Amador-del Ángel. 2014. El pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) en las cabeceras estuarinas de la Laguna de Términos, Campeche. En: Low, A., Quijón, P. y E. Peters. (eds.). Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en Ecosistemas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, University of Prince Edward Island. México, pp. 313-336.
https://agua.org.mx/biblioteca/especies-invasoras-acuaticas-casos-de-estudio-en-ecosistemas-de-mexico-2/

Ayala-Pérez, L.A., Ramos, J., Flores, D., Sosa, A. y G.E. Martínez. 2015. Ictiofauna marina y costera de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
http://www.sisal.unam.mx/recorecos/RED/Productos_academicos_files/Ictiofauna_marina_y_costera_de_CampecheVWeb.pdf

Cabrera, S. y E. Hernández. 2021. Las vías de comunicación y la fauna feral. En: Benítez, J. y G. Escalona-Segura. (eds.). Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas. Estudios de caso para el sureste de México. El Colegio de la Frontera Sur. México. https://www.ecosur.mx/libros/producto/impacto-de-las-vias-de-comunicacion-sobre-la-fauna-silvestre-en-areas-protegidas-estudios-de-caso-para-el-sureste-de-mexico/

Calmé, S., MacKinnon-H.B., Leyequién, E. & G. Escalona-Segura. 2015. Birds. In: Islebe, G.A., Calmé, S., León-Cortés, J.L. & B. Schmook. (eds.). Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula, pp. 295-332. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-06529-8

Chablé-Santos, J. y J. Sosa-Escalante. 2010. Valoración y medición de la biodiversidad de aves y mamíferos terrestres de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. En: Plan de Conservación de la Eco-región: Petenes-Celestún-Palmar. En: Acosta-Lugo et al. (eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Pronatura Península de Yucatán AC., pp. 105-133. http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/Eco-region.pdf

Chablé, J., González, R., Hernández, S. y C. Sélem. 2017. Diversidad de Aves. En: Sélem, C. y H. Delfín. (eds.). Diversidad faunística del Parque Nacional Dzibilchaltún, Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 77-96. https://libreria.uady.mx/products/diversidad-faunistica-del-parque-nacional-dzibilchaltun-yucatan-mexico

De la Gala, J. 2008. Ría Celestún. En: Schüttler, E. y Karez, C.S. (eds.). Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO, Montevideo. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

Endañú-Huerta, E., López-Contreras, J.E., Amador-del Ángel, L.E., Guevara, E., Alderete, A. y Brito, R. 2015. Flora exótica naturalizada e invasora del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche: Estado actual, impactos, necesidades y perspectivas, pp. 280-307. En: L.E. Amador-del Ángel. y M. Frutos. (eds.). Problemas contemporáneos regionales del Sureste Mexicano. El caso del estado de Campeche. Universidad Autónoma del Carmen, 307 pp. https://www.researchgate.net/publication/279204414_Flora_exotica_naturalizada_e_invasora_del_Area_de_Proteccion_de_Flora_y_Fauna_Laguna_de_Terminos_Campeche_Estado_actual_impactos_necesidades_y_perspectivas

Estrada-Venegas, E.G., Equihua, A., Acuña-Soto, J.A. y M.P. Chaires-Grijalva. 2012. Distribución de *Raoiella indica* (ACARI-TENUIPALPIDAE) en México. En: Estrada-Venegas, E.G., Equihua, A., Acuña-Soto, J.A., Chaires-Grijalva, M.P. y G. Durán. Acarología Latinoamericana. Sociedad Mexicana de Entomología, pp. 393-399. https://www.researchgate.net/profile/Martha-Patricia-Chaires-Grijalva/publication/343948644_DISTRIBUCION_DE_Raoiella_indica_ACARI-TENUIPALPIDAE_EN_MEXICO/links/5f49428892851c6cfdf4fae6/DISTRIBUCION-DE-Raoiella-indica-ACARI-TENUIPALPIDAE-EN-MEXICO.pdf

García-Valderrama, L.A., Arriola-Padilla, V.J., Muñoz-Belmont, S.N., Pérez-Miranda, R., Romero-Sánchez, M.E. y A. Ortega-Rubio. 2017. Plagas en Áreas Naturales Protegidas de México: Control y Manejo. Capítulo VI, pp. 127-160. En: Espitia-Moreno, I.C., Arriola-Padilla, V.J. y A. Ortega-Rubio. (eds.). Gestión, Manejo y Conservación en Áreas Naturales Protegidas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 178 pp. http://areas-naturales-protegidas.org/renanp/pdfs/libros/GESTION_MANEJO_CONSERVACION_ANPs.pdf

Hernández, S., Sélem, C., Chablé, J. y J. Simé. 2017. Diversidad de pequeños roedores en el Parque Nacional Dzibilchaltún. En: Sélem, C. y H. Delfín (eds). Diversidad faunística del Parque Nacional Dzibilchaltún, Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 77-96. https://libreria.uady.mx/products/diversidad-faunistica-del-parque-nacional-dzibilchaltun-yucatan-mexico

IMTA, CONABIO, GECI, Aridamérica, The Nature Conservancy. 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México, Jiutepec, Morelos. http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1619/IMTA_517.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kantún, P. 2008. Ría Lagartos. En: Schüttler, E. y Karez, C.S. (eds.). Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO, Montevideo. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

León-González, J.A., Bastida-Zavala, J.R., Mendoza-Alfaro, R. & S. Luna. 2021. Invasive Species in Mexican Marine Ecosystems. In: Pullaiah, T. & M.R. Lelmini. (eds.). Invasive Alien Species: Observations and Issues from Around the World. Wiley-Blackwell. USA, pp. 93-118. https://doi.org/10.1002/9781119607045.ch39

Meiners-Mandujano, C., González-Gómez, R., Jiménez-Badillo, L., Galindo-Cortes, G. & P.S. Morillo-Velarde. 2019. In: Emerging Aquatic Alien Invasive Species: Trends and Challenges for Mexican Fisheries in the Extended Gulf of Mexico Basin. In: Ibáñez, A.L. (eds.). Mexican Aquatic Environments. Springer, Cham, pp. 195-217. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11126-7_9

Ochoa-Gaona, S., Ruiz, H., Álvarez, D., Chan, G. y B.H.J de Jong. 2018. Árboles de Calakmul. El Colegio de la Frontera Sur. 245 pp. https://www.ecosur.mx/libros/producto/arboles-de-calakmul/

Ortega-S, J.A., Delgado-Acevedo, J., Villarreal-González, J.G., Borroto-Páez, R. & Tamez-González, R. 2020. Wild Pigs in Mexico and the Caribbean. In: VerCauteren, K.C., Beasley, J.C., Ditchkoff, S.S., Mayer, J.J., Roloff, G.J. & B.K. Strickland. Invasive Wild Pigs in North America: Ecology, Impacts, and Management (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b22014

Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Ayala-Pérez, L.A., Rendón-von Osten, J., Villalobos-Zapata, G. y A. Sosa-López. 2006. Atlas hidrológico e ictiológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche. 173 pp. https://archive.org/details/podcast_manejo-integrado-de-la-zona-co_atlas-hidrologico-e-ictiologic_1000120018268

Ramos-Miranda J. y G.J. Villalobos-Zapata. (eds.). 2015. Aspectos socioambientales de la región de la Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. 210 pp. https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Aspectos%20Socioambientales%20de%20la%20Regio%CC%81n%20de%20la%20Laguna%20de%20Te%CC%81rminos%20.pdf&tipo=paginas

Rendón-Hernández, E., Bernal, J.F., Hernández, B. y E. Müller. 2017. Estrategias de atención a especies exóticas invasoras en áreas naturales protegidas de competencia federal en México. En: Born-Schmidt, G., de Alba, F., Parpal, J. y P. Koleff. (coords.). Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. Cámara de Diputados. México, pp. 209-224. http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Centros-de-Estudio/CESOP/Novedades/Libro.-Principales-retos-que-enfrenta-Mexico-ante-las-especies-exoticas-invasoras

Reyes, H., Petatán, D., Melo, S. y H. Pérez. 2014. Análisis del nicho ecológico y la distribución geográfica del pez león *Pterois volitans*/*miles*, en el Atlántico occidental. En: Low, A., Quijón, P. y E. Peters. (eds.). Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en Ecosistemas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, University of Prince Edward Island. México, pp. 253-271. https://agua.org.mx/biblioteca/especies-invasoras-acuaticas-casos-de-estudio-en-ecosistemas-de-mexico-2/

Reynoso-Campos, J.J., Rodríguez-Garza, J.A. y M. Vásquez-Bolaños. 2015. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México pp. 27-39. En: Castaño-Meneses, G., Vásquez-Bolaños, M., Navarrete-Heredia, J.L., Quiroz-Rocha, G.A. y I. Alcalá-Martínez. (coords.). Avances de Formicidae de México. Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM. Departamento de Botánica y Zoología, CUCBA, Universidad de Guadalajara. https://www.antwiki.org/wiki/images/5/5c/Castano-meneses_et_al_2015_avances_de_formicidae_de_mexico.pdf#page=28

Vázquez, M., Pereira, A., Fragoso, P. y J. Rodríguez. 2011. Riqueza y biodiversidad de organismos edáficos del Corredor Biológico Mesoamericano (México, Belice y Guatemala). Universidad de Quintana Roo, pp. 36-70. https://www.academia.edu/8508964/Riqueza_y_biodiversidad_de_organismos_ed%C3%A1ficos_del_Corredor_Biol%C3%B3gico_Mesoamericano_M%C3%A9xico_Belice_Guatemala_

Vega-Cendejas, M.A. 2010. Estudio de Caso: Los Peces de la Reserva de Calakmul. En: Villalobos-Zapata, G.J. y J. Mendoza. (coords.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. CONABIO. Gobierno del Estado de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. El Colegio de la Frontera Sur. México, pp. 322-325. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20240409085608

Villalobos-Zapata, G.J. 2010. Áreas Naturales Protegidas en Campeche. En: Villalobos-Zapata, G.J. y J. Mendoza. (coords.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. CONABIO. Gobierno del Estado de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. El Colegio de la Frontera Sur. México, pp. 580-587. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20240409085608

Villalobos-Zapata, G.J. 2015. Conservación y manejo del Área de Protección de Flora y Fauna “Laguna de Términos” (1994-2015). En: Ramos-Miranda J. y G.J. Villalobos-Zapata. (eds.). Aspectos socioambientales de la región de la Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. México, pp. 1-20. https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Aspectos%20Socioambientales%20de%20la%20Regio%CC%81n%20de%20la%20Laguna%20de%20Te%CC%81rminos%20.pdf&tipo=paginas

Zamorano, P. y F. Ursúa. 2008. Sian Ka'an. En: Schüttler, E. y Karez, C.S. (eds.). Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO, Montevideo. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

PROGRAMAS DE MANEJO

CONANP. 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/celestun.pdf

CONANP. 2004. Programa de Manejo Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Xcalak_ok.pdf

CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Otoch Ma'ax Yetel Kooh. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/otoch.pdf

CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/alacranes_ok.pdf

CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Los Petenes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/petenes_final.pdf

CONANP. 2007. Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Bala'an K'aax. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Final_BallanKaxx.pdf

CONANP. 2007. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Ría Lagartos. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/PYyCM/RB%20Ria%20Lagartos/2.-COMPONENTE%20CONTEXTO%20PLANEACION/10.-Recursos%20Culturales/PCM_RiaLagartos%20final-2007.pdf

CONANP. 2014. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Nichupté. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Manglares_de_Nichupt%C3%A9.pdf

CONANP. 2014. Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Complejo_Sian_Ka_an.pdf

CONANP. 2015. Programa de Manejo Parque Nacional Isla Contoy. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Isla_Contoy_completo.pdf

CONANP. 2015. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tiburón Ballena. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Tiburon_Ballena_Libro.pdf

CONANP. 2016. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Norte de la Isla de Cozumel. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/Isla%20Cozumel%20(completo).pdf

CONANP. 2016. Programa de Manejo Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/Isla%20Mujeres%20Punta%20Canc%C3%BAn.pdf

CONANP. 2016. Programa de Manejo Parque Nacional Dzibilchantún. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/acciones/pdf/PMDZIBILCHANTUNCompleto.pdf

CONANP. 2019. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMYumBalam.pdf

CONANP. 2019. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMCaribeMexicano.pdf

CONANP. 2024. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Jaguar. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMJaguar.pdf

CONANP. 2024. Programa de Manejo Parque Nacional Tulum. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMTulum_2024.pdf

INE. 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/APFFTerminos.pdf

INE. 1998. Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel. Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/cozumel.pdf

INE. 2000. Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/puerto_morelos.pdf

INE. 2000. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/chinchorro.pdf

INE. 2000. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Calakmul. Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/calakmul.pdf

ESTUDIOS PREVIOS JUSTIFICATIVOS

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Balam Kin, Campeche. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-BalamKin.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Cenote Aerolito, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-CenoteAerolito.pdf

CONANP. 2024. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Chunyaxché, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-Chunyaxche.pdf

CONANP. 2024. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-FelipeCarrilloPuerto.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Jacinto Pat, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-JacintoPat.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-ManglaresPuertoMorelos.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna San Buenaventura, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-SanBuenaventura.pdf

CONANP. 2024. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Parque Nacional Arrecifes del Golfo de México-Sur, Golfo de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-PN-ArrecifesDelGolfoDeMexico-Sur.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Parque Nacional Bajos del Norte, Golfo de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-PN-BajosDelNorte.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Parque Nacional Nuevo Uxmal, Yucatán y Campeche. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-PN-NuevoUxmal.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Balam kú, Campeche. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-RB-BalamKu.pdf
CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Santuario Playa Chenkan, Campeche. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-S-PlayaChenkan.pdf

CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Santuario Playa Delfines, Quintana Roo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-PlayaDelfines.pdf

ESTRATEGIAS, PLANES O PROTOCOLOS

Ayala, L.A., Vega, B.I., Terán, G.J. y Martínez, G.E. 2015. El Pez Diablo en México: Guía para administradores y usuarios de recursos pesqueros. UAM-Xochimilco. México. 64 pp.
https://publicaciones.xoc.uam.mx/DescripcionLibro.php?id_libro=638

CONANP. 2021. Plan de Manejo de especies exóticas invasoras: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas. México. 33 pp.

CONANP-SEMAR-GECI-CONABIO. 2020. Protocolo de Bioseguridad Insular del Parque Nacional Arrecife Alacranes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Marina. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 51 pp.
https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

FFCM. 2015. Programa de Monitoreo y Metodología de Restauración de Duna Posterior al Control de Casuarinas en la isla de Cozumel. Flora Fauna y Cultura de México A.C. CONANP. 22 pp.

GECI-FMCN-FSAM. 2018. Protocolo de Bioseguridad de Isla Cozumel. Grupo de Ecología y Conservación de Islas A.C., Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C., Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano. 53 pp.

Gómez, R., Anderson, L., Akins, J.L., Buddo, D.S A., García-Moliner, G., Gourdin, F., Laurent, M., Lilyestrom, C., Morris, J.A., Ramnanan, N. y R. Torres. 2013. Estrategia regional para el control del Pez León invasor en el Gran Caribe. Iniciativa Internacional sobre los Arrecifes Coralinos. 32 pp.
https://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/actividadesregionales/adjuntos/1215//ICRI_Lionfish_Strategy_Sp.pdf

Loreto-Viruel, R.M., Rendón-Hernández, E. y S. Espindola-Barrientos. 2023. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Control del pez león en México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Amigos de Sian Ka'an, A.C. Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano. 77 pp.
https://marfund.org/es/wp-content/uploads/2023/03/Mexico-Plan-Accion_Pez-leon_feb23_opt.pdf

Martínez-Rodríguez, A.L., Martínez-Rodríguez, J.M. y E. Flores-García. 2019. Protocolo de Detección Temprana y Respuesta Rápida para especies invasoras en el Complejo Sian Ka'an (Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil) y su zona de influencia. PNUD. CONANP. CONABIO. Agencia de Restauración Forestal y Vida Silvestre S.C. México, 47 pp.
https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

Morris, J.A. (ed.). 2013. El pez león invasor: guía para su control y manejo. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. USA. 126 pp. https://www.car-spaw-rac.org/?Pez-leon-El-pez-leon-invasor-guia-para-su-control-y-manejo

Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L.O., Caballero-Aragón, H. y R. Ressl. (coords.). 2020. Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano. CONABIO. México, 156 pp. https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/1409

Rodríguez, C., González, M., González, C., Rivas, A., Gourdin, F., Gómez R., Torres, R., Ordóñez, J. y V. Dávila. 2014. Estrategia Regional para el control del pez león en el arrecife mesoamericano. Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano, 53 pp.
http://www.car-spaw-rac.org/IMG/pdf/mar_subestrategia_regional_para_el_control_del_pez_lecn.pdf

Subconsejo de Bioseguridad Insular de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. 2018. Protocolo de Bioseguridad insular de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, 39 pp. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

Valdez-Moreno, M. y M. Elías-Gutiérrez. 2019. Programa de detección temprana piloto de especies acuáticas invasoras a través de los métodos de código de barras de la vida y análisis de ADN ambiental en la Reserva de la Biosfera Sian Ka´an. PNUD. CONAN. CONABIO. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. México, 65 pp. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

Vega, B.I., Ayala-Pérez, L.A., Terán, G.J., Martínez, G.S. y J.A. Chávez. 2016. El pez diablo en México Protocolo de prevención, respuesta rápida y control. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 158 pp. https://labea.xoc.uam.mx/prevencion.html

INFORMES DE PROYECTOS

Acosta-Velázquez, J. y M.T. Rodríguez. 2007. “Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra. Etapa. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. DQ056. Ciudad de México. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Los-manglares-de-M%C3%A9xico-estado-actual-y-establecimiento-de-un-programa-de-monitoreo-a-largo-plazo-1ra.-etapa.pdf

Aguilar, A., Carrillo, E. y L. Quijano. 2014. Diagnóstico de la invasión del pez león en el Parque Nacional Arrecife Alacranes. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma de Yucatán. 26 pp.

Aguilar, A. 2015. Monitoreo poblacional y captura del pez león en el Parque Nacional Arrecife Alacranes. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma de Yucatán. 17 pp.

Aguilar, A. 2016. Monitoreo poblacional y captura de pez león en el Parque Nacional Arrecife Alacranes. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma de Yucatán. 36 pp.

Almazán, A., Delgado, B., Núñez, E., Escalante, M., Irola, E.D., Arredondo, A.T., Peniche, J.C., Caballero, A., Uitzil, D. A., Méndez, J., Reséndiz, G. y M. García. 2020. Presencia de ciguatoxinas en la especie invasora pez león (*Pterois volitans*) y en otros peces arrecifales en dos áreas naturales protegidas de Quintana Roo: Arrecife de Puerto Morelos e Isla Contoy. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Unidad de Ciencias del Agua. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No.MQ001. Ciudad de México.
http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfMQ001.pdf

Amador del Ángel, L.E., Guevara-Carrió, E.C., Brito-Pérez, R. y E. Endañú-Huerta. 2014. Aspectos biológicos e impacto socioeconómico de los plecos del género *Pterygoplichthys* y dos cíclidos no nativos en el sistema fluvio lagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales. Informe final SNIB-CONABIO. Ficha técnica pez diablo *Pterygopllchthys pardalis*. Proyecto No. GN004. Ciudad de México.
http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/GN004_Ficha_Pez_Diablo.pdf

Amador-del Ángel, L.E. 2016. Fortalecimiento a las acciones de control de pez armado en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Colegio Intercultural de las Américas A.C. 177 pp.

Angulo, J. 2015. Programa de control del jabalí europeo (*Sus scrofa*) en el APFF Laguna de Términos y su zona de influencia. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Colegio Intercultural de las Américas A.C. 56 pp.

Angulo, J. 2016. Programa de captura y control del jabalí europeo en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos y su zona de influencia. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Colegio Intercultural de las Américas A.C. 56 pp.

Arellano, G., García, A. y L.A. Manzanero. 1996. Programa de erradicación de la casuarina (*Casuarina* sp) en la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. F009. Amigos de Sian Ka'an A.C. Ciudad de México. 35 pp. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfF009.pdf

Arriaga-Weiss, S.L. 2016. Biodiversidad selecta de los humedales de Laguna de Términos - Pantanos de Centla. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. LH002. Ciudad de México. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfLH002.pdf

Ayala-Pérez, L.A. 2013. Determinación de la vía de invasión del pez armado en las áreas naturales protegidas y sitios prioritarios de conservación en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta y su manejo: Caso región occidental del ANP Laguna de Términos, Campeche. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 60 pp.

Ayala-Pérez, L.A. 2015. Diagnóstico de la invasión del pez diablo en los sistemas acuáticos continentales de México. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 54 pp.

Ayala-Pérez, 2016. Fortalecimiento de las acciones de detección temprana y respuesta rápida para el pez diablo en México. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 73 pp.

Bond, J.G., Casas, M., Moo, D.A., Marina, C.F., Danis, R., Ulloa, A., Elizondo, A.E., Ortega, A. y Núñez, C. 2019. Diagnóstico del estado actual de la invasión biológica por *Aedes* (Stegomyia) *albopictus* (Skuse) (Díptera: Culícidae) en las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México. CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfLI040.pdf

Caballero, J.A. 2014. Evaluación del efecto ecológico del pez león sobre las comunidades ícticas naturales del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 109 pp.

Caballero, J.A. 2015. Distribución y abundancia de pez león en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 85 pp.

Caballero, A., Tuz, A., Valdez, J., Arceo, D., Acosta, G., Mendoza, R., Sánchez, J. y A. Arredondo. 2016. Distribución y abundancia del pez león (*Pterois volitans* / *miles* complex) en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro y Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 129 pp.

Caballero-Vázquez, J.A., Acosta-González, G., Tuz, A., Valdés, J., Arceo, D., Mendoza, R., Sánchez, J. y A. Arredondo. 2016. Fortalecimiento para el control de pez león en el Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 52 pp.

Cuarón, A.D., Martínez-Morales, M.A., Valenzuela-Galván, D., Vázquez-Domínguez, E. y L.B. Vázquez. 2019. Diagnóstico de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la Isla Cozumel y propuesta de plan para su manejo. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. LI028. Servicios Ambientales, Conservación Biológica y Educación A.C. Ciudad de México. 45 pp. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfLI028.pdf

Desarrollo Empresarial para el Fortalecimiento Comunitario de Quintana Roo. 2014. Programa de control y erradicación de la casuarina y reforestación con especies nativas en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. 45 pp.

ECOSUR, 2010. Perros (*Canis lupus familiaris*) y gatos (*Felis catus*) ferales en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, México: Diagnóstico, efectos en la fauna nativa y perspectivas de control. CONANP-PNUD. 53 pp.

Flora Fauna y Cultura de México. 2014. Control de casuarinas mediante métodos químicos y físicos en isla de Cozumel. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. 60 pp.

Flora Fauna y Cultura de México. 2015. Programa de control y erradicación de casuarina en el ANP de la Isla de Cozumel. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. 27 pp.

Flora Fauna y Cultura de México. 2016. Control de la casuarina y restauración de duna costera en el Área de Protección de Flora y Fauna isla de Cozumel. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. 65 pp.

Flores-Martínez, J.J., González-Martínez, C., Rodríguez-Medina, R.A., Zepeda-Martínez, V.N., Muñoz-Rodríguez, C.J., Gachuz-Delgado, S.L. y V. Sánchez-Cordero. 2019. Lista priorizada de especies exóticas invasoras en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. PNUD. CONANP. CONABIO. Ciencia y Comunidad por la Conservación, A.C. México. 39 pp. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

Fundación Pedro y Elena. 2018. Monitoreo y conservación del flamenco del Caribe y su hábitat en cuatro áreas naturales protegidas de la península de Yucatán. Informe final Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo. CONANP. 91 pp. https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/PYyCM/RB%20Ria%20Lagartos/2.-COMPONENTE%20CONTEXTO%20PLANEACION/9.-Recursos%20Naturales/4-Monitoreo%20flamencos/FPHE%20INFORME%20FINAL%20PROCER%202018.pdf

García, M.A. y M.M. Sabido. 2014. Control del pez león en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro y el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak y sus zonas de influencia. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Oceanus A.C. 34 pp.

García, M.A. y M.M. Sabido. 2015. Fortalecimiento del control del pez león en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro y el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Oceanus A.C. 54 pp.

Guerra, M. 2015. Control de poblaciones de flora exótica e invasora dentro del Parque Nacional Tulum. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Sociedad, Ecología y Bio-Ambiente A.C. 145 pp.

López, M. 2018. Conservación de las Tortugas Marinas en la Playa Río Lagartos. Informe final Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo. CONANP. Pronatura Península de Yucatán A.C.

Maldonado, M. 2015. Fortalecimiento de la producción alimentaria a base de pez armado en la comunidad de Palizada en el APFF Laguna de Términos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Colegio Intercultural de las Américas A.C. 29 pp.

Montes de Oca, G. 2014. Fortalecimiento de la participación ciudadana para el control del pez león en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Beta Diversidad A.C. 83 pp.

Muñoz, C. 2013. Programa de control y erradicación del ácaro rojo de las palmas en la península de Yucatán. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 72 pp.

Muñoz, C. 2013. Programa de control y erradicación de casuarinas y restauración con especies nativas en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 39 pp.

Muñoz, C.E., Rubio, P.M., Casanova, F.M. y F. Gómez. 2019. Diagnóstico del tamaño poblacional de perros en la Subzona de Aprovechamiento Especial Costera de la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an. PNUD. CONANP. CONABIO. Tsukan A.C. México. 34 pp. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto/resultados-componente-II

PNUD México-INECC. 2016. Evaluación de impactos del cambio climático por elevación del nivel del mar sobre la línea costera, ecosistemas, especies y población de las islas de México. Proyecto 86487 "Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México". 125 pp. http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/305/918_2016_Evaluacion_CC_Islas_Mx.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pronatura. 2014. Establecimiento de una microindustria para el aprovechamiento integral del pez armado para la obtención de embutidos y harina en la Laguna de Términos. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. 16 pp.

Serna, A.A. 2014. Control y monitoreo del ácaro rojo en la población de la Palma Chitt en el Parque Nacional Isla Contoy. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 38 pp.

Serna, A.A. 2015. Control del ácaro rojo en la población de palma chit y palma de coco en el Parque Nacional Isla Contoy. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 22 pp.

Serna, A.A. 2016. Implementación de acciones de control de casuarina (*Casuarina equisetifolia*) en Isla Holbox. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 33 pp.

Serna, A.A. y J. Aguilar. 2016. Control del ácaro rojo y la palma de coco en el Parque Nacional Isla Contoy. Informe final Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP. Amigos de Sian Ka'an A.C. 27 pp.

Vargas, J. 2005. Inventario avifaunístico de las áreas focales Zoh-Laguna y La Montaña en el corredor biológico mesoamericano Sian Ka'an - Calakmul, México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. Y042. Universidad Autónoma de Campeche. México. 31 pp.
http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos2.cgi?Letras=Y&Numero=42

Villa, J., Valdez, M., Novelo, L. y C.E. Cocom. 2013. Diagnóstico fitosanitario de *Raoiella indica* en los estados de Quintana Roo y Yucatán. 2013. CONAFOR. 12 pp.
http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/Diagn%C3%B3stico%20Raoiella%20indica%20marzo%202013.pdf

Weber, M. 2010. Perros (*Canis lupus familiaris*) y gatos (*Felis catus*) ferales en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, México: Diagnóstico, efectos en la fauna nativa y perspectivas de control. CONANP. PNUD. El Colegio de la Frontera Sur: Campeche. 53 pp.

TESIS

Arredondo, A.T. 2016. Comparación trófica del pez león, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) con tres especies de peces arrecifales del Caribe mexicano: a través del uso de isótopos estables y contenido estomacal. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 108 pp. http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/98

Borja, G.A. 2017. Roedores invasores: estructura genética de *Mus musculus* y *Rattus rattus* en isla Cozumel, Quintana Roo. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000760161

Carrillo, E.C. 2015. Percepción pública sobre el pez león (*Pterois volitans*) en dos comunidades costeras de Quintana Roo, México. Universidad Autónoma de Yucatán. 67 pp. http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/3905

Ceballos, M. 2018. Análisis del contenido estomacal de *Pterois volitans* (Linaeus, 1978): Scorpenidae en Xcalak, Banco Chinchorro y Punta Cancún, Quintana Roo. Universidad Nacional Autónoma de México. 53 pp.
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000774547

Cen, A.A. 2019. Percepción de buzos-langosteros y buzos no comerciales hacía el pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes. Universidad Autónoma de Yucatán. 65 pp.
http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/3906

Cobián, D. 2016. Impacto potencial del pez león sobre la comunidad de peces en dos áreas marinas protegidas del Caribe (Cuba y México). El Colegio de la Frontera Sur. 120 pp.
http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/2056

García, M.C. 2017. Estrategias de vida y relaciones interespecíficas del pez león en el Caribe mexicano. El Colegio de la Frontera Sur. 113 pp. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2088/1/58374_Documento.pdf

Gay, S. 2021. Modelado de nicho ecológico para caracterizar la expansión del género *Lonchura* en México. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 102 pp. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/1985

González, S. 2014. Estructura de la población (distribución, biomasa y estructura de tallas) del pez león *Pterois volitans* (Linneo, 1758) en Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Universidad Autónoma de Quintana Roo. 41 pp.
http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3187

Gracida, C. 2018. Biología y aprovechamiento de la especie exótica *Pterois* spp (pez león) del sistema arrecifal mesoamericano en México. Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. 104 pp.

Labastida, E. 2014. Caracterización genética del pez león en el Caribe noroccidental usando Inter Secuencias Simples Repetidas. El Colegio de la Frontera Sur. 92 pp. http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/1774

Murillo, B.L. 2016. Competencia entre el pez león (*Pterois volitans*) y otros depredadores medianos en el Arrecife de Xcalak, Quintana Roo. Universidad Nacional Autónoma de México. 79 pp. https://repositorio.unam.mx/contenidos/84271

Quijano, L.A. 2016. Determinación de la edad del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Yucatán. 37 pp. http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/3882

Ramírez, J. 2014. Mecanismos de dispersión y resistencia al ayuno en *Raoiella indica* Hirst (ACARI: TENUIPALPIDAE). Colegio de Postgraduados. 51 pp. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2239/1/Ramirez_Lopez_J_MC_Entomologia_Acarologia_2014.pdf

Ramírez, L.B. 2019. Efecto de las variables fisicoquímicas sobre la distribución y abundancia del pez león *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758), en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. 67 pp. https://repositorio.unam.mx/contenidos/3531205

Rubio, J. 2015. Ecomorfología de los otolitos sagittae de *Pterois volitans* en el área natural protegida Arrecifes de Puerto Morelos". Universidad Nacional Autónoma de México. 56 pp. https://repositorio.unam.mx/contenidos/420913

Sabido, M.M. 2016. Densidad del pez león (*Pterois volitans*) y su relación con variables ambientales y ecológicas en arrecifes coralinos del sureste del Caribe mexicano. Instituto Tecnológico de Chetumal. 69 pp. https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/777

Sánchez, J.A. 2016. Caracterización biológica, ecológica y molecular del pez león, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758), en el Caribe mexicano. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. 142 pp. http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/372

Santos, E.A. 2015. Hábitos alimenticios del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes. Universidad Autónoma de Yucatán. 41 pp. http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/3917

Sanvicente, M. 2018. Producción, distribución y aprovechamiento de suidos por campesinos en áreas naturales protegidas de Campeche, México. Colegio de Postgraduados. 91 pp. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3815

Torres, C.P. 2006. Distribución, abundancia y comportamiento de perros y gatos en la isla de Cozumel. Universidad Nacional Autónoma de México. 144 pp. https://repositorio.unam.mx/contenidos/distribucion-abundancia-y-comportamiento-de-perros-y-gatos-en-la-isla-de-cozumel-76717?c=B0lA8j&d=false&q=*:*&i=2&v=1&t=search_0&as=0

Zaldívar, M.D. 2013. Ecología y Biología del pez león (*Pterois volitans*) en Xcalak, zona sur de Quintana Roo. Universidad Autónoma de Quintana Roo. 70 pp. http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1351

Anexo 2. Artículos científicos publicados en el marco de la tesis doctoral

Aquatic Invasive Species in the Protected Areas of the Yucatan Peninsula and Adjacent Marine Zone, Mexico

(Revista Sustainability)

Especies Exóticas Invasoras y sus Implicaciones sobre los Bosques de Manglar en las Reservas de la Biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos

(Revista Madera y Bosques)

Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors

(Revista Neobiota)

sustainability

MDPI

Article

Aquatic Invasive Species in the Protected Areas of the Yucatan Peninsula and Adjacent Marine Zone, Mexico

Eduardo Rendón-Hernández [1,*], Luis Amado Ayala-Pérez [2], Jordan Golubov [2], Ricardo Torres-Lara [3] and Brenda Iliana Vega-Rodríguez [4]

[1] Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México 04960, Mexico
[2] Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana–Xochimilco, Ciudad de México 04960, Mexico; luayala@correo.xoc.uam.mx (L.A.A.-P.); gfjordan@correo.xoc.uam.mx (J.G.)
[3] Departamento de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Chetumal 77019, Mexico; rtorres@uqroo.edu.mx
[4] Laboratorio de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana–Xochimilco, Ciudad de México 04960, Mexico; brenda050281@gmail.com
* Correspondence: occelott@gmail.com

Abstract: Biological invasions are one of the main causes of biodiversity loss globally, affecting the quality of ecosystem services, the economy, and public health. Research on the presence, distribution, impacts, and introduction pathways of invasive alien species is essential for understanding and tackling the invasion process. Continental, coastal, and marine aquatic ecosystems of the Yucatan Peninsula concentrate a high number of native species; however, the states that are in the region (Campeche, Yucatan, and Quintana Roo) also have the largest loss of natural capital at the national level. The presence of aquatic invasive species has contributed to this downward trend, mainly in protected areas. For this research, an analysis of the national biodiversity information system, the global biodiversity information facility, and the specialized scientific literature was carried out to determine the presence of aquatic invasive species within the protected areas of the Yucatan Peninsula and adjacent marine zone. The results indicated that there are 22 documented aquatic invasive species in 25 protected areas, which were classified into the following taxonomic groups: marine macroalgae (3 species), plants (2), inland and marine fish (11), crustaceans (2), mollusks (2), and hydrozoans (2). A total of 15 of these species had a very high invasiveness score, 6 had a high score, and 1 had a medium score. This research will be useful in strengthening regional public policy and guiding decision makers on the management of aquatic invasive species, mainly for those that are seriously affecting aquatic ecosystems, such as *Pterygoplichthys disjunctivus* and *P. pardalis* in freshwater protected areas and *Pterois volitans* in marine protected areas. Efficient management strategies will be a key element in the protection of biodiversity and ecosystem services, and for sustainable regional development.

Keywords: biological invasions; Caribbean Sea; environmental sustainability; freshwater protected areas; Gulf of Mexico; invasive species management; marine protected areas; risk assessment

check for updates

Academic Editor: Iain J. Gordon and George P. Kraemer

Received: 15 April 2025
Revised: 27 May 2025
Accepted: 28 May 2025
Published: 30 May 2025

Citation: Rendón-Hernández, E.; Ayala-Pérez, L.A.; Golubov, J.; Torres-Lara, R.; Vega-Rodríguez, B.I. Aquatic Invasive Species in the Protected Areas of the Yucatan Peninsula and Adjacent Marine Zone, Mexico. *Sustainability* **2025**, *17*, 5017. https://doi.org/10.3390/su17115017

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Invasive alien species are a threat to global biodiversity, ecosystem services, economies, and public health [1–3]. The ecological impacts of invasive alien species include the disruption of food webs, competition for resources and space, changes in nutrient cycling,

and modifications in physical characteristics, with cascading effects on biodiversity at all trophic levels, from individuals (including extinctions) to ecosystems [1,4,5]. Economic costs caused by invasive alien species can arise through a wide variety of impacts, such as damage to productive activities, infrastructure, and public health, and extend to the costs of prevention, control, or eradication [6,7]. According to the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, the global economic cost of invasive alien species exceeded US$423 billion annually in 2019, with costs having at least quadrupled every decade since 1970 [3].

Invasions interact synergistically with other environmental problems, increasing their global impact, such as changes in land and sea use, and climate change [3]. In recent decades, climate change has compounded the effects of species redistribution [8] such that, in the future, invasive alien species will continue to establish and spread and be a significant cause of biodiversity loss worldwide [3]. The number of invasive alien species is expected to increase 36% over the next three decades [6,9], requiring enormous resources to manage their impacts [2].

Aquatic ecosystems can be severely threatened by invasive alien species; as they can substantially change the structure of native communities and alter ecosystem functioning [6,10]. Aquatic invasive species can alter community composition; reduce species' richness and therefore diminish the ability of biotic resistance [11]. In the freshwater ecosystems, biodiversity is depleting alarmingly due to the introduction of invasive species; which causes, among other things, the alteration of food webs [12,13]. Invasions of nonnative fish could also interrupt resource flows and have far reaching effects on interconnected ecosystems [14]. Marine invasive species may negatively impact coastal societies, affecting ecosystem services such as food provision, tourism, and recreation [15]. They can also decrease the economic production of activities based on marine environments and resources, such as fisheries, aquaculture, and marine infrastructure [3,16]. These effects have related social impacts through decreases in employment in economic activities directly affected by marine invasive species but also through decreases in people's welfare from the reduced quality of their surroundings [16]. Aquatic invasive species are therefore a major challenge for people in all regions and countries [3,11].

Biological invasions are regarded as one of the most critical threats to protected areas, as they disrupt the functioning of ecological systems, which is the primary rationale for their establishment [17–19]. In many cases, protected areas are changing to modified landscapes due to anthropogenic activities, providing pathways for the introduction of invasive species [12,17]. A major challenge in managing biological invasions is that when the presence of a species is noticeable, it is generally already widely distributed in the receiving ecosystem. An early detection and rapid response strategy is cost-effective for managers and having an updated system of the presence of species and their impacts helps determine the best strategy for their management, control, or eradication. This paper presents a diagnosis of the presence of aquatic invasive species in the protected areas of the Yucatan Peninsula and the adjacent marine areas, which include the southeastern Gulf of Mexico and the Mexican Caribbean, which may be useful for decision-making on the restoration and conservation of the region's aquatic ecosystems.

2. Methods

2.1. Study Area

The Yucatan Peninsula in southeastern Mexico includes three states (Campeche, Yucatan, and Quintana Roo) and is bordered by the Gulf of Mexico to the west and the north, and the Caribbean Sea, Guatemala, and Belize to the east and southeast [20]. The Yucatán Peninsula can be described as an area of limestone rocks with karst geology (highly

fractured calcareous terrain) that has given rise to an underground hydrological system (caverns and cenotes) hundreds of meters deep and tens of kilometers long. Elevations are generally less than 350 m above sea level, and it has scarce surface hydrography, with average annual temperatures between 25 °C and 28 °C, which is reflected in significant changes in vegetation cover and floristic diversity. This area is made up of diverse plant communities, including (a) coastal vegetation; (b) mangrove swamp; (c) low deciduous forest; (d) medium sub deciduous forest; (e) medium sub evergreen forest; (f) low flooded forest; (g) savannas; (h) petenes; (i) hydrophilic communities; and (j) secondary vegetation [21–23].

In this geographical unit with high biodiversity, there are several priority regions for conservation: (1) biogeographic provinces (Peten and Yucatan) [20]; (2) hydrological regions (Laguna de Terminos, Sur de Campeche, Calakmul, Anillo de cenotes, Contoy, Isla Mujeres, Corredor Cancun-Tulum, Cozumel, Cenotes Tulum-Coba, and Sian Ka'an) [21]; (3) marine regions (Laguna de Terminos, Cayos Campeche, Escarpe Campeche, Arrecife Alacranes, Sonda de Campeche, Dzilam-Contoy, Punta Maroma-Nizuc, Tulum-Xpuha, Sian Ka'an, Xcalak-Majahual, Cozumel, and Banco Chinchorro) [22]; and (4) terrestrial regions (Petenes-Ria Celestun, Dzilam-Ria Lagartos-Yum Balam, Sian Ka'an-Uaymil-Xcalak, and Silvituc-Calakmul) [23]. In Yucatan Peninsula territory, there are 40 protected areas of federal jurisdiction, classified into four protection categories: the Biosphere Reserve, Flora and Fauna Protection Area, National Park, and Wildlife Sanctuary [24]. In these protected areas, there are diverse aquatic ecosystems, among which the following stand out: rivers, lakes, waterholes, cenotes, petenes, mangroves, lagoons, seagrass meadows, and coral reefs [20–24].

2.2. Data Collection

To determine the presence of aquatic invasive species in the protected areas of the Yucatan Peninsula and adjacent marine zone, we analyzed the National Biodiversity Information System [25]; the Global Biodiversity Information Facility [26]; and scientific papers consulted on the electronic platforms Springer Nature, SciELO, PubMed, and Google Scholar with combinations of the following keywords: "*aquatic invasive species*, *invasive alien macroalgae*, *invasive alien plants*, *invasive alien hydroids*, *invasive alien mollusks*, *invasive alien crustaceans*, *invasive alien fish*, *protected areas*, *peninsula of Yucatan*, *Campeche*, *Yucatan*, *Quintan Roo*, *Mexican Caribbean and southeast Gulf of Mexico*", as well as the conservation and management programs of the protected areas [27–46] and the taxonomic lists in white papers of the Arrecifes del Golfo de Mexico-Sur and Bajos del Norte National Parks [47,48].

For this research, aquatic invasive species were considered to be those found in freshwater and marine ecosystems that have been analyzed through the Rapid Invasiveness Assessment Method (MERI for its acronym in Spanish), which determines the invasiveness risk of alien species for Mexico [49]. The determination of the MERI value is based on the following considerations: (a) invasiveness documented in other regions of the world; (b) the relationship with nearby invasive taxa; (c) the vector of other invasive species; (d) the risk of introduction; (e) the risk of establishment; (f) the spread risk; (g) the health impacts; (h) the economic and social impacts; (i) the ecosystem impacts; and (j) the impacts on biodiversity [49].

To determine similarity of species in protected areas and identify potential connectivity regions, we generated a dendrogram using the Jaccard index with the PAST statistical program [50]. Jaccard's index varies between 0 and 1; a value of 0 indicates no species in common, while a value of 1 indicates that the sites have maximum similarity in species composition.

3. Results

A total of 22 aquatic invasive species were found in 25 of the 40 protected areas (9 in Biosphere Reserves, 6 in Flora and Fauna Protection Areas, 9 in National Parks, and 1 in the Wildlife Sanctuary; Figure 1). These species were classified into six taxonomic groups: (a) macroalgae, (b) plants, (c) hydrozoans, (d) mollusks, (e) crustaceans, and (f) fish (Table 1). The 25 protected areas have a total surface of 14,682,654.45 ha, of which 12,491,665.27 ha correspond to marine surface and 2,190,989.18 ha to terrestrial surface and inland waters [24].

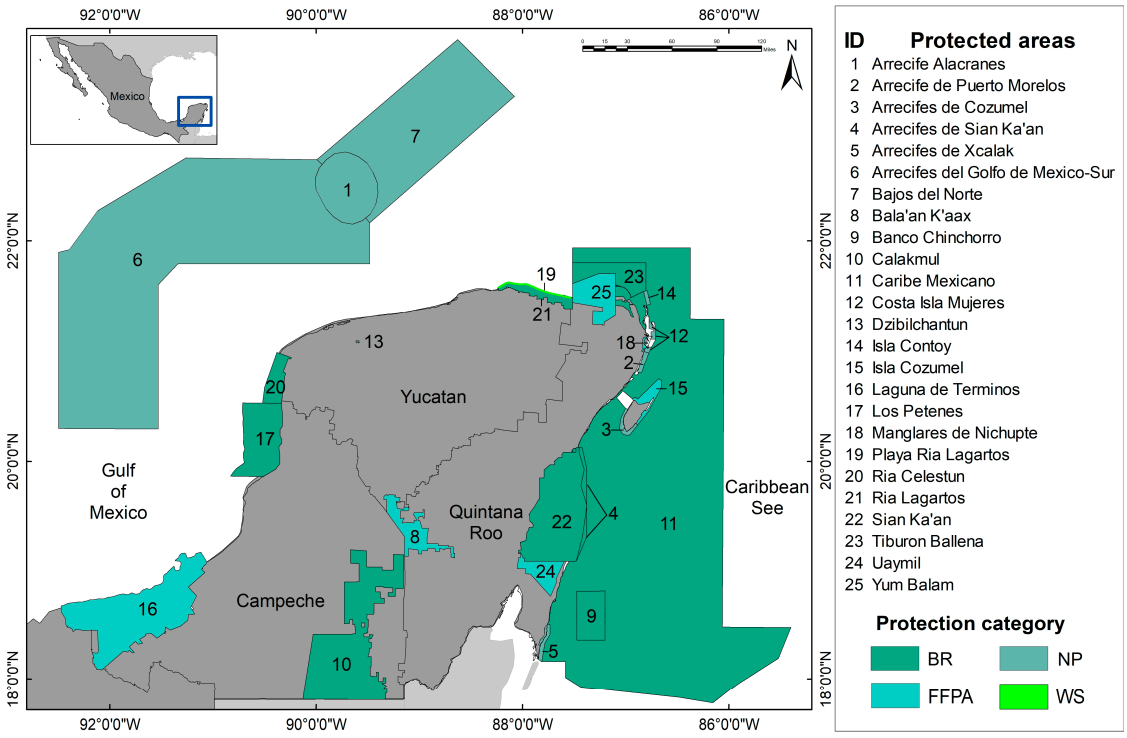


Figure 1. Map of the protected areas of the Yucatan Peninsula and adjacent marine zone with presence of aquatic invasive species. The acronyms of the protection categories correspond to the following: BR-Biosphere Reserve, FFPA-Flora and Fauna Protection Area, NP-National Park, and WS-Wildlife Sanctuary.

Regarding the invasiveness index, 15 species have a very high index of invasiveness, 6 have a high index, and 1 was assessed with a medium index (Table 1), representing a severe threat to the aquatic ecosystems of protected areas of the region. The species *Caulerpa taxifolia*, *Eichhornia crassipes*, *Oreochromis mossambicus*, and *Cyprinus carpio*, in addition to having a very high index of invasiveness in protected areas from the Yucatan Peninsula, are also species listed among the 100 worst invasive alien species in the world.

According to the analysis of similarity of protected areas, high similarities were found for Arrecife de Puerto Morelos-Arrecifes de Sian Ka'an-Arrecifes de Xcalak-Costa Isla Mujeres-Isla Contoy, with the species *Caulerpa verticillata*, *Ulva Lactuca*, and *Pterois volitans*; Arrecifes de Cozumel-Caribe Mexicano-Isla Cozumel-Yum Balam, with the species *Caulerpa verticillata* and *Pterois volitans*; Bajos del Norte-Tiburon Ballena, with the species *Pterois volitans*; and Manglares de Nichupte-Playa Ria Lagartos with the species *Caulerpa verticillata* (Table 1; Figures 2 and 3). Among the protected areas with intermediate values, we found the following: Arrecife Alacranes-Arrecifes del Golfo de Mexico-Sur, with the species *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa verticillata*, *Plumularia setacea*, and *Pterois volitans*; and Ría Celestun-Ria Lagartos, with the species *Panaeus monodon* and *Caulerpa verticillata* (Table 1; Figures 2 and 3). The protected area with the least similarity was Laguna de

Terminos, which concentrates 59% of the aquatic invasive species reported for the region, of which 61.53% are found only in this protected area [*Tarebia granifera*, *Charybdis* (*Charybdis*) *helleri*, *Parachromis motaguensis*, *P. managuensis*, *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio*, *Pterygoplichthys disjunctivus*, and *P. pardalis*; Table 1; Figures 2 and 3].

Table 1. Presence of aquatic invasive species in protected areas of the Yucatan peninsula and adjacent marine zone. Protected areas are represented by the following identification keys: Arrecife Alacranes (AA), Arrecife de Puerto Morelos (AP), Arrecifes de Cozumel (AC), Arrecifes de Sian Ka'an (AS), Arrecifes de Xcalak (AX), Arrecifes del Golfo de Mexico-Sur (AG), Bajos del Norte (BN), Bala'an K'aax (BK), Banco Chinchorro (BC), Calakmul (CA), Caribe Mexicano (CM), Costa Isla Mujeres (IM), Dzibilchantun (DZ), Isla Contoy (CN), Isla Cozumel (CZ), Laguna de Terminos (LT), Los Petenes (PE), Manglares de Nichupte (MN), Playa Ria Lagartos (PR), Ria Celestun (RC), Ria Lagartos (RL), Sian Ka'an (SK), Tiburon Ballena (TB), Uaymil (UA), and Yum Balam (YB). The invasiveness index is represented by the following symbols: very high (▲), high (■), and medium (●).

Taxonomic Group	Family	Taxon	Protected Areas	Reference Number
Macroalgae	Caulerpaceae	*Caulerpa taxifolia* ▲ (M.Vahl) C.Agardh 1817	AA, AG	[25,29,48]
		Caulerpa verticillata ■ J. Agardh, 1847	AA, AP, AC, AS, AX, AG, BC, CM, IM, CN, CZ, PE, MN, PR, RC, RL, SK, YB	[25,28,29,34,35,37,38,40,41,44,45,48,51–53]
	Ulvaceae	*Ulva Lactuca* ● (Linnaeus, 1753)	AA, AP, AS, AX, BC, IM, CN, RL, SK	[25,26,28,29,32,34,35,44,45,53]
Plants	Hydrocharitaceae	*Egeria densa* ▲ Planch.	CA, DZ	[25,39,46]
	Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes* ▲ (Mart.) Solms	CA, LT, PE, SK, UA	[25,34,46,54]
Hydrozoans	Cordylophoridae	*Cordylophora caspia* ▲ (Pallas, 1771)	AG	[25,26,48]
	Plumulariidae	*Plumularia setacea* ■ (Linnaeus, 1758)	AA, AG	[25,26,48]
Mollusks	Thiaridae	*Melanoides tuberculata* ▲ (O. F. Müller, 1774)	LT, SK	[25,34,55]
		Tarebia granifera ▲ (Lamarck, 1816)	LT	[25,55,56]
Crustaceans	Penaeidae	*Penaeus monodon* ▲ (Fabricius, 1798)	LT, RC, RL	[25,26,53,55,57–60]
	Portunidae	*Charybdis* (*Charybdis*) *helleri* ■ (A. Milne-Edwards, 1867)	LT	[25,61]
Fish	Cichlidae	*Oreochromis aureus* ▲ (Steindachner, 1864)	LT, PE	[25,26,62]
		Oreochromis mossambicus ▲ (Peters, 1852)	CA	[25,63]
		Oreochromis niloticus ▲ (Linnaeus, 1758)	BK, CA, LT, PE, RC	[25,31,53,62–65]
		Parachromis managuensis ■ (Günther, 1867)	LT	[25,55,64,66]
		Parachromis motaguensis ■ (Günther, 1867)	LT	[25,55]

Table 1. *Cont.*

Taxonomic Group	Family	Taxon	Protected Areas	Reference Number
Fish	Cyprinidae	*Ctenopharyngodon idella* ▲ (Valenciennes, 1844)	LT	[25,55,64,66]
		Cyprinus carpio ▲ (Linnaeus, 1758)	LT	[25,55]
	Loricariidae	*Pterygoplichthys disjunctivus* ▲ (Weber, 1991)	LT	[25,55,64,66–70]
		Pterygoplichthys pardalis ■ (Castelnau, 1855)	LT	[25,55,64,66–71]
	Scorpaenidae	*Pterois miles* ▲ (Bennett, 1828)	BC	[72]
		Pterois volitans ▲ (Linnaeus, 1758)	AA, AP, AC, AS, AX, AG, BN, BC, CM, IM, CN, CZ, PE, SK, TB, YB	[25,35–38,40,41,47,48,69,73–78]

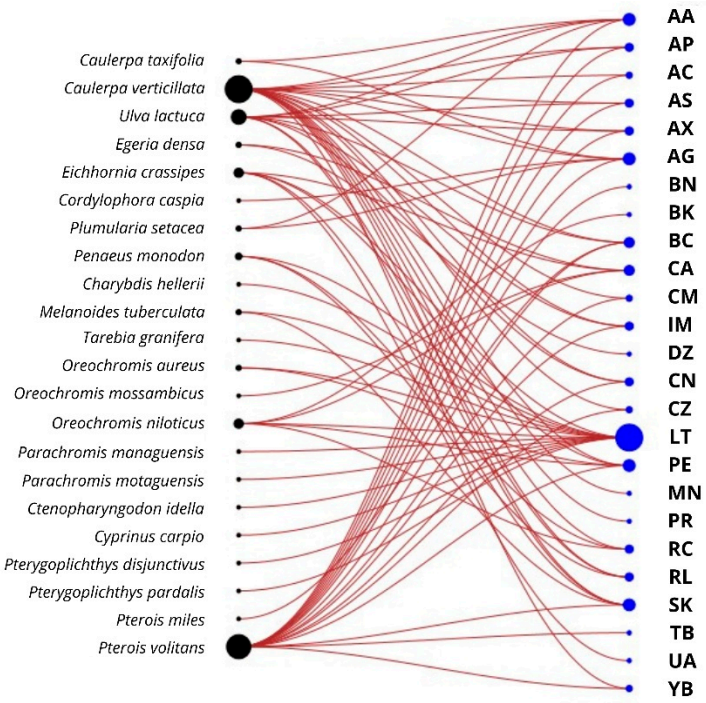


Figure 2. Presence–absence relationship of aquatic invasive species in the protected areas of the Yucatan peninsula and adjacent marine zone. The bigger the circle, the greater the presence. Identification keys for protected areas according to Table 1.

Laguna de Terminos Flora and Fauna Protection Area (Figure 1), which contains coastal, marine, and freshwater ecosystems, is the protected area with the highest presence of aquatic invasive species (N = 13, Figure 2). The aquatic invasive species with the highest presence in protected areas were: *Caulerpa verticillata* in 18 areas, and *Pterois volitans* in 16 (Table 1; Figure 2), which is evidence of their wide distribution in the marine environment. The most representative taxonomic group was fish, with nine freshwater species and two marine species (Table 1; Figure 1).

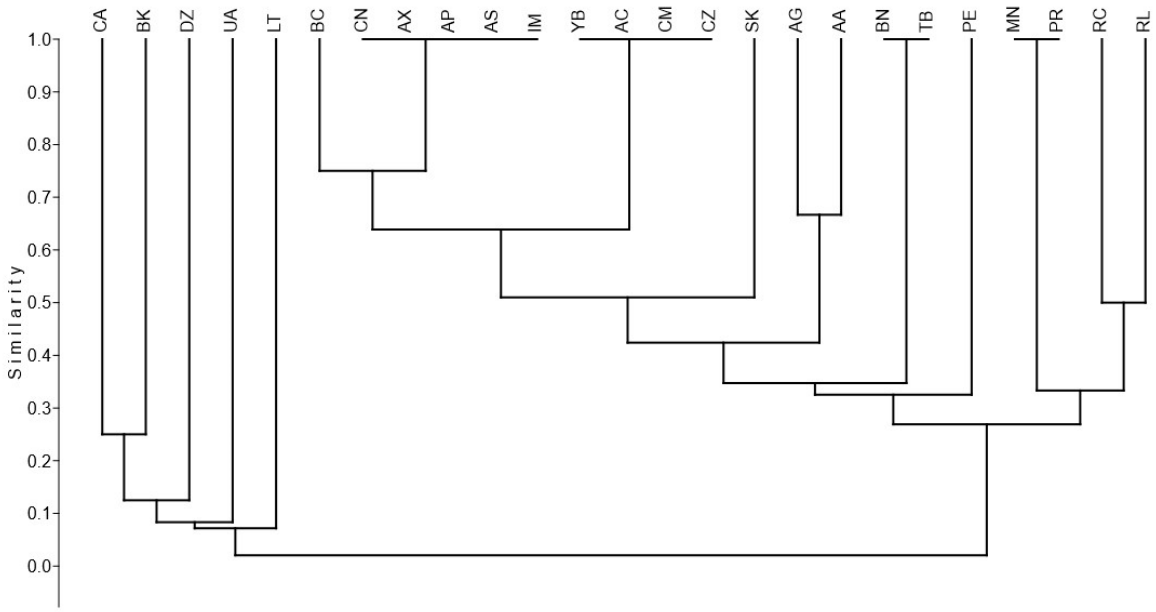


Figure 3. Dendrogram of Jaccard's index of aquatic invasive species in protected areas of the Yucatan peninsula and adjacent marine zone. Identification keys for protected areas according to Table 1.

4. Discussion

In this article, we take an important step towards establishing a baseline on the presence of aquatic invasive species in protected areas in the Yucatan Peninsula and adjacent marine zone. Updating species lists and distribution data is crucial for successful long-term management [17]. Specifically, the information generated in protected areas on invasive species must be given the same importance as the information generated for species at risk, since, depending on the level of knowledge available, the best decisions can be made for the restoration and conservation of ecosystems.

Although the region's protected areas present diverse ecosystems, protection categories, extension, and problems, the Laguna de Terminos Flora and Fauna Protection Area (Figure 1) stand out due to the 13 aquatic invasive species distributed there, 70% of which have a very high invasive risk. The species that represent the greatest risk in this protected area are invasive fish: *Pterygoplichthys disjunctivus* and *P. pardalis*, which have been widely studied for their effects on the trophic chains of freshwater ecosystems [55,66–68,70], these effects are characterized by alterations in the structure of the fish community, positioning them as dominant species in estuarine systems, as occurs in the Palizada-Del Este area [68]; adaptive capacity to brackish environments competing for space with native fish, as has been documented at the mouth of the Chumpan River [67]; incidence on siltation and erosion processes [70], and the destruction of fishing gear, causing a decrease in the catch sizes of commercially important species [55,70].

In the marine environment, the lionfish (*Pterois volitans*) represents the species with the greatest presence, since it is found in all the protected areas of the northern Yucatan Peninsula and the Mexican Caribbean. *Pterois volitans* is a threat to the marine ecosystems, mainly for coral reefs [74–79] because individuals reproduce fast [74,78], reach high population densities [74,76], consume a wide range of native fish and invertebrate species [75–77,79], and can potentially compete for shelter with native species [79]. In addition, the lionfish has economic risks because its diet habits not only include juveniles of commercially important species, such as lobsters, but because it also competes with snappers (Lutjanidae) and groupers (Serranidae) for food and habitat [76].

The similarity analysis determined that the groups of protected areas, including Bajos del Norte-Tiburon Ballena, Arrecifes de Cozumel-Caribe Mexicano-Isla Cozumel-Yum Balam, and Arrecife Puerto Morelos-Arrecifes de Sian Ka'an-Arrecifes de Xcalak-Costa Isla Mujeres-Isla Contoy (Figure 3) present the same species composition in each group; all areas are marine, and *Pterois volitans* is present in all these areas. Banco Chinchorro has a similarity of 0.75 (Figure 3) with the group Arrecife Puerto Morelos-Arrecifes de Sian Ka'an-Arrecifes de Xcalak-Costa Isla Mujeres-Isla Contoy, the difference is that Banco Chinchorro has an additional species: *Pterois miles*, which was the only species that had a single record in a protected area [72] (Guzmán-Méndez et al. 2017). In the Arrecife Alacranes-Arrecifes del Golfo de Mexico-Sur group, it is noteworthy that they are adjacent areas (Figures 1 and 3), and that together they conserve a marine surface of 4,443,433 ha [24]. The Ria Celestun-Ria Lagartos cluster (Figure 3) stands out because both biosphere reserves share characteristics of shape, extension, ecosystems, and problems [53], although they are located at opposite ends of the coastal zone of the state of Yucatan (Figure 1). Similarity results can guide management measures for invasive species, since, by sharing species, protected area managers must implement coordinated actions at a regional level, mainly in marine areas with high connectivity. The key elements to achieve this coordination could be trained personnel, standardized control and notification methods per species or taxonomic group, systematic monitoring, early detection, rapid response, and long-term maintenance programs [17].

5. Conclusions

According to the information analysis, 22 aquatic invasive species were found in 25 protected areas of the Yucatan Peninsula and adjacent marine zone. A total of 15 of these species have a very high invasiveness index, according to the results of the rapid invasiveness assessment method. Laguna de Terminos was the protected area with the highest number of recorded species (13), which represents an alert for the implementation of immediate control actions, mainly for fish, crustaceans, and mollusks.

The ecosystems of the protected areas of the Yucatan Peninsula and the adjacent marine zone are under constant pressure from the presence, distribution, and impacts of aquatic invasive species, mainly in coral reefs, rivers, and lagoons. The invasion of lionfish (*Pterois volitans*) has had repercussions on the structure and functioning of reef systems and seagrasses in 16 protected areas (Table 1), in addition to negative impacts on the tourism and fishing sectors. The sailfin catfishes (*Pterygoplichthys disjunctivus* and *P. pardalis*) have significantly altered the food webs of the rivers that flow into Laguna de Terminos, reducing the biomass of ecologically and commercially important species and affecting the fishing gear and infrastructure of local fishermen. These impacts are just some examples of the deterioration of the region's aquatic ecosystems and should serve as a precedent for planning short-term actions to reverse this trend. In addition, prevention, early detection, and rapid response efforts must be sufficiently efficient to counteract the spread of new or existing species and must focus on the pathways of introduction and vectors of the species. The information generated in this work can be useful for decision makers in the protected areas of the Yucatan Peninsula and the adjacent marine zone, as it provides updated information on the presence of aquatic invasive species, their level of invasiveness, and their pathways of introduction.

Author Contributions: Conceptualization: E.R.-H., L.A.A.-P. and J.G.; Data curation: E.R.-H.; Formal analysis: E.R.-H., J.G. and R.T.-L.; Funding acquisition: E.R.-H. and L.A.A.-P.; Investigation: E.R.-H., L.A.A.-P., J.G., R.T.-L. and B.I.V.-R.; Methodology: E.R.-H., L.A.A.-P. and J.G.; Project administration: E.R.-H.; Resources: E.R.-H., L.A.A.-P., J.G., R.T.-L. and B.I.V.-R.; Software: E.R.-H. and B.I.V.-R.; Supervision: E.R.-H.; Validation: E.R.-H., L.A.A.-P., J.G., R.T.-L. and B.I.V.-R.; Visualization: E.R.-H.;

Writing—original draft: E.R.-H. and L.A.A.-P.; Writing—review & editing: E.R.-H., L.A.A.-P., J.G., R.T.-L. and B.I.V.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: E.R.-H. was supported by a PhD grant from the Ministry of Science, Humanities, Technology and Innovation (SECIHTI, Mexico). L.A.A.-P. was funded by the Metropolitan Autonomous University–Xochimilco, through the project "Ecology models and fish population dynamics in tropical coastal estuarine systems".

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The original contributions presented in this study are included in the article. Further inquiries can be directed to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors thank the Division of Biological and Health Sciences of the Metropolitan Autonomous University–Xochimilco for their support in producing this paper. We further thank the comments provided by reviewers.

Conflicts of Interest: The authors have declared that no competing interests exist.

References

1. Blackburn, T.M.; Bellard, C.; Ricciardi, A. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. *Front. Ecol. Environ.* **2019**, *17*, 203–207. [CrossRef]
2. Pyšek, P.; Hulme, P.E.; Simberloff, D.; Bacher, S.; Blackburn, T.M.; Carlton, J.T.; Dawson, W.; Essl, F.; Foxcroft, L.C.; Genovesi, P.; et al. Scientists' warning on invasive alien species. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* **2020**, *95*, 1511–1534. [CrossRef]
3. IPBES. *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and Their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*; IPBES Secretariat: Bonn, Germany, 2023. [CrossRef]
4. Gallardo, B.; Clavero, M.; Sánchez, M.I.; Vilà, M. Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems. *Glob. Change Biol.* **2016**, *22*, 151–163. [CrossRef]
5. Meira, A.; Carvalho, F.; Castro, P.; Souza, R. Applications of biosensors in non-native freshwater species: A systematic review. *NeoBiota* **2024**, *96*, 211–236. [CrossRef]
6. Cuthbert, R.N.; Pattison, Z.; Taylor, N.G.; Verbrugge, L.; Diagne, C.; Ahmed, D.A.; Leroy, B.; Angulo, E.; Briski, E.; Capinha, C.; et al. Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Sci. Total Environ.* **2021**, *775*, 145238. [CrossRef]
7. Rico-Sanchez, A.E.; Haubrock, P.J.; Cuthbert, R.N.; Angulo, E.; Ballesteros-Mejia, L.; Lopez-Lopez, E.; Duboscq-Carra, V.G.; Nunez, M.A.; Diagne, C.; Courchamp, F. Economic costs of invasive alien species in Mexico. In *The Economic Costs of Biological Invasions Around the World*; Zenni, R.D., McDermott, S., Garcia-Berthou, E., Essl, F., Eds.; Pensoft Publishers: Sofia, Bulgaria, 2021; Volume 67, pp. 459–483. [CrossRef]
8. Perrin, S.W.; Lundmark, C.; Wenaas, C.P.; Finstad, A.G. Contrasts in perception of the interaction between non-native species and climate change. *NeoBiota* **2024**, *96*, 343–361. [CrossRef]
9. Seebens, H.; Bacher, S.; Blackburn, T.M.; Capinha, C.; Dawson, W.; Dullinger, S.; Genovesi, P.; Hulme, P.E.; van Kleunen, M.; Kühn, I.; et al. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Glob. Change Biol.* **2021**, *27*, 970–982. [CrossRef]
10. Vitousek, P.M.; D'Antonio, C.M.; Loope, L.L.; Rejmánek, M.; Westbrooks, R. Introduced species: A significant component of human-caused global change. *N. Z. J. Ecol.* **1997**, *21*, 1–16. Available online: http://www.jstor.org/stable/24054520 (accessed on 5 January 2025).
11. Havel, J.E.; Kovalenko, K.E.; Thomaz, S.M.; Amalfitano, S.; Kats, L.B. Aquatic invasive species: Challenges for the future. *Hydrobiologia* **2015**, *750*, 147–170. [CrossRef]
12. Saunders, D.L.; Meeuwig, J.J.; Vincent, A.C. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. *Conserv. Biol.* **2002**, *16*, 30–41. [CrossRef]
13. Kiruba-Sankar, R.; Praveen, J.; Saravanan, K.; Lohith, K.; Raymond, J.; Velmurugan, A.; Dam, S. Invasive species in freshwater ecosystems—Threats to ecosystem services. In *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*; Sivaperuman, C., Velmurugan, A., Kumar, A., Jaisankar, I., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2018; pp. 257–296. [CrossRef]
14. Baxter, C.V.; Fausch, K.D.; Murakami, M.; Chapman, P.L. Fish invasion restructures stream and forest food webs by interrupting reciprocal prey subsidies. *Ecology* **2004**, *85*, 2656–2663. [CrossRef]
15. Dimitriadis, C.; Fournari-Konstantinidou, I.; Sourbès, L.; Koutsoubas, D.; Katsanevakis, S. Long term interactions of native and invasive species in a marine protected area suggest complex cascading effects challenging conservation outcomes. *Diversity* **2021**, *13*, 71. [CrossRef]

16. Bax, N.; Williamson, A.; Agüero, M.; Gonzalez, E.; Geeves, W. Marine invasive alien species: A threat to global biodiversity. *Mar. Policy* **2003**, *27*, 313–323. [CrossRef]
17. Foxcroft, L.C.; Richardson, D.M.; Pyšek, P.; Genovesi, P. Invasive alien plants in protected areas: Threats, opportunities, and the way forward. In *Plant Invasions in Protected Areas. Invading Nature—Springer Series in Invasion Ecology*; Foxcroft, L.C., Richardson, D.M., Pyšek, P., Genovesi, P., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2013; Volume 7, pp. 621–639. [CrossRef]
18. Braun, M.; Schindler, S.; Essl, F. Distribution and management of invasive alien plant species in protected areas in Central Europe. *J. Nat. Conserv.* **2016**, *33*, 48–57. [CrossRef]
19. Holenstein, K.; Simonson, W.D.; Smith, K.G.; Blackburn, T.M.; Charpentier, A. Non-native species surrounding protected areas influence the community of non-native species within them. *Front. Ecol. Evol.* **2021**, *8*, 625137. [CrossRef]
20. CONABIO. Provincias Biogeográficas de México, Escala 1: 4,000,000. Available online: http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/rbiog4mgw (accessed on 7 January 2025).
21. Arriaga, L.; Aguilar, V.; Alcocer, J. *Aguas Continentales y Diversidad Biológica de México*; Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 2002; Available online: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-hidrologicas-prioritarias-de-Mexico (accessed on 7 January 2025).
22. Arriaga, L.; Vázquez, E.; González, J.; Jiménez, R.; Muñoz, E.; Aguilar, V. *Regiones Marinas Prioritarias de México*; Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 1998; Available online: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-marinas-prioritarias-de-mexico (accessed on 8 January 2025).
23. Arriaga, L.; Espinoza-Rodríguez, J.M.; Aguilar-Zúñiga, C.; Martínez-Romero, E.; Gómez-Mendoza, L.; Loa, E. *Regiones Terrestres Prioritarias de México*; Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 2000; Available online: https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20250103185318 (accessed on 8 January 2025).
24. CONANP. Listado de las Áreas Naturales Protegidas de México. Available online: https://sig.conanp.gob.mx/General (accessed on 7 January 2025).
25. CONABIO. Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad. Available online: https://www.snib.mx/ (accessed on 6 January 2025).
26. GBIF Global Biodiversity Information Facility (2025) GBIF México. Available online: https://www.gbif.org/ (accessed on 8 January 2025).
27. CONANP. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Ría Celestún*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2000; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/celestun.pdf (accessed on 10 January 2025).
28. CONANP. *Programa de Manejo Parque Nacional Arrecifes de Xcalak*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2004; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Xcalak_ok.pdf (accessed on 11 January 2025).
29. CONANP. *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2006; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/alacranes_ok.pdf (accessed on 11 January 2025).
30. CONANP. *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Los Petenes*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2006; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/petenes_final.pdf (accessed on 13 January 2025).
31. CONANP. *Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Bala'an K'aax*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2007; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Final_BallanKaxx.pdf (accessed on 17 January 2025).
32. CONANP. *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Ría Lagartos*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2007; Available online: https://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/PCM_RiaLagartos.pdf (accessed on 14 January 2025).
33. CONANP. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Nichupté*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2014; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Manglares_de_Nichupt%C3%A9.pdf (accessed on 15 January 2025).
34. CONANP. *Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2014; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Complejo_Sian_Ka_an.pdf (accessed on 20 January 2025).
35. CONANP. *Programa de Manejo Parque Nacional Isla Contoy*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2015; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Isla_Contoy_completo.pdf (accessed on 25 January 2025).

36. CONANP. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tiburón Ballena*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2015; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2015/Tiburon_Ballena_Libro.pdf (accessed on 21 January 2025).
37. CONANP. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna La Porción Norte y la Franja Costera Oriental, Terrestres y Marinas de la Isla de Cozumel*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2016; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/Isla%20Cozumel%20(completo).pdf (accessed on 28 January 2025).
38. CONANP. *Programa de Manejo Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2016; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/Isla%20Mujeres%20Punta%20Canc%C3%BAn.pdf (accessed on 26 January 2025).
39. CONANP. *Programa de Manejo Parque Nacional Dzibilchantún*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2016; Available online: https://www.conanp.gob.mx/acciones/pdf/PMDZIBILCHANTUNCompleto.pdf (accessed on 29 January 2025).
40. CONANP. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2019; Available online: https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMYumBalam.pdf (accessed on 24 January 2025).
41. CONANP. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2019; Available online: https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMCaribeMexicano.pdf (accessed on 27 January 2025).
42. INE. *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos*; Instituto Nacional de Ecología: Mexico City, Mexico, 1997; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/APFFTerminos.pdf (accessed on 17 January 2025).
43. INE. *Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel*; Instituto Nacional de Ecología: Mexico City, Mexico, 1998; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/cozumel.pdf (accessed on 19 January 2025).
44. INE. *Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos*; Instituto Nacional de Ecología: Mexico City, Mexico, 2000; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/puerto_morelos.pdf (accessed on 18 January 2025).
45. INE. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro*; Instituto Nacional de Ecología: Mexico City, Mexico, 2000; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/chinchorro.pdf (accessed on 24 January 2025).
46. INE. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Calakmul*; Instituto Nacional de Ecología: Mexico City, Mexico, 2000; Available online: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/calakmul.pdf (accessed on 20 January 2025).
47. CONANP. *Estudio Previo Justificativo Para el Establecimiento del Área Natural Protegida Parque Nacional Bajos del Norte, Golfo de México*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2023; Available online: https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-PN-BajosDelNorte.pdf (accessed on 30 January 2025).
48. CONANP. *Estudio Previo Justificativo Para el Establecimiento del Área Natural Protegida Arrecifes del Golfo de México-Sur*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico, 2024; Available online: https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-PN-ArrecifesDelGolfoDeMexico-Sur.pdf (accessed on 30 January 2025).
49. CONABIO. *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) Para Especies exóticas en México*; Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 2015; Available online: https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf (accessed on 8 January 2025).
50. PAST Core Team. PAST: A Software for Scientific Data Analysis. Available online: https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/ (accessed on 10 January 2025).
51. Collado-Vides, L.; González-González, J.; Ezcurra, E. Patrones de distribución ficofloristica en el sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mex.* **1995**, *31*, 19–32. [CrossRef]
52. Espinoza-Avalos, J.; Aguilar-Rosas, L.E.; Aguilar-Rosas, R.; Gómez-Poot, J.M.; Raigoza-Figueras, R. Presencia de caulerpaceae (Chlorophyta) en la Península de Yucatán, México. *Bot. Sci.* **2015**, *93*, 845–854. [CrossRef]
53. Rendón-Hernández, E.; Ayala-Pérez, L.A.; Golubov, J.; Torres-Lara, R. Especies exóticas invasoras y sus implicaciones sobre los bosques de manglar en las Reservas de la Biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos. *Madera Bosques* **2024**, *30*, 3042627. [CrossRef]
54. Endañú-Huerta, E.; López-Contreras, J.E.; Amador-Del Ángel, L.E.; Guevara-Carrió, E.; Alderete-Chávez, A.; Brito-Pérez, R. Flora exótica naturalizada e invasora del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche: Estado actual, impactos, necesidades y perspectivas. In *Problemas Contemporáneos Regionales del Sureste Mexicano El Caso del Estado de Campeche*; Amador-Del Ángel, L.E., Frutos-Cortés, M., Eds.; Universidad Autónoma del Carmen: Ciudad del Carmen, Mexico, 2015; pp. 280–307.

55. Amador-Del Ángel, L.E.; Endañú-Huerta, E.; López-Contreras, J.E.; Wakida-Kusunoki, A.T.; Guevara-Carrió, E.; Brito-Pérez, R. Fauna exótica establecida e invasora en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche: Estado actual, impactos, necesidades y perspectivas. In *Problemas Contemporáneos Regionales del Sureste Mexicano El Caso del Estado de Campeche*; Amador-Del Ángel, L.E., Frutos-Cortés, M., Eds.; Universidad Autónoma del Carmen: Ciudad del Carmen, Mexico, 2015; pp. 128–154.
56. Trinidad-Ocaña, C.; Juárez-Flores, J.; Sánchez, A.J.; Barba-Macías, E. Diversidad de moluscos y crustáceos acuáticos en tres zonas en la cuenca del Río Usumacinta, México. *Rev. Mex. Biodivers.* **2018**, *89*, S65–S78. [CrossRef]
57. Gómez-Ponce, M.A.; Bolaños-Martínez, N.; Díaz-Jaimes, P.; Bortolini-Rosales, J.L.; Castellanos, P. A new record of a tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 breeding female in the coast of Campeche, Mexico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* **2020**, *48*, 150–155. [CrossRef]
58. Wakida-Kusunoki, A.T.; Rojas-González, R.I.; González-Cruz, A.; Del Ángel, A.; Sánchez-Cruz, J.L.; López, N.A. Presence of giant tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 on the Mexican coast of the Gulf of Mexico. *BioInvasions Rec.* **2013**, *2*, 325–328. [CrossRef]
59. Wakida-Kusunoki, A.T.; De Anda-Fuentes, D.; López-Téllez, N.A. Presence of giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) in eastern Peninsula of Yucatan coast, Mexico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* **2016**, *44*, 155–158. [CrossRef]
60. Wakida-Kusunoki, A.T.; Cruz-Sánchez, J.L.; López-Téllez, N.A. A review of recent sightings and reports of the giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Decapoda: Penaeidae) on the Mexican coast of the Gulf of Mexico (2012–2019). *Rev. De Biol. Mar. Oceanografía* **2021**, *56*, 83–88. [CrossRef]
61. Simoes, N.; Wakida-Kusunoki, A.T.; Cruz-Sánchez, J.L.; Alvarez, F.; Villalobos-Hiriart, J.L. On the presence of *Charybdis* (Charybdis) *hellerii* (A. Milne-Edwards, 1867) on the Mexican coast of the Gulf of Mexico. *BioInvasions Rec.* **2019**, *8*, 670–674. [CrossRef]
62. Torres-Castro, I.L.; Vega-Cendejas, M.A.; Schmitter-Soto, J.J.; Palacio-Aponte, G.; Rodiles-Hernández, R. Ictiofauna de Sistemas Cárstico-Palustres Con Impacto Antrópico: Los Petenes de Campeche, México. *Rev. Biol. Tropical* **2009**, *57*, 141–157. Available online: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442009000100014&script=sci_arttext (accessed on 5 January 2025). [CrossRef]
63. Vega-Cendejas, M.A. Estudio de Caso: Los Peces de la Reserva de Calakmul. In *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*; Villalobos-Zapata, G.J., Mendoza, J., Eds.; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico; Gobierno del Estado de Campeche: Campeche, Mexico; Universidad Autónoma de Campeche: Campeche, Mexico; El Colegio de la Frontera Sur: Campeche, Mexico, 2010; Available online: https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7371.pdf (accessed on 3 January 2025).
64. Amador-Del Ángel, L.E.; Wakida-Kusunoki, A.T.; Guevara-Carrió, E.C.; Brito-Pérez, R.; Cabrera-Rodríguez, P. Peces Invasores de Agua Dulce en la Región de la Laguna de Términos, Campeche. *UNACAR Tecnociencia* **2009**, *3*, 11–28. Available online: https://biblat.unam.mx/hevila/UNACARtecnociencia/2009/no2/2.pdf (accessed on 4 January 2025).
65. Ayala-Pérez, L.A.; Ramos-Miranda, J.; Flores-Hernández, D. La Comunidad de Peces de la Laguna de Términos: Estructura Actual Comparada. *Biol. Trop.* **2003**, *50*, 783–793. Available online: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44911882020 (accessed on 18 January 2025).
66. Amador-Del Ángel, L.E.; Guevara, E.; Brito, R.; Wakida-Kusunoki, A.T.; Cabrera-Rodríguez, P. Aportaciones recientes al estudio de la ictiofauna del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche. In *Aspectos Hidrológicos y Ambientales en la Laguna de Términos*; Ruíz, A., Canedo, Y., Zavala, J.C., Campos, S.C., Sabido, M.Y., Ayala, L.A., Amador-Del Ángel, L.E., Eds.; Universidad Autónoma del Carmen: Ciudad del Carmen, Mexico, 2012; pp. 128–154.
67. Álvarez-Pliego, N.; Sánchez, A.J.; Florido, R.; Salcedo, M.A. First record of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Chumpan River system, southeast Mexico. *BioInvasions Records* **2015**, *4*, 309–314. [CrossRef]
68. Ayala-Pérez, L.A.; Pineda-Peralta, A.D.; Álvarez-Guillen, H.; Amador-Del Ángel, L.E. El pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) en las cabeceras estuarinas de la Laguna de Términos, Campeche. In *Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en Ecosistemas de México*; Low, A., Quijón, P., Peters, E., Eds.; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Mexico City, Mexico; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: Mexico City, Mexico; University of Prince Edward Island: Charlottetown, PE, Canada, 2014; pp. 313–336. Available online: https://agua.org.mx/biblioteca/especies-invasoras-acuaticas-casos-de-estudio-en-ecosistemas-de-mexico-2/ (accessed on 16 January 2025).
69. Rendón, E.; Bernal, J.F.; Hernández, B.; Müller, E. Estrategias de atención a especies exóticas invasoras en áreas naturales protegidas de competencia federal en México. In *Principales Retos que Enfrenta México Ante las Especies Exóticas Invasoras*; Born-Schmidt, G., de Alba, F., Parpal, J., Koleff, P., Eds.; Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública: Mexico City, Mexico; Cámara de Diputados: Mexico City, Mexico, 2017; pp. 209–224.

70. Wakida-Kusunoki, A.T.; Amador-Del Ángel, L.E. Nuevos Registros de los Plecos *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau 1855) y *P. disjunctivus* (Weber 1991) (*Siluriformes*: *Loricariidae*) en el Sureste de México. *Hidrobiológica* **2008**, *18*, 251–256. Available online: https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/916 (accessed on 19 January 2025).
71. Toro-Ramírez, A.; Wakida-Kusunoki, A.T.; Amador-Del Ángel, L.E.; Cruz-Sánchez, J.L. Common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) preys on the invasive Amazon sailfin catfish *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) in the Palizada River, Campeche, southeastern Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* **2014**, *30*, 532–534. [CrossRef]
72. Guzmán-Méndez, I.A.; Rivera-Madrid, R.; Díaz-Jaimes, P.; García-Rivas, M.C.; Aguilar-Espinosa, M.; Arias-González, J.E. First genetically confirmed record of the invasive devil firefish *Pterois miles* (Bennett, 1828) in the Mexican Caribbean. *BioInvasions Rec.* **2017**, *6*, 99–103. [CrossRef]
73. Aguilar-Perera, A.; Tuz-Sulub, A. Non-native, invasive red lionfish (*Pterois volitans* Linnaeus, 1758: Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquat. Invasions* **2010**, *5*, S9–S12. [CrossRef]
74. Aguilar-Perera, A.; Quijano-Puerto, L.; Hernández-Landa, R.C. Lionfish invaded the mesophotic coral ecosystem of the Parque Nacional Arrecife Alacranes, Southern Gulf of Mexico. *Mar. Biodivers.* **2017**, *47*, 15–16. [CrossRef]
75. Arias-González, J.E.; González-Gándara, C.; Cabrera, J.L.; Christensen, V. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. *Environ. Res.* **2011**, *111*, 917–925. [CrossRef] [PubMed]
76. Arredondo-Chávez, A.T.; Sánchez-Jiménez, J.A.; Ávila-Morales, O.G.; Torres-Chávez, P.; Herrerias-Diego, Y.; Medina-Nava, M.; Madrigal-Gurdi, X.; Campos-Mendoza, A.; Domínguez-Domínguez, O.; Caballero-Vázquez, J.A. Spatio-temporal variation in the diet composition of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae), in the Mexican Caribbean: Insights into the ecological effect of the alien invasion. *Acta Ichthyol. Piscat.* **2016**, *46*, 185–200. [CrossRef]
77. Cobián-Rojas, D.; Schmitter-Soto, J.J.; Aguilar, C.M.; Aguilar-Perera, A.; Ruiz-Zárate, M.A.; González-Sansón, G.; Chevalier, P.P.; Herrera, R.; García, A.; Corrada, R.I.; et al. The community diversity of two Caribbean MPAs invaded by lionfish does not support the biotic resistance hypothesis. *J. Sea Res.* **2018**, *134*, 26–33. [CrossRef]
78. Loreto-Viruel, R.M.; Rendón-Hernández, E.; Espindola, S. *Plan de Acción Nacional Para el Manejo y Control del pez León en México*; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Mexico City, Mexico; Amigos de Sian Ka'an, A.C.: Cancún, Mexico; Mesoamerican Reef Fund: Mexico City, Mexico, 2023; Available online: https://marfund.org/es/wp-content/uploads/2023/03/Mexico-Plan-Accion_Pez-leon_feb23_opt.pdf (accessed on 1 February 2025).
79. Côté, I.M.; Green, S.J.; Hixon, M.A. Predatory fish invaders: Insights from Indo-Pacific lionfish in the western Atlantic and Caribbean. *Biol. Conserv.* **2013**, *164*, 50–61. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

doi: 10.21829/myb.2024.3042627

Madera y **Bosques** vol. **30**, núm. **4, e3042627** Invierno **2024**

Artículos científicos

Especies exóticas invasoras y sus implicaciones sobre los bosques de manglar en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos

Invasive alien species and their implications on mangrove forests in the Ría Celestún and Ría Lagartos biosphere reserves

Eduardo Rendón-Hernández[1]*, Luis Amado Ayala-Pérez[2], Jordan Golubov[3] y Ricardo Torres-Lara[4]

[1] Universidad Autónoma Metropolitana. Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Ciudad de México, México.

[2] Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Ecología Aplicada. Ciudad de México, México.

[3] Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Ciudad de México, México.

[4] Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. División de Desarrollo Sustentable. Departamento de Recursos Naturales. Chetumal, Quintana Roo, México.

* Autor de correspondencia: occelott@gmail.com

Resumen

La invasión de especies no autóctonas es una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad y para la provisión de servicios ecosistémicos. Uno de los ecosistemas más vulnerables a escala mundial por la presencia de especies exóticas invasoras (EEI) es el bosque de manglar, ya que estas pueden desestabilizar la estructura y función de las redes tróficas y reducir su productividad, principalmente por competencia y depredación de especies nativas. En este estudio se realizó un análisis en los sistemas de información de biodiversidad y la literatura científica especializada para determinar la presencia de EEI en los bosques de manglar de las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos ubicadas en la península de Yucatán, México; se identificó el nivel de riesgo de las EEI de acuerdo con el método de evaluación rápida de invasividad, y se generó información sobre las implicaciones de las EEI en los bosques de manglar. Entre las dos áreas naturales protegidas (ANP), se encontró la presencia de 16 EEI, de las cuales, 56.25% tienen valor de riesgo de invasividad "muy alto" y 43.75% riesgo de invasividad "alto", lo que significa una alerta de peligro para los bosques de manglar de las ANP. La información generada en este estudio servirá de base para el planteamiento de estrategias de gestión para la atención de EEI y sobre la conservación de los bosques de manglar en las ANP.

Palabras clave: área natural protegida, conservación, manejo forestal, prevención, riesgo de invasividad, servicios ecosistémicos.

Abstract

The invasion of non-native species is one of the main threats to biodiversity conservation and the provision of ecosystem services. Mangroves are one of the most vulnerable ecosystems worldwide due to invasive alien species (IAS), as they can destabilize the structure and function of trophic webs and reduce their primary productivity, mainly through competition and predation of native species. In this paper, an analysis of biodiversity information systems and scientific literature were used to determine the presence of IAS within the mangrove forests of the Ria Celestún and Ría Lagartos biosphere reserves in the Yucatan Peninsula, Mexico; the level of risk of IAS was identified according to the rapid invasiveness assessment method, and information was generated on the implications of IAS in mangrove forests. In both natural protected areas (NPAs), 16 IAS were found, of which 56.25% had a "very high" invasiveness risk value, and 43.75% had a "high" invasiveness risk, which implies a danger alert for mangrove forests in the NPAs. The information generated in this study can be used to identify strategies for managing IAS and the conservation of mangrove forests in NPAs.

Keywords: natural protected area, conservation, forest management, prevention, risk of invasiveness, ecosystem services.

Introducción

Las especies exóticas son aquellas cuya presencia en una región es atribuible a acciones humanas, deliberadas o involuntarias, que les permitieron superar barreras biogeográficas (Pyšek et al., 2020; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN, por sus siglas en inglés], 2000). Una vez que las especies exóticas logran establecerse, reproducirse y dispersarse en los ecosistemas receptores, inician un proceso de invasión con repercusiones ecológicas, económicas y sociales considerables lo que las convierte en especies exóticas invasoras (EEI) (Cuthbert et al., 2021; Hulme; 2003, 2006; Wittenberg y Cock, 2001; Pimentel et al., 2001). Muchos de estos impactos pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios, lo que tiene un efecto adverso en los medios de vida humanos, generalmente irreversibles (Kumschick et al., 2014; Simberloff et al., 2013; IUCN, 2000).

Se ha demostrado que las EEI incrementan las probabilidades de extinción de las especies nativas; afectan la composición genética de las poblaciones; modifican el comportamiento, la riqueza y la abundancia de las especies; alteran la diversidad filogenética entre las comunidades y, modifican las redes tróficas, la estructura y productividad de los ecosistemas, los ciclos de los nutrientes y los procesos hidrológicos (Pyšek et al., 2020; Blackburn et al., 2014; Wittenberg y Cock, 2001; Vitousek, 1990). En términos económicos, las EEI provocan pérdidas significativas en sectores como agricultura, silvicultura, pesca y salud pública (Haubrock et al., 2021; Pimentel et al., 2001; 2005). Entre los estudios sobre pérdidas económicas asociadas con invasiones biológicas, se encuentran los realizados por Haubrock et al. (2021), quienes mencionan la pérdida de 116 610 millones de euros (EUR) para 39 países europeos entre 1960 y 2020; la Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos [OTA, por sus siglas en inglés] (1993) estimó una pérdida de 97 billones de dólares en daños por 79 especies exóticas de 1906 a 1991, principalmente causados por insectos y plantas; mientras que Pimentel et al. (2005) revelan que los costos por daños económicos asociados a EEI y su control en Estados Unidos asciende a 120 000 millones de dólares (USD) al año.

En un estudio realizado por Moodley et al. (2022), se demuestra que diversas EEI han causado daños en áreas naturales protegidas (ANP) de todos los continentes, con costos significativos en la gestión para controlarlas y/o erradicarlas, mientras que la resiliencia de las ANP a invasiones biológicas sigue siendo en gran parte desconocida (Hulme, 2018; Ziller et al., 2020). El impacto de las invasiones biológicas puede ser más significativo en las ANP que en los paisajes desprotegidos, ya que a menudo preservan una mayor proporción de especies nativas, endémicas y/o amenazadas que están menos adaptadas a las perturbaciones antropogénicas (Moodley et al., 2022).

Dentro de los ecosistemas más amenazados por la presencia de EEI a escala mundial, se encuentran los manglares (Ordinola-Zapata et al., 2019; Biswas et al., 2018; Valiela et al., 2001). Estos ecosistemas complejos y dinámicos se ubican en ecotonos costeros en constante fluctuación entre la tierra y el mar, localizados dentro de las latitudes 25° N y 30° S, y están considerados dentro de los ecosistemas más importantes y productivos del planeta debido a su capacidad para capturar y almacenar carbono, brindar protección costera ante fenómenos hidrometeorológicos y otros servicios ecosistémicos de sustento, aprovisionamiento, regulación y culturales (Leal y Spalding, 2022; Gorman, 2018; Donato et al., 2011; Zaldívar et al., 2004; Valiela et al., 2001). Sin embargo, algunas especies invasoras, principalmente plantas, modifican la estructura y composición de la vegetación nativa, impiden la regeneración natural de los mangles, reducen la productividad y la comunidad faunística (Biswas et al., 2018). La invasión de plantas en los bosques de manglar es mucho más generalizada y problemática de lo que comúnmente se percibe, lo que indica la necesidad de integrar estrategias de manejo en cada área particular (Biswas et al., 2018).

Por ejemplo, en la zona costera de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, México, se encuentran dos ANP que conservan importantes bosques de manglar, las

reservas de la biosfera Ría Celestún (RBRC) y Ría Lagartos (RBRL) las cuales, por su importancia biológica y ecológica a escala mundial, están listadas en la Red de Humedales de Importancia Internacional (The Secretariat of the Convention on Wetlands, 2023) y pertenecen al Programa Sobre el Hombre y la Biosfera (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco, por sus siglas en inglés], 2023), debido a esta importancia para la región, es fundamental contribuir al conocimiento para su conservación. La distribución e implicaciones de las EEI sobre los bosques de manglar en la RBRC y RBRL se desconoce, por lo que, este estudio brinda información importante para desarrollar estrategias de atención a EEI que permitan la conservación y restauración de los ecosistemas de las ANP.

Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron: 1) determinar la presencia de EEI en los bosques de manglar de la RBRC y RBRL ubicadas en la península de Yucatán, México; 2) identificar el nivel de riesgo de las EEI, y 3) aportar información de las implicaciones de las EEI en los bosques de manglar, con la finalidad de que se implementen estrategias de conservación y restauración en las ANP.

Materiales y métodos

Área de estudio

La RBRC y RBRL (Fig. 1) se encuentran en la provincia biogeográfica Yucatán (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 1997), dentro de la región hidrológica prioritaria 102 "Anillo de cenotes" (Arriaga et al., 2002); en las regiones marinas prioritarias 60 "Champotón – El Palmar" y 62 "Dzilam-Contoy" (Arriaga et al., 1998); y en las regiones terrestres prioritarias 145 "Petenes-Ría Celestún" y 146 "Dzilam - Ría Lagartos - Yum Balam" (Arriaga et al., 2000).

La RBRC se localiza en la porción noroccidental de la península de Yucatán, en la franja costera que comprende los límites de los estados de Campeche y Yucatán, en las coordenadas extremas 20° 59' 33.72" N, 90° 14' 23.10" E, 20° 31' 37.74" S y 90° 31' 13.14" W; forma parte de la planicie continental de la costa norte de la península de Yucatán y tiene una altura promedio de 3 m s.n.m. (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp] 2000; 2023). Tiene una superficie de 81 482.33 ha y como límites destaca, el corredor biológico que conforma al norte con la reserva estatal "El Palmar" y al sur con la reserva de la biosfera "Los Petenes" (Conanp, 2000); limita al este con los municipios de Celestún, Maxcanú, Halachó y Hunucmá en Yucatán, y Calkiní en Campeche, y al oeste con el Golfo de México (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2023). El tipo de vegetación más representativo es el manglar (*Rhizophora mangle, Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*) que se encuentra en un buen estado de conservación, y desempeña una función determinante en la productividad biológica, tanto terrestre como marina (Tapia et al., 2008; Arriaga et al., 2000; Conanp, 2000).

La RBRL se localiza en el extremo oriental de la franja litoral de Yucatán, en las coordenadas extremas 21° 37' 29.56'' y 21° 23' 00.96'' latitud norte; 88° 14' 33.35'' y 87° 30' 50.67'' longitud oeste. Limita al norte con el Golfo de México, al sur con los municipios de Tizimín, Ría Lagartos y San Felipe, al este mantiene un corredor biológico con el área de protección de flora y fauna Yum Balam y al oeste con la reserva estatal de Dzilam (Conanp, 2007; Inegi, 2023). Constituye un complejo de ecosistemas terrestres, dulceacuícolas y marinos limitados por 90 vértices de la poligonal con una superficie de 60 347.82 ha (Conanp, 2007). No existen corrientes superficiales y el agua se filtra formando un manto freático de poca profundidad compuesta por grutas, corrientes subterráneas, cenotes y aguadas. En la porción sur, se localizan los únicos lomeríos que alcanzan los 10 m s.n.m, estas pequeñas variaciones topográficas son de gran importancia para la hidrodinámica superficial. El principal tipo de vegetación es el manglar (*Rhizophora mangle, Avicennia germinans, Conocarpus erectus* y en menor abundancia *Laguncularia racemosa*) que tiene un elevado valor biogeográfico y ecosistémico, el cual ocupa 24.31% de la superficie del polígono del ANP (Arriaga et al., 2000; Conanp 2007; 2023).

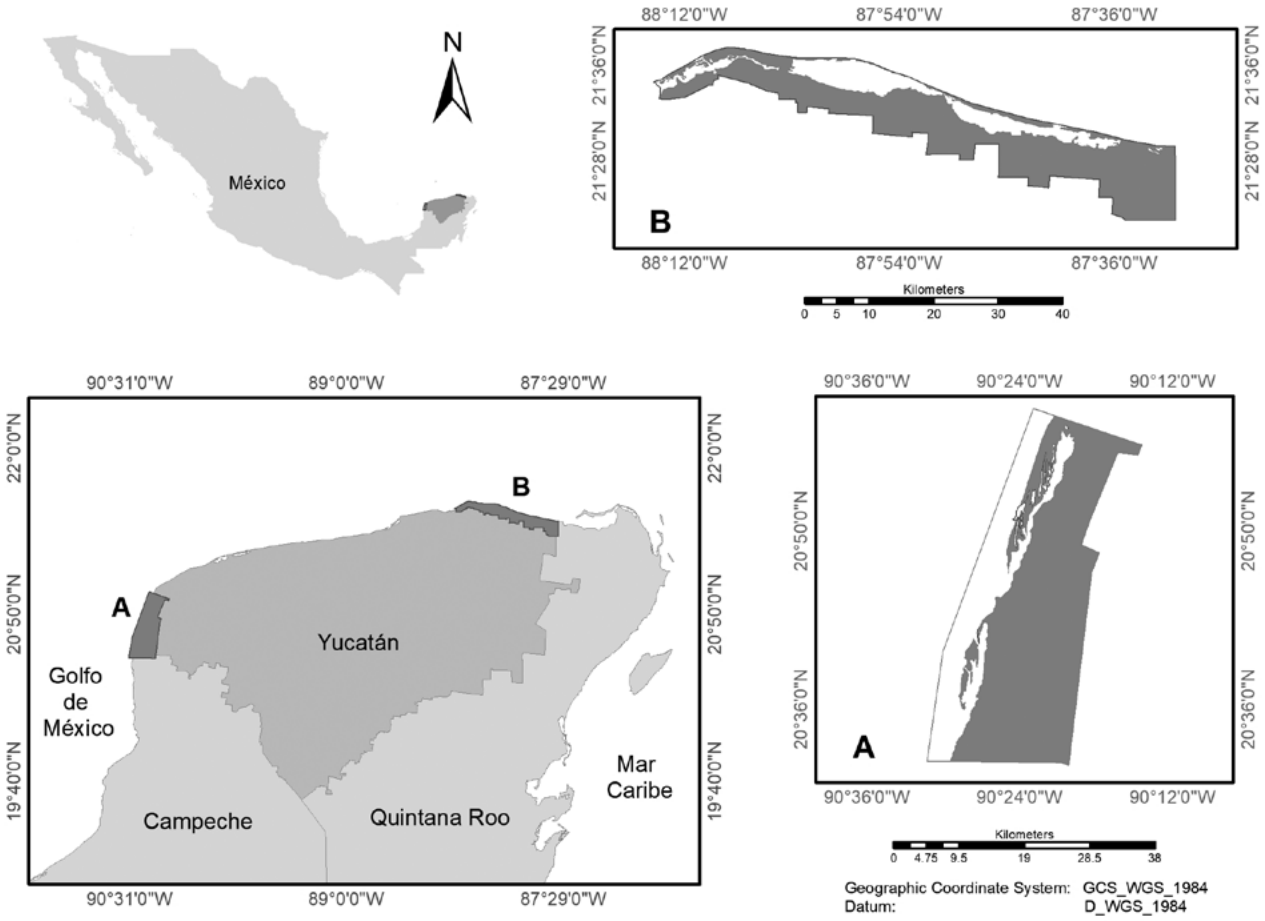


Figura 1. Ubicación geográfica de las reservas de la biosfera Ría Celestún (A) y Ría Lagartos (B).

Análisis de información

Para determinar la presencia de las EEI en la RBRC y RBRL, se realizó un análisis con base en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2023); el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad [GBIF, por sus siglas en inglés] (2023); los listados taxonómicos del programa de manejo de la RBRC (Conanp, 2000) y del programa de conservación y manejo de la RBRL (Conanp, 2007); y se realizó una búsqueda de la literatura científica especializada en los siguientes recursos electrónicos: Google académico, PubMED, Redalyc, Scielo y Springer Link. Para la validación biogeográfica de las EEI dentro de los polígonos de la RBRC y RBRL, se utilizó el atlas de las áreas naturales protegidas de México y el GBIF (Conanp, 2023; GBIF, 2023), mientras que para la distribución en los bosques de manglar se utilizó la capa de información "distribución de los manglares de México en 2020" del portal de geoinformación del SNIB (Conabio, 2023).

Para validar la nomenclatura taxonómica de las EEI identificadas, se utilizaron las siguientes referencias de información especializada: Mammal Species of the World (Wilson y Reader, 2005), International Ornithological Commitee (Gill et al., 2023), Fishbase (Froese y Pauly, 2023), Reptile-database (Uetz et al., 2023), World Register of Marine Species (WoRMS Editorial Board, 2023), Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2023), Algaebase (Guiry y Guiry, 2023) y del Centro de Biociencia Agrícola Internacional [CABI, por sus siglas en inglés] (2023).

El criterio para catalogar una especie como exótica invasora dependió de dos elementos: 1) las características de la definición de la Ley General de Vida Silvestre, que menciona a aquella especie o población que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2010), y 2) que la especie estuviera evaluada a través del Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI). El MERI es una herramienta basada en el método jerárquico analítico para la evaluación rápida del riesgo potencial de una especie como invasora (Conabio, 2015). Adicionalmente, se identificó si las EEI se encuentran en el acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2016) y en la lista de las 100 EEI más invasivas del mundo (Lowe et al., 2004).

Derivado de que la RBRC y la RBRL comparten características de forma, extensión, ecosistemas y problemática, se elaboró un dendrograma con los datos de presencia-ausencia del total de las EEI identificadas en ambas ANP para determinar su similitud, para lo cual se utilizó el programa estadístico Past v4.13 aplicando el índice de Jaccard, el cual tiene el siguiente fundamento:

$$isJ(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

donde:

A: es el número de especies presentes en el sitio 1

B: es el número de especies presentes en el sitio 2

$A \cap B$: número de elementos comunes entre A y B

$A \cup B$: número total de elementos en la unión de A y B

El resultado del índice de Jaccard varía entre 0 y 1. Un valor de 0 indica que no hay especies en común, mientras que un valor de 1 indica que los sitios tienen máxima similitud en composición de especies.

Resultados y discusión

Derivado del análisis de la información, se determinó la presencia de 35 EEI en ambas ANP (Tabla 1), de las cuales, 30 corresponden a la RBRC y 29 a la RBRL, estas se ordenaron en siete grupos taxonómicos: mamíferos (4 especies); aves (7); reptiles (3); peces (1); invertebrados (4); plantas (14) y macroalgas (2) (Fig. 2).

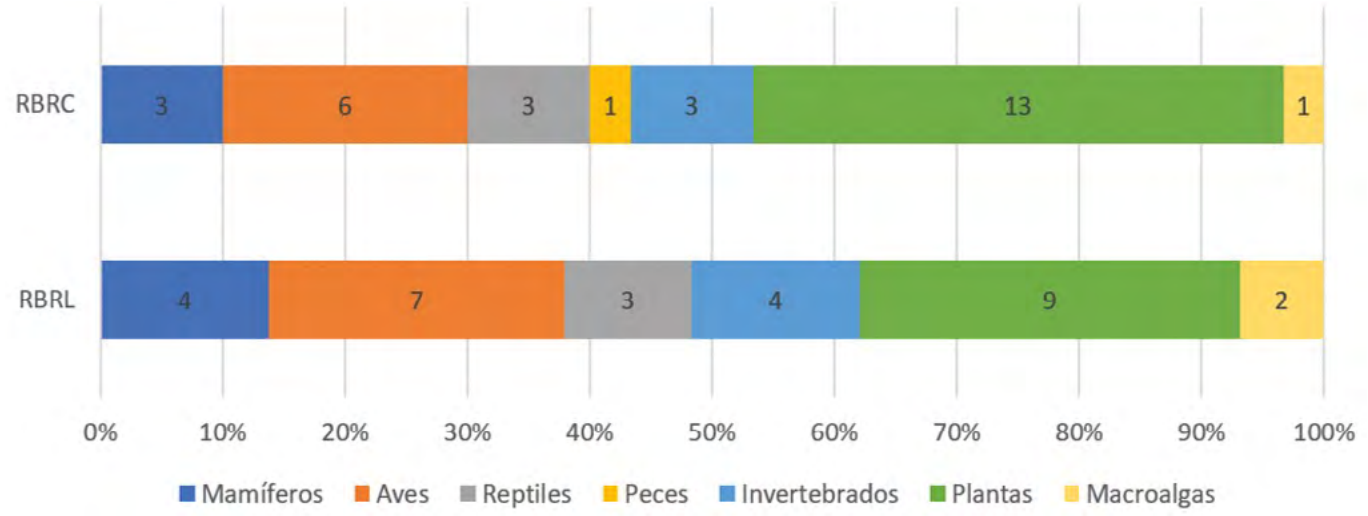


Figura 2. Número de especies exóticas invasoras identificadas por grupo taxonómico en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos y su proporción en porcentaje.

Tabla 1. Listado taxonómico de especies exóticas invasoras en las reservas de la biosfera Ría Celestún (RBRC) y Ría Lagartos (RBRL). Parte 1 de 2.

Grupo taxonómico	*Familia taxonómica*	*Nombre científico*	*Nombre común*	*RBRC*	*RBRL*	*MERI*	*Referencias*
Macroalgas	Caulerpaceae	*Caulerpa verticillata* (J. Agardh, 1847)	caulerpa	X	X	M-A	17, 25
	Ulvaceae	*Ulva lactuca* (Linnaeus, 1753)	lechuga de mar		X	M-M	1, 25
Plantas	Apocynaceae	*Catharanthus roseus* (L.) G. Don	jabonera	X	X	M-MA (+)	1, 2, 25, 27
		Cryptostegia grandiflora R. Br.	clavel alemán	X▲		M-MA(+)	2
		Nerium oleander L.	rosa laurel	X▲	X	M-A	1, 2, 25
	Casuarinaceae	*Casuarina equisetifolia* L.	casuarina	X	X	M-MA	2, 24
	Combretaceae	*Terminalia catappa* L.	almendro		X	M-A	25
	Euphorbiaceae	*Ricinus communis* L.	higuerilla	X	X	M-A (+)	1, 2, 25, 27
	Orchidaceae	*Oeceoclades maculata* (Lindl.) Lindl.	orquídea africana	X	X	M-A	1, 2, 5, 25
	Poaceae	*Arundo donax* L.	carrizo gigante	X		M-MA(+) [*]	1, 2, 5
		Bothriochloa pertusa (L.) A. Camus	zacate amarillo	X		M-A(+)	1, 2
		Cenchrus ciliaris L.	zacate buffel	X	X	M-MA(+)	1, 2, 5
		Dactyloctenium aegyptium (L.) Willd.	zacate egipcio	X	X	M-A(+)	1, 2, 13, 25, 27
		Eleusine indica (L.) Gaertn.	escobilla	X▲		M-MA	1, 2
		Hyparrhenia rufa (Nees) Stapf	pasto jaragua	X▲		M-A(+)	1, 2
		Melinis repens (Willd.) Zizka	zacate rosado	X	X	M-A(+)	1
Insectos	Culicidae	*Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762)	mosquito de la fiebre amarilla	X▲	X▲	M-MA	1, 2, 8, 25
		Aedes albopictus (Skuse, 1894)	mosquito tigre		X▲	M-MA(+) [*]	1, 2, 8, 12
Arácnidos	Tenuipalpidae	*Raoiella indica* Hirst, 1924	ácaro rojo	X	X	M-A(+)	18, 19
Crustáceos	Penaeidae	*Penaeus monodon* (Fabricius, 1798)	camarón tigre	X▲	X▲	M-MA(+)	1, 2, 6, 16

▲ = Especie en áreas de distribución de bosque de manglar; M-MA = MERI – Muy Alto; M-A = MERI – Alto; M-M = MERI – Medio; (+) = Especie dentro del Acuerdo por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México; [*] = Lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo.

Tabla 1. Listado taxonómico de especies exóticas invasoras en las reservas de la biosfera Ría Celestún (RBRC) y Ría Lagartos (RBRL). Parte 2 de 2.

Grupo taxonómico	*Familia taxonómica*	*Nombre científico*	*Nombre común*	*RBRC*	*RBRL*	*MERI*	*Referencias*
Peces	Cichlidae	*Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)	tilapia del Nilo	X		M-MA	1
Reptiles	Dactyloidae	*Anolis sagrei* (Duméril & Bibron, 1837)	abaniquillo pardo	X	X	M-A(+)	1, 3, 4, 7, 15, 25, 27
	Gekkonidae	*Hemidactylus frenatus* (Duméril & Bibron, 1836)	gecko casero	X▲	X▲	M-A(+)	1, 2, 3, 4, 15, 25, 27
		Hemidactylus turcicus (Linnaeus, 1758)	gecko del Mediterráneo	X	X	M-A(+)	1, 4, 15, 25, 27
Aves	Ardeidae	*Bubulcus ibis* (Linnaeus, 1758)	garza ganadera	X▲	X▲	M-A(+)	1, 2, 10, 21, 25, 26, 27
	Columbidae	*Columba livia* (Gmelin, 1789)	paloma doméstica	X▲	X▲	M-MA(+)	1, 2, 25, 27
		Streptopelia decaocto (Frivaldszky, 1838)	paloma de collar turca	X▲	X▲	M-A(+)	1, 2, 20
	Estrildidae	*Lonchura malacca* (Linnaeus, 1766)	capuchino tricolor	X▲	X	M-A(+)	1, 2, 9, 25
		Lonchura punctulata (Linnaeus, 1758)	capuchino pecho escamoso		X	M-A(+)	1, 2
	Icteridae	*Molothrus bonariensis* (Gmelin, 1789)	tordo lustroso	X▲	X	M-A(+)	1, 2, 28
	Passeridae	*Passer domesticus* (Linnaeus, 1758)	gorrión europeo	X	X	M-MA(+)	1, 10
Mamíferos	Canidae	*Canis lupus* subsp. *familiaris* (Linnaeus, 1758)	perro	X▲	X▲	M-MA(+)	11, 14, 23, 24, 25, 27
	Felidae	*Felis catus* (Linnaeus, 1758)	gato	X▲	X▲	M-MA(+) [*]	2, 11, 23, 24, 25
	Muridae	*Mus musculus* (Linnaeus, 1758)	ratón doméstico	X▲	X	M-MA(+) [*]	1, 2, 22, 24, 25, 26
		Rattus rattus (Linnaeus, 1758)	rata negra		X	M-MA(+) [*]	25

▲ = Especie en áreas de distribución de bosque de manglar; M-MA = MERI – Muy Alto; M-A = MERI – Alto; M-M = MERI – Medio; (+) = Especie dentro del Acuerdo por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México; [*] = Lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo.

Referencias de la tabla: Conabio, 2023 (1); GBIF, 2023 (2); Ortiz-Medina et al., 2022 (3); González-Sánchez et al., 2021 (4); Martínez et al., 2021 (5); Wakida-Kusunoki et al., 2021 (6); Vásquez-Cruz et al., 2020 (7); Bond et al., 2019 (8); Degante-González et al., 2018 (9); Flota-Bañuelos et al., 2018 (10); Fundación Pedro y Elena Hernández, 2018 (11); Ortega-Morales et al., 2018 (12); Parra-Tabla et al., 2018 (13); Pronatura Península de Yucatán, 2018 (14); González-Sánchez et al., 2017 (15); Wakida-Kusunoki et al., 2016 (16); Espinoza-Avalos et al., 2015 (17); Ramírez, 2014 (18); Villa et al., 2013 (19); Chablé-Santos et al., 2012 (20); Cepeda-González et al., 2011 (21); Chablé-Santos y Sosa-Escalante, 2010 (22); De la Gala y Plata, 2008 (23); Kantún, 2008 (24); Conanp, 2007 (25); Cimé et al., 2006 (26); Conanp, 2000 (27); Kluza, 1998 (28).

Por el número de EEI, los grupos taxonómicos más representativos fueron las plantas y las aves. Para el caso de las plantas se identificaron seis familias taxonómicas: Poaceae (7 especies); Apocynaceae (3); Casuarinaceae (1), Combretaceae (1); Euphorbiaceae (1) y Orchidaceae (1), mientras que para las aves se identificaron cinco familias taxonómicas: Columbidae (2 especies); Estrildidae (2); Ardeidae (1); Icteridae (1) y Passeridae (1).

De acuerdo con el análisis sobre la presencia de EEI en los bosques de manglar, se encontró el registro de 16 especies (Tabla 1), lo que representa 45.71% del total de las EEI identificadas en el polígono de las áreas de estudio. Las especies fueron: mamíferos (*Canis lupus* subsp. *familiaris*, *Felis catus* y *Mus musculus*); aves (*Bubulcus ibis*, *Columba livia, Lonchura malacca*, *Molothrus bonariensis* y *Streptopelia decaocto*); reptiles (*Hemidactylus frenatus*); invertebrados (*Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y *Penaeus monodon*) y plantas (*Cryptostegia grandiflora*, *Eleusine indica*; *Hyparrhenia rufa* y *Nerium oleander*).

De las 16 EEI identificadas en los bosques de manglar, destacan las especies ferales como el perro (*Canis lupus* subsp. f*amiliaris*) y el gato (*Felis catus*), que son consideradas de alto impacto a los ecosistemas, los cuales tienen como punto de partida los centros rurales o urbanos situados en las zonas de influencia de las ANP (Lessa et al., 2016). Los gatos son cazadores oportunistas y su comportamiento depredador es innato, por lo que son una seria amenaza para muchas especies de vida silvestre (Mella-Méndez et al., 2022), de igual forma, se ha demostrado que el mayor impacto de los perros sobre la biodiversidad nativa es la depredación (Hughes y Macdonald, 2013). El caso más emblemático registrado es la aniquilación de 50% de una población del kiwi marrón (*Apteryx mantelli*) por un solo perro en la isla norte de Nueva Zelanda (Taborsky, 1988).

Es importante evaluar la abundancia de perros y los patrones de movimiento en los bosques de manglar de la RBRC y RBRL para evidenciar las afectaciones a la biodiversidad en general, ya que solo se tiene registro del impacto sobre las poblaciones de flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber*) y las tortugas marinas (*Eretmochelys imbricata* y *Chelonya midas*) en la RBRL (Pronatura, 2018; Fundación Pedro y Elena Hernández, 2018). Además, la presencia de perros ferales en áreas naturales aumenta el riesgo de trasmisión de enfermedades para la vida silvestre (Young et al., 2011).

Referente al nivel de riesgo de las EEI identificadas en la RBRC y la RBRL, utilizando los parámetros del MERI, se encontraron 16 EEI con riesgo muy alto, lo que representa 45.71%; 18 EEI con riesgo alto (51.42%) y una EEI con riesgo medio (2.85%) (Tabla 1). Particularmente, para las 16 EEI identificadas en los bosques de manglar, nueve tienen un nivel de riesgo de invasividad "muy alto" y siete "alto", lo que representa 56.25% y 43.75% respectivamente (Tabla 1).

De manera complementaria, para la RBRC y la RBRL se identificó que 74% de las EEI presentes se encuentran dentro del acuerdo por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México (Tabla 1), lo que deja a 26% de las especies sin normatividad pese a que cuentan con un MERI que les da el carácter de EEI. Preocupa el caso particular de las especies forestales como la casuarina (*Casuarina equisetifolia*) que afecta las zonas costeras y erosiona el suelo; la altamente invasiva orquídea africana (*Oeceoclades maculata*) y el mosquito de la fiebre amarilla (*Aedes aegypti*).

Respecto a la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo, se identificaron las siguientes: carrizo gigante (*Arundo donax*), mosquito tigre (*Aedes albopictus*); gato (*Felis catus*); ratón doméstico (*Mus musculus*) y rata negra (*Rattus rattus*) (Tabla 1), todas con riesgo de invasividad muy alto de acuerdo con el MERI y todas en el acuerdo por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México.

En lo que respecta a las implicaciones de las EEI en los bosques de manglar, de acuerdo con información de la Base de Datos Mundial sobre Especies Invasoras [GISD, por sus siglas en inglés] (2023), el compendio de especies invasoras de CABI (CABI, 2023) y del MERI (Conabio, 2015) se identificaron los siguientes impactos: *Mus musculus* (compite con especies de roedores nativos, se adapta rápidamente a todo tipo de ambientes y ha sido asociado a extinción de especies); *Bubulcus ibis* (compite con otras

garzas por alimento, sitios de anidación y material para la construcción de nidos); *Columba livia* y *Streptopelia decaocto* (asociadas a comunidades humanas compiten con aves nativas por alimento y sitios de anidación); *Lonchura malacca* (compite por alimento con otras aves); *Molothrus bonariensis* (destruye huevos de otras especies de aves); *Aedes albopictus* (ataca a aves, reptiles y anfibios y puede transmitir enfermedades); *Penaeus monodon* (compite por alimento con otros camarones ya que es un depredador agresivo que consume pequeños crustáceos y moluscos); *Cryptostegia grandiflora* (desplaza vegetación nativa e incrementa el riesgo de erosión del suelo); *Eleusine indica* (invade hábitats perturbados en márgenes de vegetación natural y zonas costeras; *Hyparrhenia rufa* y *Nerium oleander* (desplazan plantas nativas).

El establecimiento de EEI impacta significativamente a las especies de mangle y a la comunidad faunística asociada, lo que afecta la estructura de las cadenas tróficas y los beneficios sociales derivados de los bosques de manglar. Asimismo, otros problemas como la tala, la contaminación del agua y suelo, y la urbanización son presiones que conducen a la degradación, permitiendo la invasión de especies exóticas y posterior colonización del bosque (Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente [UNEP, por sus siglas en inglés], 2023).

Las vías de introducción de las EEI, por lo tanto, derivan de presiones antropogénicas recurrentes. Para el caso de la RBRC, la construcción de carreteras e infraestructura para el turismo no solo fragmenta ecosistemas naturales y abre espacios para la invasión de especies exóticas, sino que ha impactado en la pérdida de bosques de manglar y la modificación de los flujos de agua dulce tan necesarios para ese ecosistema (Conanp, 2000). Para el caso de la RBRL, el cambio de uso de suelo para actividades productivas - como la ganadería - ha causado la reducción de áreas de bosque de manglar (Conanp, 2007), aunado a que la ganadería no sostenible es considerada una vía de introducción de pastos exóticos invasores.

Pese a que la RBRC y la RBRL se encuentran en litorales opuestos en el estado de Yucatán, se identificó una similitud de 0.68 de acuerdo con el índice de Jaccard (Fig. 3). La similitud por grupo taxonómico correspondió a: 0.75 mamíferos; 0.85 aves; 1.0 reptiles; 0 peces; 0.75 invertebrados; 0.57 plantas y 0.5 macroalgas. Por lo que se sugiere una distribución generalizada en la mayoría de los grupos en la región costera del estado de Yucatán y/o vías de introducción similares.

La premisa de que las invasiones biológicas perjudican el desempeño de las ANP para conservar bosques de manglar (Ren et al., 2021) tiene una gran implicación en este estudio, ya que la contribución al conocimiento de este tema, debe incentivar a fortalecer las estrategias de prevención, erradicación y control de EEI en los bosques de manglar de la RBRC y de la RBRL, las cuales deberían ser implementadas en función de la presencia temprana o distribución restringida de las EEI, y de la disponibilidad de recursos humanos, técnicos y financieros. Se deben invertir los mayores esfuerzos en estrategias que ofrezcan los mejores resultados a gran escala con el menor costo posible, con la finalidad de tener mejores oportunidades para la conservación de los bosques de manglar, mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Conclusiones

Se encontró la presencia de 16 especies exóticas invasoras en áreas de distribución de bosques de manglar de las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos, las cuales se clasificaron en los siguientes grupos taxonómicos: plantas (cuatro especies), invertebrados (3), reptiles (1), aves (5) y mamíferos (3). De las 16 especies, nueve tienen un nivel de riesgo de invasividad "muy alto" y siete de "alto", lo que representa 56.25% y 43.75% respectivamente. Las implicaciones de las especies exóticas invasoras sobre los bosques de manglar se centran en la desestabilización de su estructura y funcionamiento, ya que compiten, depredan y trasmiten enfermedades a las poblaciones de especies nativas afectando a mayor escala los servicios ecosistémicos, por lo que se deben fortalecer estrategias de prevención, erradicación y control de EEI en los bosques de manglar de las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos. La aplicabilidad del presente estudio puede extrapolarse hacia las áreas naturales pro-

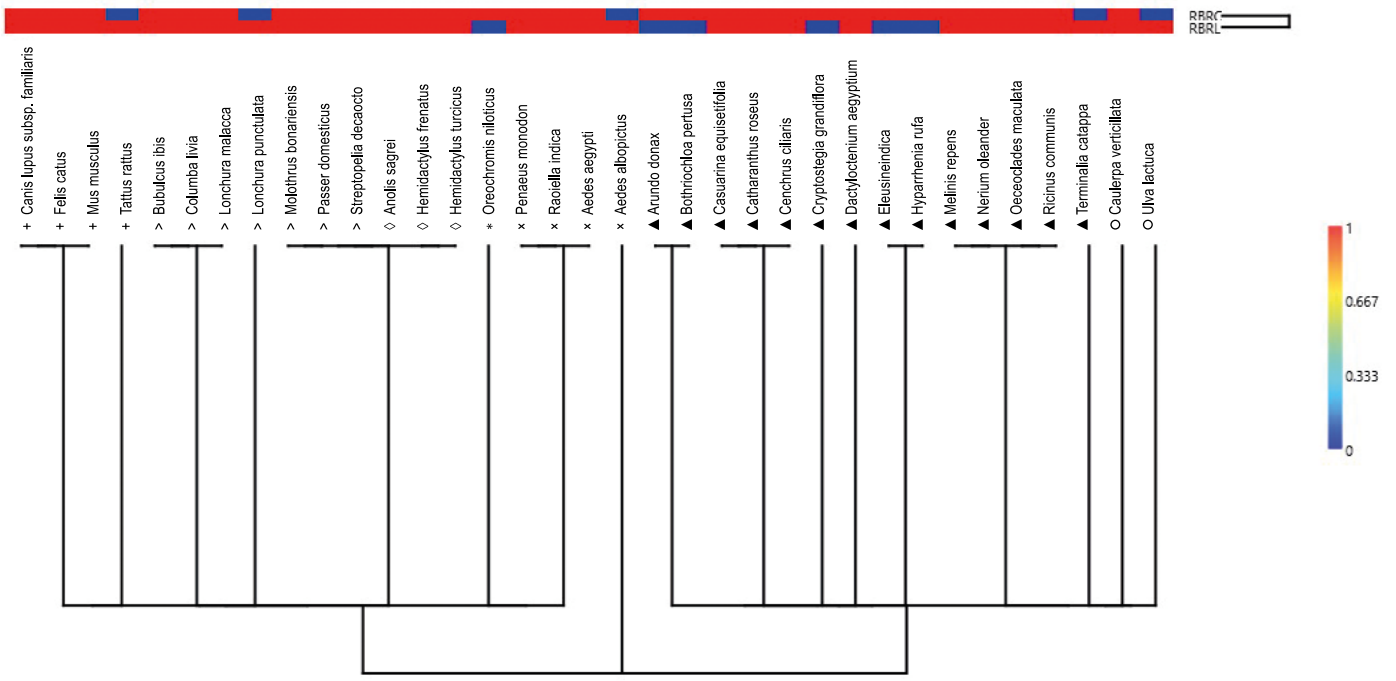


Figura 3. Similitud entre las especies exóticas invasoras en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos.
(+) mamíferos; (>) aves; (◊) reptiles; (*) peces; (×) invertebrados; (▲) plantas; (○) macroalgas.

tegidas con las cuales los sitios de estudio forman corredores biológicos y plantear estrategias regionales para evitar la dispersión de especies exóticas invasoras o prevenir el ingreso de nuevas especies.

Reconocimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca para realizar los estudios de doctorado. El segundo autor agradece a la UAM-Xochimilco por el financiamiento del proyecto: "Modelos de ecología y dinámica poblacional de peces en sistemas costeros estuarinos tropicales", y la participación de la Dra. Brenda Iliana Vega Rodríguez.

Referencias

Arriaga, L., Aguilar, V., & Alcocer, J. (2002). *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/hidrologicas.html

Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html

Arriaga, L., Vázquez, E., González, J., Jiménez, R., Muñoz, E., & Aguilar, V. (1998). *Regiones marinas prioritarias de México*. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/marinas.html

Base de Datos Mundial sobre Especies Invasoras [GISD] (2023). *Invasive Species Specialist Group*. GISD. http://www.iucngisd.org/gisd/

Biswas, S. R., Biswas, P. L., Limon, S. H., Yan, E., Xu, M., & Khan, M. S. I. (2018). Plant invasion in mangrove forests worldwide. *Forest Ecology and Management*, *429*, 480–492. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.046

Blackburn, T. M., Essl, F., Evans, T., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Kühn, I., Kumschick, S., Marková, Z., Mrugała, A., Nentwig, W., Pergl, J., Pyšek, P., Rabitsch, W., Ricciardi, A., Richardson, D. M., Sendek, A., Vilà, M., Wilson, J. R., Winter, M., …, Bacher, S. (2014). A unified classifica-

tion of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. *PLOS Biology*, *12*(5), e1001850. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850

Bond, J. G., Casas, M., Moo, D. A., Marina, C. F., Danis, R., Ulloa, A., Elizondo, A. E., Ortega, A., & Núñez, C. (2019). *Diagnóstico del estado actual de la invasión biológica por* Aedes *(Stegomyia)* albopictus *(Skuse) (Díptera: Culícidae) en las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México*. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfLI040.pdf

Centro de Biociencia Agrícola Internacional [CABI] (2023). *Compendium Invasive Species*. CABI. https://www.cabidigitallibrary.org/product/qi

Cepeda-González, M. F., Escalona-Segura, G., Montero--Muñoz, J. L., Méndez-González, M. E., Pozo-de la Tijera, C., & Hernández-Betancourt, S. (2011). Composición de especies de aves en potreros de matrices de origen antropogénico y mixto en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *Brenesia*, *2011*(75-*73*), 37-48.

Chablé-Santos, J., Gómez-Uc, E., & Hernández-Betancourt, S. (2012). Registros reproductivos de la paloma de collar (*Streptopelia decaocto*) en Yucatán, México. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, *13*(1), 1-5. https://doi.org/10.28947/hrmo.2012.13.1.140

Chablé-Santos, J., & Sosa-Escalante, J. (2010). Valoración y medición de la biodiversidad de aves y mamíferos terrestres de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. En E. Acosta-Lugo, D. Alonzo-Parra, M. Andrade-Hernández, D. Castillo-Tzab, J. Chablé-Santos, R. Durán, C. Espadas-Manrique, I. Fernández-Stohanzlova, J. Fraga, E. Galicia, J. A. González-Iturbe, J. Herrera-Silveira, J. Sosa-Escalante, G. J. Villalobos-Zapata, & F. Tun-Dzul (Eds.), *Plan de Conservación de la Eco-región: Petenes-Celestún-Palmar* (pp. 97-125). Universidad Autónoma de Campeche - Pronatura Península de Yucatán A. C. http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/Eco-region.pdf

Cimé, J. A., Chablé-Santos, J. B., Sosa-Escalante, J. E., & Hernández-Betancourt, S. F. (2006). Quirópteros y pequeños roedores de la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Acta Zoológica Mexicana*, *22*(1), 127–131. https://doi.org/10.21829/azm.2006.2211967

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp] (2000). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún*. Conanp. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/celestun.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp] (2007). *Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos*. Conanp. https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/PYyCM/RB%20Ria%20Lagartos/2.-COMPONENTE%20CONTEXTO%20PLANEACION/10.-Recursos%20Culturales/PCM_RiaLagartos%20final-2007.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp] (2023). *Información espacial de las áreas naturales protegidas*. Conanp. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (1997). *Provincias biogeográficas de México*. Conabio. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/rbiog4mgw.html

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. Conabio. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2023). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. Conabio. https://www.snib.mx/

Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf

Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A., & Courchamp, F. (2021). Are the "100 of the world's worst" invasive species also the costliest? *Biological Invasions*, *24*(7), 1895–1904. https://doi.org/10.1007/s10530-021-02568-7

Degante-González, A. P., Tepatlán-Vargas, R., Ramírez-Utrera, A. L., Mora-Heredia, E., & Villegas-Patraca, R. (2018). Registro del capuchino tricolor (*Lonchura malacca*) en el

istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *89*(2), 582-586. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2036

De la Gala, J. R., & Plata, M. A. (2008). Ría Celestún. En E. Schüttler, & C. S. Karez (Eds.), *Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas* (pp. 235-237). Unesco. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

Donato, D. C., Boone, J., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, *4*(5), 293–297. https://doi.org/10.1038/ngeo1123

Espinoza-Avalos, J., Aguilar-Rosas, L. E., Aguilar-Rosas, R., Gómez-Poot, J. M., & Raigoza-Figueras, R. (2015). Presencia de Caulerpaceae (Chlorophyta) en la Península de Yucatán, México. *Botanical Sciences*, *93*(4), 845-854. https://doi.org/10.17129/botsci.160

Flota-Bañuelos, C., Candelaria-Martínez, B., Mejénes-López, S. M. A., Vázquez-May, L. A., Castillo-Sánchez, L., & López-Coba, E. (2018). Avifauna de áreas agropecuarias y de regeneración en Tizimín, Yucatán, México. *Agroproductividad*, *11*(6), 24-30. https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/422

Froese, R., & Pauly, D. (2023). *FishBase*. https://www.fishbase.org

Fundación Pedro y Elena Hernández (2018). *Monitoreo y conservación del flamenco del Caribe y su hábitat en cuatro áreas naturales protegidas de la península de Yucatán*. Conanp.

Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (2023). *IOC World Bird List* (v13.1).

https://doi.org/10.14344/IOC.ML.13.1

González-Sánchez, V. H., Johnson, J. D., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., DeSantis, D. L., & Wilson, L. D. (2017). The Herpetofauna of the Mexican Yucatan Peninsula: composition, distribution, and conservation status. *Mesoamerican herpetology*, *4*(2), 264-380.

González-Sánchez, V. H., Johnson, J. D., González-Solís, D., Fucsko, L. A., & Wilson, L. D. (2021). A review of the introduced herpetofauna of Mexico and Central America, with comments on the effects of invasive species and biosecurity methodology. *ZooKeys*, *1022*, 79-154. https://doi.org/10.3897/zookeys.1022.51422

Gorman, D. (2018). Historical Losses of Mangrove Systems in South America from Human-Induced and Natural Impacts. In C. Makowski, & C. W. Finkl (Eds.), *Threats to Mangrove Forests* (pp. 155-171). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_8

Guiry, M, D., & Guiry, G. M. (2023). *AlgaeBase*. National University of Galway. https://www.algaebase.org

Haubrock, P. J., Turbelin, A., Cuthbert, R. N., Novoa, A., Taylor, N. G., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Bodey, T. W., Capinha, C., Diagne, C., Essl, F., Golivets, M., Kirichenko, N., Kourantidou, M., Leroy, B., Renault, D., Verbrugge, L., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species across Europe. *NeoBiota*, *67*, 153–190. https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58196

Hughes, J., & Macdonald, D. W. (2013). A review of the interactions between free-roaming domestic dogs and wildlife. *Biological Conservation*, *157*, 341-351. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.005

Hulme, P. E. (2003). Biological invasions: winning the science battles but losing the conservation war? *Oryx*, *37*(2), 178–193. https://doi.org/10.1017/s003060530300036x

Hulme, P. E. (2006). Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. *Journal of Applied Ecology*, *43*(5), 835–847. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01227.x

Hulme, P. E. (2018). Protected land: Threat of invasive species. *Science*, *361*(6402), 561–562. https://doi.org/10.1126/science.aau3784

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2023). *Mapa digital de México*. Inegi.

https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/

Kantún, R. (2008). Ría Lagartos. En E. Schüttler, & C. S. Karez (Eds.), *Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias*

entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas (pp. 238-240). Unesco. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182768

Kluza, D. A. (1998). First Record of Shiny Cowbird (*Molothrus bonariensis*) in Yucatán, Mexico. *The Wilson Bulletin*, *110*(3), 129-130. https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/wilson/v110n03/p0429-p0430.pdf

Kumschick, S., Gaertner, M., Vilà, M., Essl, F., Jeschke, J. M., Pyšek, P., Ricciardi, A., Bacher, S., Blackburn, T. M., Dick, J. T. A., Evans, T., Hulme, P. E., Kühn, I., Mrugała, A., Pergl, J., Rabitsch, W., Richardson, D. M., Sendek, A., & Winter, M. (2014). Ecological Impacts of Alien Species: Quantification, scope, caveats, and recommendations. *BioScience*, *65*(1), 55–63. https://doi.org/10.1093/biosci/biu193

Leal, M., & Spalding, M. (2022). *The State of the World's Mangroves 2022*. Global Mangrove Alliance. https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2022/09/The-State-of-the-Worlds-Mangroves-Report_2022.pdf

Lessa, I., Guimarães, T. C. S., Bergallo, H. G., Cunha, A., & Vieira, E. M. (2016). Domestic dogs in protected areas: a threat to Brazilian mammals? *Natureza & Conservacao*, *14*(2), 46-56. https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.05.001

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., & De Poorter, M. (2004). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*. Grupo Especialista de Especies Invasoras de la Unión Mundial para la Naturaleza. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126-Es.pdf

Martínez, M. L., Castillo-Campos, G., García-Franco, J. G., Pérez-Maqueo, O., Mendoza-González, G., & Pale-Pale, J. (2021). Mexican Coastal dunes: recipients and donors of alien flora. *Diversity*, *13*(11), 530. https://doi.org/10.3390/d13110530

Moodley, D., Angulo, E., Cuthbert, R. N., Leung, B., Turbelin, A., Novoa, A., Kourantidou, M., Heringer, G., Haubrock, P. J., Renault, D., Robuchon, M., Fantle-Lepczyk, J., Courchamp, F., & Diagne, C. (2022). Surprisingly high economic costs of biological invasions in protected areas. *Biological Invasions*, *24*(7), 1995–2016. https://doi.org/10.1007/s10530-022-02732-7

Mella-Méndez, I. M., Flores-Peredo, R., Amaya-Espinel, J. D., Bolívar-Cimé, B., MacSwiney, M. C., & Martínez, A. J. (2022). Predation of wildlife by domestic cats in a neotropical city: a multi-factor issue. *Biological Invasions*, *24*(5), 1539-1551. https://doi.org/10.1007/s10530-022-02734-5

Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso de Estados Unidos [OTA] (1993). *Harmful Non-Indigenous Species in the United States*. Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso de Estados Unidos. https://ota.fas.org/reports/9325.pdf

Ordinola-Zapata, A., Siccha, Z. R., Castillo-Carrillo, P. S., & Luque, C. (2019). Identification by DNA barcode of invading fish in the mangrove of Tumbes (Peru). *Manglar*, *16*(2), 91–97. https://doi.org/10.17268/manglar.2019.013

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco] (2023). *World Network of Biosphere Reserves*. Unesco. https://en.unesco.org/biosphere/lac#Mexico

Ortega-Morales, A. I., Bond, G., Méndez-López, R., Garza-Hernández, J. A., Hernández-Triana, L. M., & Casas-Martínez, M. (2018). First record of invasive mosquito *Aedes albopictus* in Tabasco and Yucatan, Mexico. *Journal of The American Mosquito Control Association*, *34*(2), 120-123. https://doi.org/10.2987/18-6736.1

Ortiz-Medina, J. A., Peña-Peniche, A., & Chablé-Santos, J. (2022). Diversidad de anfibios y reptiles en cuatro tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, *5*(4), 16-32. https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.4.435

Parra-Tabla, V., Albor-Pinto, C., Tun-Garrido, J., Angulo, D. F., Barajas, C., Silveira, R., Ortiz-Díaz, J. J., & Arceo-Gómez, G. (2018). Spatial patterns of species diversity in sand dune plant communities in Yucatan, Mexico: Importance of invasive species for species dominance patterns. *Plant Ecology & Diversity*, *11*(2), 157-172. https://doi.org/10.1080/17550874.2018.1455232

Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J. E., Wightman, J. A., Simmonds, C., O'Connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J., Aquino, T., & Tsomondo, T. (2001). Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *84*(1), 1–20. https://doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00178-x

Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, *52*(3), 273–288. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP] (2023). *Decades of mangrove forest change: what does it mean for nature, people and the climate?* UNEP. https://www.unep.org/resources/report/decades-mangrove-forest-change-what-does-it-mean-nature-people-and-climate

Pronatura (2018). *Conservación de las Tortugas Marinas en la Playa Río Lagartos*. Pronatura Península de Yucatán - Conanp.

Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H. E., Seebens, H., …, Richardson, D. J. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, *95*(6), 1511–1534. https://doi.org/10.1111/brv.12627

Ramírez, J. (2014). *Mecanismos de dispersión y resistencia al ayuno en* Raoiella indica *Hirst (Acari: Tenuipalpidae)* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2239/1/Ramirez_Lopez_J_MC_Entomologia_Acarologia_2014.pdf

Ren, J., Chen, J., Xu, C., Van De Koppel, J., Thomsen, M. S., Qiu, S., Cheng, F., Song, W., Liu, Q., Xu, C., Bai, J., Zhang, Y., Cui, B., Bertness, M. D., Silliman, B. R., Li, B., & He, Q. (2021). An invasive species erodes the performance of coastal wetland protected areas. *Science Advances*, *7*(42). https://doi.org/10.1126/sciadv.abi8943

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2016). *Acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464456&fecha=07/12/2016#gsc.tab=0

Simberloff, D., Martin, J., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B. S., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Beja, P., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, *28*(1), 58–66. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013

Sistema Global de Información sobre Biodiversidad [GBIF] (2023). *GBIF Global Biodiversity Information Facility*. GBIF. https://www.gbif.org/

Taborsky, M. (1988). Kiwis and dog predation: observations at Waitangi state forest. *Notornis*, *35*(3), 197–202. https://www.behav.iee.unibe.ch/unibe/portal/fak_naturwis/d_dbio/b_ioekev/abt_be/content/e1010340/e1010392/e1012437/e1044378/e1210996/files1224848/Dog_predation_on_Kiwis_eng.pdf

Tapia, F. U., Herrera-Silveira, J. A., & Aguirre-Macedo, M. L. (2008). Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, *76*(2), 418-430. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.025

Tropicos (2023). *Tropicos v3.4.2*. Missouri Botanical Garden. https://tropicos.org

The Secretariat of the Convention on Wetlands (2023). *The List of Wetlands of International Importance*. The Secretariat of the Convention on Wetlands. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf

Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R., Reyes, F., & Hošek, J. (Eds.). (2023). *The Reptile Database*.

http://www.reptile-database.org

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN] (2000). *Guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species*. IUCNucn.

https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Rep-2000-051.pdf

Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments: At least 35% of the area of mangrove forests has been lost in the past two decades, losses that exceed those for tropical rain forests and coral reefs, two other well-known threatened environments, *BioScience*, *51*(10), 807–815. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2

Vásquez-Cruz, V., Reynoso-Martínez, A., Fuentes-Moreno, A., & Canseco-Márquez, L. (2020). The distribution of Cuban brown anoles, *Anolis sagrei* (Squamata: dactyloidae), in Mexico, with new records and comments on ecological interactions. *Reptiles & Amphibians*, *27*(1), 29-35. https://doi.org/10.17161/randa.v27i1.14442

Villa, J., Valdez, M. M., Novelo, L. M., & Cocom, C. E. (2013). *Diagnóstico fitosanitario de Raoiella indica en los estados de Quintana Roo y Yucatán*. Comisión Nacional Forestal. http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/Diagn%C3%B3stico%20Raoiella%20indica%20marzo%202013.pdf

Vitousek, P. M. (1990). Biological Invasions and Ecosystem Processes: Towards an integration of population biology and ecosystem studies. *Oikos*, *57*(1), 7. https://doi.org/10.2307/3565731

Wakida-Kusunoki, A. T., Cruz-Sánchez, J. L., & López-Téllez, N. A. (2021). A review of recent sightings and reports of the giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Decapoda: Penaeidae) on the Mexican coast of the Gulf of Mexico (2012-2019). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *56*(1), 83. https://doi.org/10.22370/rbmo.2021.56.1.2802

Wakida-Kusunoki, A. T., De Anda-Fuentes, D., & López-Téllez, N. A. (2016). Presence of giant tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) in eastern peninsula of Yucatan Coast, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *44*(1), 155-158. https://doi.org/10.3856/vol44-issue1-fulltext-16

Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (2005). *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference* (3a ed.). Johns Hopkins University Press. https://www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/

Wittenberg, R., & Cock, M. J. W. (2001). *Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices*. CAB International. https://www.cbd.int/doc/pa/tools/Invasive%20Alien%20Species%20Toolkit.pdf

WoRMS Editorial Board (2023). *World Register of Marine Species*. WoRMS Editorial Board. https://www.marinespecies.org

Young, J. K., Olson, K. A., Reading, R. P., Amgalanbaatar, S., & Berger, J. (2011). Is wildlife going to the dogs? Impacts of feral and free-roaming dogs on wildlife populations. *BioScience*, *61*(2), 125-132. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.2.7

Zaldívar, A., Herrera, J., Coronado, C., & Alonso, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la Reserva de Biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, *10*(3), 25-35. https://doi.org/10.21829/myb.2004.1031264

Ziller, S. R., De Sá, M., Duarte, R. A., Marquez, H., Souza, M., Da Silva, L. F., Mello, B. C., & Zenni, R. D. (2020). A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. *NeoBiota*, *62*, 591–606. https://doi.org/10.3897/neobiota.62.52633

Manuscrito recibido el 16 de agosto de 2023

Aceptado el 10 de enero de 2024

Publicado el 20 de junio de 2024

Este documento se debe citar como:

Rendón-Hernández, E., Ayala-Pérez, L. A., Golubov, J., & Torres-Lara, R. (2024). Especies exóticas invasoras y sus implicaciones sobre los bosques de manglar en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos. *Madera y Bosques, 30*(4), e3042627. https://doi.org/10.21829/myb.2024.3042627

Madera y Bosques, por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.

A peer-reviewed open-access journal
NeoBiota
Advancing research on alien species and biological invasions

NeoBiota 102: 295–312 (2025)
DOI: 10.3897/neobiota.102.152015

Short Communication

Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors

Chiara Magliozzi[1], Ana Cristina Cardoso[1], Eugenio Gervasini[1], Beatrice Melone[2], Elisa Chiara Bizzotto[3], Giuseppe Brundu[4,5], Francesca Cagnacci[5,6], Emma Cebrian[7], Tim Adriaens[8], Maria Helena Alves[9], Cátia Bartilotti[10,11], Lucilla Carnevali[12], Sofia Duarte[13,14], Quentin Groom[15], Raquel Martins Queiroga[16], Sofie Meeus[15], Ana Luisa Nunes[17], Cristina Preda[18], Eduardo Rendón-Hernández[19], Samuel Vanden Abeele[15,20], Riccardo Scalera[21], Maarten P. M. Vanhove[22], Nuno Vaz Álvaro[23]

1 *European Commission, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy*
2 *FINCONS SPA – Via Torri Bianche 10 – Pal. Betulla, 20871 Vimercate (MB), Italy*
3 *Fondazione Università Ca' Foscari, Santa Croce 507, 30135 Venezia, 30123, Italy*
4 *Department of Agricultural Sciences, University of Sassari, Sassari, Italy*
5 *Animal Ecology Unit, Research and Innovation Centre, Fondazione Edmund Mach, Trento, Italy*
6 *National Biodiversity Future Centre, Palermo, Italy*
7 *Centre d'Estudis Avançats de Blanes, CSIC, Accés Cala Sant Francesc 14, 17300, Blanes, Girona, Spain*
8 *Research Institute for Nature and Forest (INBO), Brussels, Belgium*
9 *Tagus and West River Basin District Administration, Lisbon, Portugal*
10 *IPMA – Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, I.P., Av. Alfredo Magalhães Ramalho 6, 1495-165 Algés, Portugal*
11 *MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, ARNET – Aquatic Research Network Associate Laboratory, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2829-516, Caparica, Portugal*
12 *ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Italy*
13 *Centre of Molecular and Environmental Biology (CBMA) and ARNET-Aquatic Research Network, Department of Biology, University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal*
14 *Institute of Science and Innovation for Bio-Sustainability (IB-S), University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal*
15 *Meise Botanic Garden, Nieuwelaan 38, 1860 Meise, Belgium*
16 *Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, I.P., Av. Alfredo Magalhães Ramalho 6,1495-165 Algés, Portugal*
17 *IUCN, Biodiversity Assessment and Knowledge Team, Cambridge, UK*
18 *Department of Natural Sciences, Ovidius University of Constanta, Constanta, Romania*
19 *Applied Ecology Laboratory, Metropolitan Autonomous University – Xochimilco, Mexico City, Mexico*
20 *Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Vautierstraat 29, 1000 Brussels, Belgium*
21 *Roma Tre University – Department of Science, Viale Guglielmo Marconi, 446, Rome, Italy*
22 *Research Group Zoology: Biodiversity & Toxicology, Centre for Environmental Sciences, Hasselt University, Diepenbeek, Belgium*
23 *Universidade dos Açores, Instituto de Investigação e Tecnologias Agrárias e do Ambiente, Angra do Heroísmo, Portugal*
Corresponding author: Chiara Magliozzi (chiara.magliozzi@ec.europa.eu)

OPEN ACCESS

Academic editor: Filipe Ribeiro
Received: 4 March 2025
Accepted: 23 June 2025
Published: 7 October 2025

Copyright: © Chiara Magliozzi et al.
This is an open access article distributed under terms of the Creative Commons Attribution License (Attribution 4.0 International – CC BY 4.0).

Abstract

Invasive alien species (IAS) affect various policy sectors, including environment, trade, and agriculture. In Europe, each of these sectors is usually regulated under different European Union legislation, but IAS is not prioritised in most sectors, and this may hinder effective tackling of biological invasions. Greater policy coherence is needed to align relevant sectors for better management of biological invasions. Engaging policymakers by sharing information on IAS impacts can help them understand the multisectoral nature of the problem and develop effective strategies.

We reviewed 602 IAS in Europe, impacting nine policy sectors and 25 domains (i.e. specific policies within a broader policy sector, each addressing particular issues and activities related to that sector portfolio). Findings were presented at the NeoBiota workshop in Lisbon on the 3rd of September

Citation: Magliozzi C, Cardoso AC, Gervasini E, Melone B, Bizzotto EC, Brundu G, Cagnacci F, Cebrian E, Adriaens T, Alves MH, Bartilotti C, Carnevali L, Duarte S, Groom Q, Queiroga RM, Meeus S, Nunes AL, Preda C, Rendón-Hernández E, Vanden Abeele S, Scalera R, Vanhove MPM, Álvaro NV (2025) Aligning EU policies to address biological invasions: assessing invasion impacts across sectors. In: Anastácio P, Ribeiro F, Chainho P (Eds) Invasions in Aquatic Systems. NeoBiota 102: 295–312. https://doi.org/10.3897/neobiota.102.152015

2024, attended by 54 participants, including policymakers and researchers. The workshop featured presentations and interactive sessions where participants tested the review methodology on 49 species, identifying areas for improvement, such as assessing impact scale and refining sector domains. Confusion matrices showed moderate to substantial agreement between organisers and participants in evaluating affected domains, types of impact, and confidence levels.

This study shows the crucial need for interaction and synergy between research and policy, which are essential for tackling effectively IAS in Europe.

Key words: Biodiversity, impact, invasive alien species, policy domains, workshop

Introduction

Invasive alien species (IAS) impact multiple policy sectors and the related activities, requiring effective and coordinated management. These impacts can be perceived as negative or positive and span across environment, economy and human health (Havel et al. 2015; Mollot et al. 2017; Katsanevakis et al. 2018; Fleming et al. 2023; IPBES 2023). These sectors are regulated under European Union legislation (i.e. addressing all Member States) that may however not fully address biological invasions (COM (2021) 628 final). In this study, we refer to "policy sectors" as areas of European public policy that are clearly defined by the issues and activities they address (e.g. agriculture, fisheries) and to "domains" as the specific policies related to that sector issues and activities portfolio (e.g. forestry, soil, aquaculture) (Table 1). These policy sectors may encompass broader governance and regulatory aspects that go beyond the economic activities of a sector. Therefore, while these policy sectors can include economic sectors by addressing the broader context in which these economic activities occur, the focus of this study does not include monetary assessment.

Access to sector-wide scientific assessments of IAS impacts is limited and hindered by lack of comprehensive linkages to affected domains (Table 1). This is likely due to the limited attention given to the prioritization of IAS in sectors other than biodiversity, resulting in lack of unifying metrics for assessing their impact. As a result, clear and usable sector-wide information on IAS impacts would help to explicitly consider policy trade-offs, improving coherence and policies coordination for IAS prevention and control (Bray et al. 2024).

Negative impacts of IAS extend across terrestrial, freshwater, and marine environments. Research has increasingly highlighted the effects of IAS on biodiversity (Pyšek et al. 2020), i.e., on native species, community diversity (Çinar et al. 2014), and on ecosystem services (Gallardo et al. 2024). In recent years, several studies have also shown that IAS can cause substantial economic losses (Cannarozzi et al. 2023) and management costs (€116.61 billion in Europe, Haubrock et al. 2021), which can be linked to sector-specific impacts. Costs and benefits can span across multiple sectors and may not necessarily balance each other out (Carneiro et al. 2024). These encompass, for example, animal and human health (Shackleton et al. 2019a; Chinchio et al. 2020; Roy et al. 2022; EFSA 2023), water resources (Watts and Moore 2011; Lamb et al. 2021), energy systems (Booy et al. 2017), transportation systems (Nyumba et al. 2021; Vanderbush et al. 2021), forest and grassland (Rojas-Sandoval et al. 2022), and indigenous people (Pfeiffer and Voeks 2008; Pretty Paint-Small 2013; Shackleton et al. 2019b). Furthermore, research has also demonstrated that IAS can provide benefits to human well-be-

Table 1. Policy sectors and sector domains considered in this study. Columns represent categories of policy interest regulated by European legislation considered as thematic areas to which the impact of IAS can be attributed, considering physical, chemical, biological and functional characteristics (e.g., soil) or policy initiatives (e.g., nature protection and restoration). '*' indicates domains identified during the workshop. For biodiversity specifically, impacts on biodiversity components are not further refined, and all impacts on biodiversity are grouped into the "nature protection and restoration" domain.

Main policy sectors	*Sector domains*	*Description of areas covered by the domain*
Agriculture and Rural development (AGRI)	Agriculture	Crop production, livestock, agricultural ecosystems
	Soil	Soil quality, structure, nutrient cycling
	Forestry	Forest health, tree species' diversity, timber production
Mobility and Transport (**TRANSPORT**)	Security and safety	Risks to transport and infrastructures safety through physical obstructions and hazards
	Infrastructures (road, rails, canals)	Integrity and maintenance of transport infrastructures
	Inland waters (related to transport)	Navigability and ecosystems' health
	Maritime (Port)*	Port operation, ships hulls and marine logistics
Energy, Climate change, Environment (**ENERGY**)	Security (in terms of production and supply)*	Disruption to energy supply chains and production facilities
	Efficiency (relates to energy consumption, therefore IAS impact which causes increased use of energy, etc.) *	Energy consumption including increased demand for control measures
	Renewable energy (IAS invading/damaging canals/plants, etc.)	Renewable energy infrastructure such as hydroelectric plants and solar fields
Health and Food Safety (**SANTE**)	Animal health	Livestock health and veterinary biosecurity
	Plant health	Crops' health, plants biosecurity, agricultural biodiversity
	Food and feed safety (contamination, allergens, pathogens, seeds, toxins, etc.)	Contamination of food and feed supply
	Human health	Allergens, diseases, physical injuries
Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (**GROW**)	Industry (affecting business competitiveness, growth and resilience, e.g. Coronavirus, etc.)	Competitiveness and resilience
	Small and Medium Enterprises (SMEs)	Operations and market access
	Internal market/trade	Trade regulations, market stability, cross-border commerce
Directorate-General Climate Action (**CLIMA**)	Greenhouse Gas emissions (IAS which may increase gas emissions)	Greenhouse gas emissions through ecosystem changes
Energy, Climate change, Environment **(Environment)**	Clean water (water quality)	Water quality and availability in freshwater ecosystems
	Marine environmental status	Marine biodiversity and ecosystem health
	Nature protection and restoration (all biodiversity related impacts) (NPR)	Natural habitats, biodiversity, conservation efforts
Maritime affairs and fisheries (**MARE**)	Fisheries (including freshwaters)	Fish populations, habitats, fishing industries
	Aquaculture	Aquaculture practices and production
	New bio industries*	Opportunities and challenges in emerging biological industries
	Energy (energy consumption)	Energy use within marine and fisheries sectors
	Tourism	Tourism activities, attractions, natural landscapes
Regional and Urban Policy **(REGIO)**	Urban areas/regions	Urban environments, infrastructures, and community well-being

ing, thus suggesting a multifaceted dimension of their impacts. Positive impacts may encompass provisioning services (food, medicines, bioenergy, and construction materials), regulating services (bio-agent control, bioremediation and shade provision), cultural services (aesthetic and ornamental values), and supporting services (soil and land reclamation through eco-restoration) (Katsanevakis et al. 2014; Cerveira et al. 2022; Barcellos et al. 2023; Marchessaux et al. 2023; Boadie-Ampong et al. 2024). While researchers investigated the impacts of IAS, im-

portant gaps remain in linking the comprehensive assessment of IAS impacts to policy sectors and domains.

Protocols used in the framework of the EU Regulation 1143/2014 on IAS do consider current and future impacts on provisioning, regulating and cultural services as well as impacts on human health, safety and the economy (Commission Delegated Regulation (EU) 2018/968 of 30 April 2018, Art 5(1)(f)). Yet, these impacts are described rather qualitatively, considered as aggravating factors and do not match the need to mobilise available information linking impacts across different policy sectors. The pioneering efforts of the InvaCost database provide an initial quantification of the economic impacts of biological invasions (Diagne et al. 2020), offering a foundational assessment of the financial burdens imposed by IAS across various sectors (Turbelin et al. 2024). To address the inherent challenges in evaluating these impacts, there is a pressing need for a standardised framework that includes consistent sectoral definitions and metrics. This would enhance the interoperability of impact assessments across different sectors, facilitating more coherent and comprehensive analyses.

The European Union's regulatory framework plays a crucial role in addressing the complex and cross-sectoral issue of biological invasions. While specific regulations, such as the EU IAS Regulation (1143/2014/EU), the Plant Health (2016/2031/EU) and the Animal Health legislation (2016/429/EU), set out the obligations for preventing and managing IAS, the effects of biological invasions are far-reaching and impact various other sectors that are governed by EU legislation, but which do not explicitly address IAS. In this complex landscape, several policies often guide decisions on different aspects of the same topic, while each individual policy may tackle more than one challenge (e.g. biodiversity loss, water quality, protection of livelihood), highlighting the need for a coordinated and coherent approach. One example of such complexity is the case of *Robinia pseudoacacia*. In the phytosanitary sector, efforts are made to eradicate this species due to its invasive nature. However, contrasting policies exist where subsidies are provided to encourage its planting to support bees and honey production. This contradiction underscores the necessity for coherence and alignment across policy areas to effectively manage biological invasions. By recognising and addressing these overlaps and mismatches, the EU can develop more integrated and effective strategies to manage IAS and their impacts across different sectors. Therefore, effective policy making to address the complex topic of biological invasions requires a comprehensive understanding of the entangled relationships between various policy sectors, and the issues and activities managed, grounded in a strong scientific base (IPBES 2023).

To this end, the European Alien Species Information Network (EASIN) of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission has collected qualitative information on the positive and negative impacts of 602 IAS on 9 policy sectors and 27 sector domains in Europe (Suppl. material 1). This first compilation of impacts across sectorial domains (herein after primary assessment) aims at facilitating the exchange of information among policymakers and scientists, and between those active in different policy sectors and sector domains, and to identify gaps and challenges e.g. which sectors would benefit from more explicit inclusion of IAS to mitigate their impacts, or defining tailored biosecurity plans that address specific sectors, promoting a more effective and sustainable management of IAS. The preliminary results of this review were presented and discussed with international experts at the NeoBiota workshop in Lisbon on the 3rd of September 2024,

to agree on methodology, and identify areas for improvement. The main aim of the workshop was to provide the scientific community and authorities' representatives, with an overview of the data compiled, to test the methodology on a subset of information to gain an understanding of the suitability of the approach, and any potential application difficulties. In the following sections, we provide a summary of the primary assessment and highlight the main outcomes of the workshop.

Primary assessment

A sample of 602 IAS was extracted from the EASIN Catalogue. The selection of the IAS considered plant and animal species across freshwater, terrestrial, and marine environments, and was based on their impact as identified from several data sources. For these species, data on impacts were extracted from both scientific and grey literature, using the Web of Science, Scopus, Google Scholar, and Google, which were accessed in June 2024. The following keywords were entered into the search engines: "impact* of [species name] on [domain], OR "effect* of [species name] on [domain]", OR "influence* of [species name] on [domain]" OR "species [name] and [domain] impact*", "how [species name] affect* [domain]", OR "effect* of [species name] on [domain]", OR "influence* of [species name] on [domain]", OR "[species name] and [domain] interaction*". Based on this review positive and/or negative impacts of species across 27 sector domains (Table 1) were assessed by a team of eight experts with taxonomic and ecological expertise (i.e. primary assessment). This assessment focused solely on impacts in invaded ranges within Europe. However, in case of a lack of literature to support impact in Europe, references from other areas were also considered. For species partly native in Europe, impacts from the native range area were not considered. A two-step process was adopted. Initially, several hundred IAS were assessed by four experts. Subsequently, these IAS were reviewed by other four experts to identify discrepancies and ensure a consistent understanding of the domains and assessment protocol. The assessment then proceeded to complete the evaluation of all 602 IAS.

A confidence level (Suppl. material 1: Table S1) was assigned to each species' impact using a framework that considers the nature, coverage, quality and consistency of evidence (Suppl. material 1: Table S1) of the highest (negative or positive) reported impact. Positive and negative impacts can be documented for the same species within the same domain or across different domains (Table 2).

Table 2. Definitions of impact types, i.e. negative and positive, modified from Vimercati et al. (2022). DD refers to data deficient information.

Impact type	Definition
negative	A decrease in a policy sector attribute, value-free (i.e. not influenced by human ethical values) driven by IAS. Negative impacts are reported considering the availability of relevant studies in a policy sector. E.g. *Halyomorpha halys* in agriculture: damaging a wide variety of crops, including fruits, vegetables, and ornamentals. The stink bug feeds on plant tissues, leading to blemishes on fruits and vegetables, which can render them unmarketable. This feeding can also cause deformation and premature fruit drop.
positive	An increase in a policy sector attribute, value-free (i.e. not influenced by human ethical values) driven by IAS. Positive impacts are reported considering the availability of relevant studies in a policy sector. E.g. *Bonnemaisonia hamifera* as a feed supplement for dairy cows. The algae contains bioactive compounds that have the potential to reduce methane emissions during enteric fermentation, a natural digestive process in ruminants that produces methane as a byproduct.
DD	No information to classify the species with respect to its impact, or insufficient time has elapsed since its introduction for impacts to have become apparent.

The selected IAS are reported as having an impact from several data sources, i.e. DAISIE, CABI, GISD, NOBANIS (EASIN protocol). Specifically for species of Union concern under the EU Regulation 1143/2014, the impact is supported by in-depth assessments of experts considering species' negative effects on: i) biodiversity, ii) ecosystem services, iii) economic, and iv) social and human health, following a procedure laid down by Commission Delegated Regulation (EU) 2018/968, outlining minimum standards for risk assessment (Roy et al. 2018).

Impact results

"Nature Protection and Restoration" was the domain most impacted by IAS across policy sectors, with over 300 impacting IAS (Fig. 1). This domain encompasses all types of impacts on biodiversity (e.g. predation, competition for resources, parasitism, etc.). It is followed by Agriculture, Plant Health, Animal Health and Human Health (>100 IAS, Fig. 1). The intersection of these domains and impacting IAS (Fig. 2), shows that Plant Health and Agriculture share the highest number of IAS (>70 IAS), and that approximately thirty IAS are common to all five domains (Fig. 2). Nature Protection and Restoration has a distinct set of 51 IAS that impact on biodiversity (Fig. 2). Fewer than twenty species are unique to each of the Plant, Animal and Human domains respectively (Fig. 2).

The highest number of IAS plants and animals assessed was terrestrial; marine species were the least considered (Suppl. material 1: Fig. S1a). Thirty-one species showed overlap between environments (Suppl. material 1: Fig. S1b).

These domains are characterised by a high confidence in their assessment, thus suggesting robust scientific evidence to support the findings (Fig. 3).

Fig. 3 shows IAS with positive and negative impacts on the same sector. For example, *Ambrosia trifida* is one of the most difficult weeds to manage in many

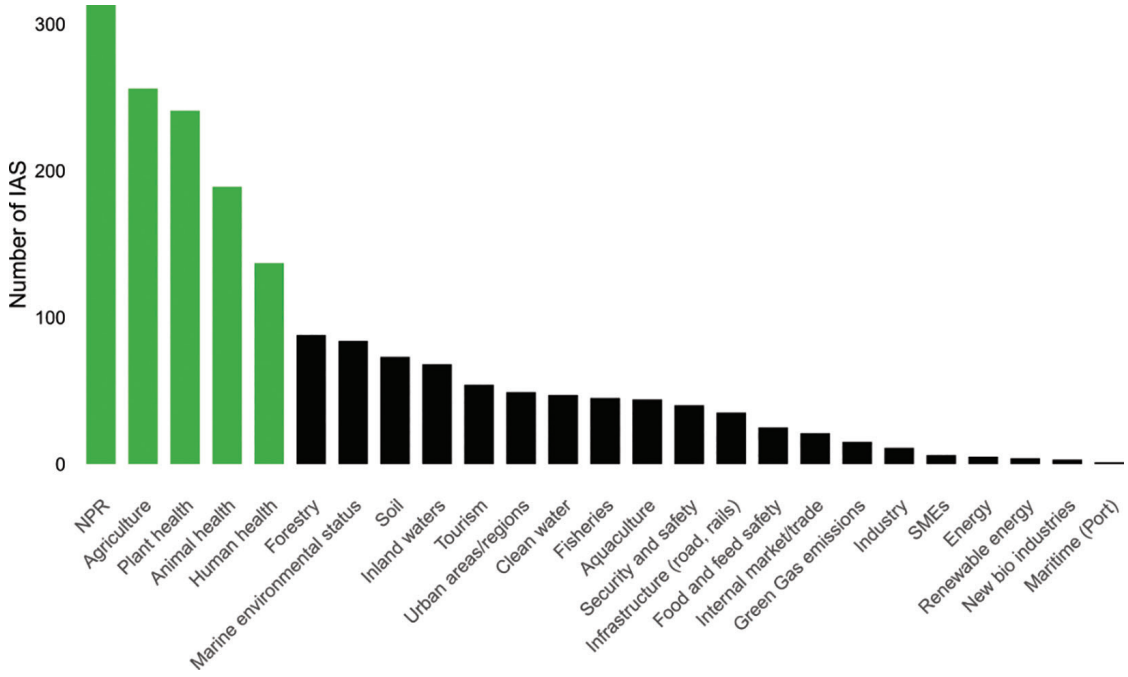


Figure 1. Number of IAS impacting across sectorial domains. Green bars indicate domains with the highest number of impacting IAS (both negative and positive). 'NPR' and 'SMEs' refer to Nature Protection and Restoration and Small and Medium Enterprises respectively (see Table 1 for details).

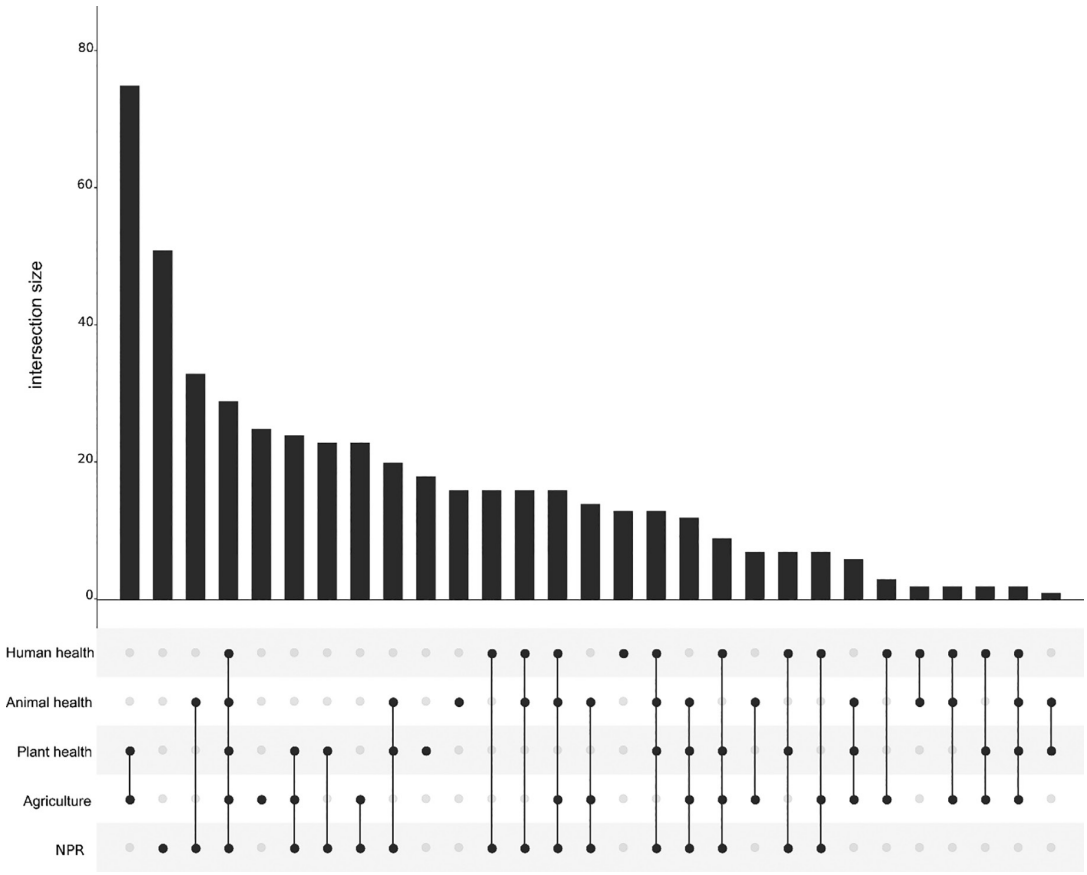


Figure 2. Intersections between the most impacted domains (>100 IAS) i.e., Nature Protection and Restoration ("NPR"), Agriculture, Plant, Animal and Human Health. Number of IAS that are common or unique to domains ('intersection size') as indicated by bottom matrix, which links the domains sharing the same species. 'NPR' and 'SMEs' refer to Nature Protection and Restoration and Small and Medium Enterprises respectively. Upset plot generated using "UpsetR" package (Conway et al. 2017).

countries, resistant to herbicides, and a competitor with crops for light, moisture, and nutrients (Liebman et al. 2020; Kato-Noguchi and Kato 2024). However, it yields considerable amounts of forage of high nutritive value (Bassett et al. 1982; Chauvel et al. 2021) and could be used for phytoremediation and phytostabilisation (Kang et al. 1998).

Negative impacts were by far more prevalent than positive impacts, the latter constituting about 10% to 16% respectively for plants and animals (Fig. 4a, b). However, differences across environments were apparent. For example, animals had a similar percentage of negative impacts on freshwater and terrestrial environments (47.03% vs. 40.17%), whilst plants especially impacted terrestrial environments (76.3%) (Fig. 4a, b). This difference is primarily related to the inherent characteristics of animal and plant taxa. Many animals, such as *Myocastor coypus*, have life cycles that allow them to occupy multiple habitats, leading to a more balanced impact across freshwater and terrestrial environments. In contrast, plants tend to have more localised impacts, predominantly affecting the specific environments they inhabit (e.g. *Acacia dealbata*). This is further influenced by the selection of plant species in our analysis, where we included 215 terrestrial species (including 3 species adapted to muddy floodplains and wet areas, e.g. *Gymnocoronis spilanthoides*) and 38 species exclusive to freshwater environments, and 16 marine IAS. This selection contributes to the observed skew towards terrestrial impacts for plants.

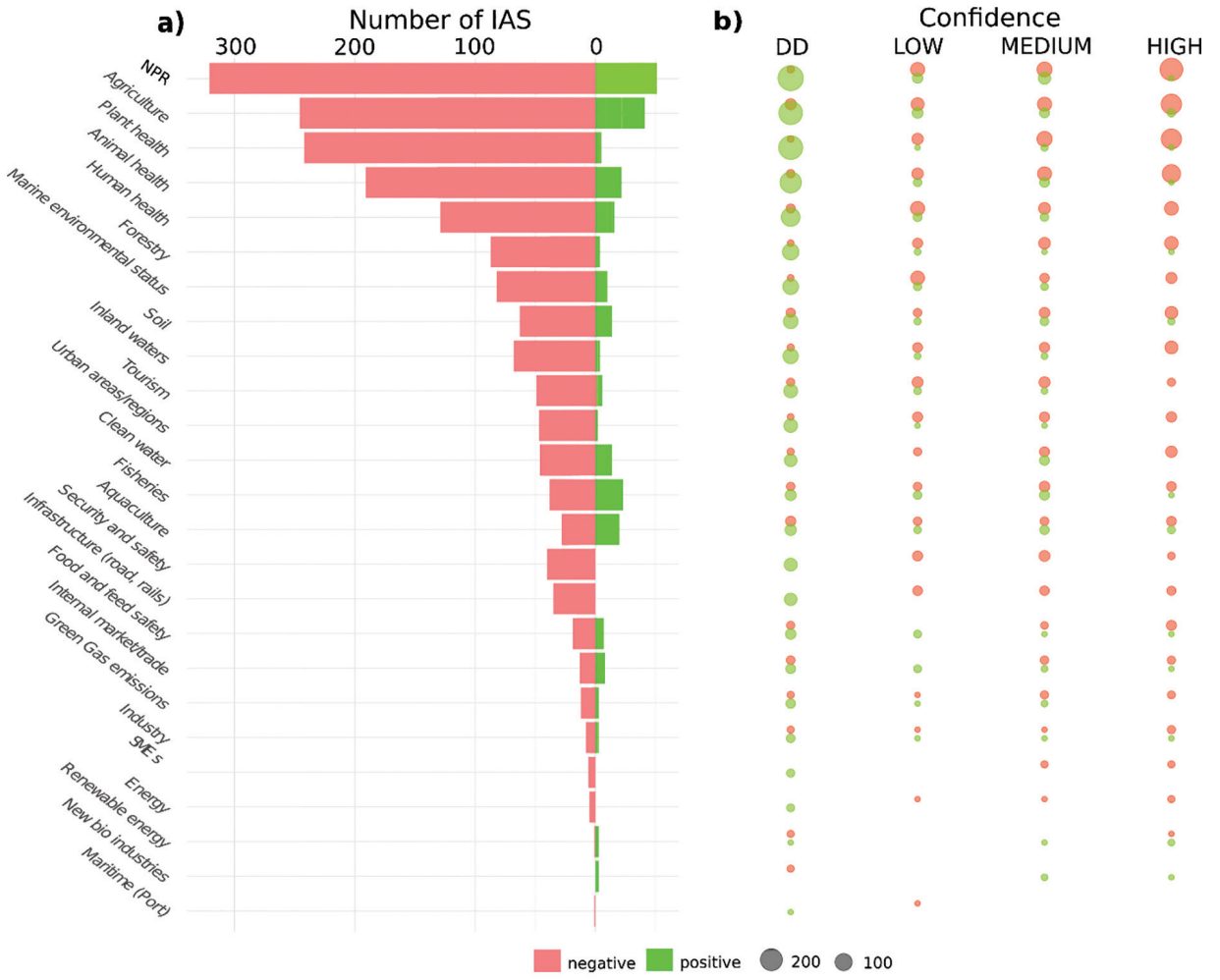


Figure 3. a. Number of IAS that were assessed as impacting negatively and/or positively each sector domain. No impacts were identified for the 'Security' and 'Efficiency' sector domains; **b.** Bubble plot of the distribution of confidence levels for negative and positive impacts across sector domains. The size of each bubble represents the number of IAS that display the corresponding confidence level and impact. DD = data deficient.

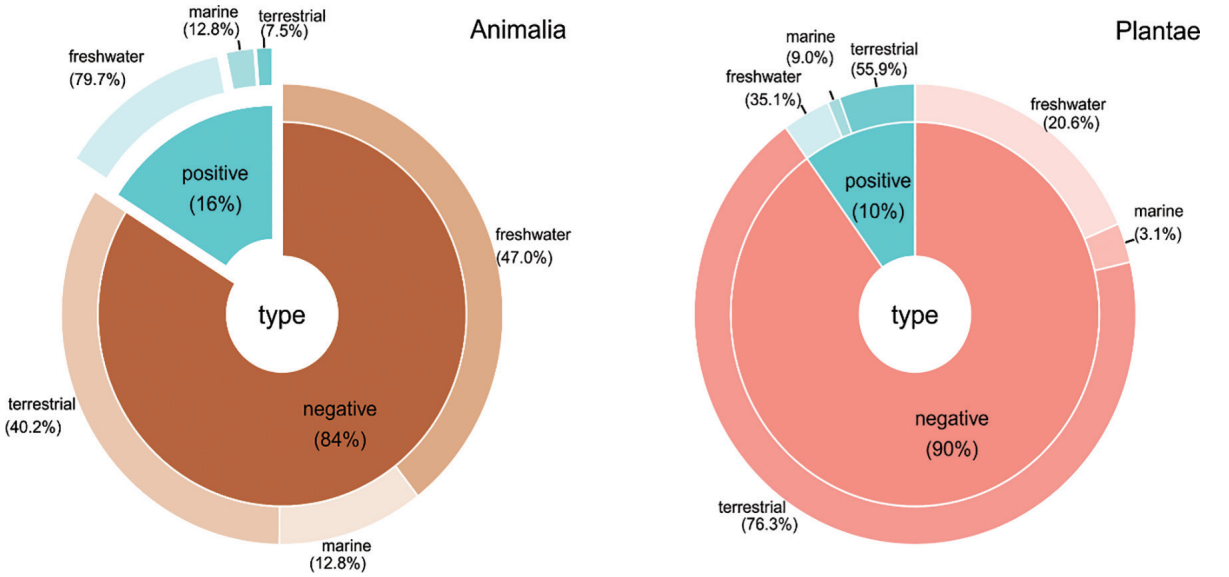


Figure 4. Distribution of impact types across environments: a) Pie-donut chart for Animals (N = 319 IAS) combining positive and negative impacts on freshwater, marine and terrestrial environments. b) Pie-donut chart for Plants (N = 269 IAS) combining positive and negative impacts on freshwater, marine and terrestrial environments.

Workshop

Focus groups

The workshop hosted 54 participants, including representatives from Member State Competent Authorities, experts and researchers. The results of the primary assessment done by EASIN based on the literature review were presented to the participants outlining the aims of the workshop and levelling the understanding of IAS impacts. Following this, nine six-member focus groups applied the review methodology to a subset of 49 IAS (about 5 IAS per group) across environments (Suppl. material 1). These species had already been evaluated in the primary assessment. The groups' work aimed at defining assigned species' primary assessment and to discuss and report on difficulties they encountered in assessing the impacts on the specific policy sector domains, based on the scientific evidence provided. The facilitators presented the participants with an online Google form for compiling the assessment and a guidance per IAS (Suppl. material 1). This guidance contained definitions of types of impact and confidence levels, including excerpts of published texts for each species, which were used in the primary assessment, to help participants in their evaluation. Participants were bound for their evaluation to the information that was provided for each species. The participants within a group collaborated to assess the species. Each of them reviewed the sources, using printed copies of the assessment guidance provided, and reached a consensus for the final evaluation. Consequently, each group completed the Google form once. The assessments from the focus groups were immediately processed for analysis and the results were reported back to the plenary to validate the results and ask for additional inputs.

Outcomes

The EASIN primary assessment identified 23 domains on the subset of 49 IAS, compared to the 27 domains identified by workshop participants (Suppl. material 1: Fig. S2). Four new domains impacted either negatively or positively by these IAS were identified: Maritime (Port) including inland (e.g., for *Asparagopsis armata*, *Myriophyllum aquaticum*, *Styela clava*), New Bio Industries (e.g., for *Asparagopsis armata*, *Arundo donax*, *Corbicula fluminea*, *Metapenaeus stebbingi*, *Grateloupia turuturu*), Energy and security (e.g., *Castor canadensis*, *Arundo donax*, *Myriophyllum aquaticum*, *Neltuma juliflora*, *Eucalyptus camaldulensis*), and Energy efficiency (e.g., *Corbicula fluminea*, *Myriophyllum aquaticum*, *Ctenopharyngodon idella*, *Styela clava*). These new domains either replaced proposed ones or were added. For example, the marine red alga *Asparagopsis armata*, initially assessed as impacting the "Marine Environmental Status" domain, was instead indicated as impacting "Maritime (Port)". For other species, such as the Asian clam, *Corbicula fluminea*, participants also identified additional impacted domains. Unlike the EASIN primary assessment, which identified 27/49 species with both positive and negative impacts, workshop participants identified 24 species, with a greater disparity between negative and positive impacts (Suppl. material 1: Fig. S3). One possible explanation for this discrepancy could be the limited time and training available to participants during the workshop, which might have influenced their ability to fully consider and evaluate both types of impacts. Additionally, experience bias may have played a role, as participants might have been more influenced by their personal experiences or prevailing narratives, leading to a skewed perception of the impacts.

Confusion matrices and Cohen's Kappa (Cohen 1960) were used to evaluate agreement between the primary assessment and workshop participants for each IAS, sector domain, impact type, and confidence level (Table 3a–c). The results indicated moderate ($0.41 < \varkappa < 0.60$) to substantial ($0.61 < \varkappa < 0.80$) agreement across all areas (Landis and Koch 1977), suggesting an overall good consistency.

Discussions insights

Participants highlighted key challenges in assigning IAS impacts on policy sectors and domains, underlining the need for continued research, collaboration, and the development of more refined tools for cross-sectoral assessments of IAS impacts. Furthermore, three main issues were raised by participants:

First, the scale of impacts. Participants noted the uncertainty in the assigned impacts due to geographical scale. The impacts can vary significantly depending on regional, ecological, economic, and social contexts, necessitating a more nuanced approach that considers geographical and contextual differences. A case in point is *Codium fragile* subsp. *fragile*, commonly known as green sea fingers, which has been found to impact *Fucus serratus*, another seaweed species, but only on the southwest coast of Norway, where a specific study was conducted (Armitage et. al 2014). This geographical variability in impacts poses a significant challenge in developing coherent European policies and management strategies. As a result, it is recommended that the assessment specifies the geographical areas where this impact has been recorded. Furthermore, the lack of empirical evidence for certain species in natural environments presents a substantial challenge, particularly for species assessed to have significant impacts in areas such as agricultural pest

Table 3. Cohen's Kappa per sector domain, impact type and confidence level (for positive and negative impact types). Numbers show the detailed classification results of the primary assignment and workshop participants on the IAS subset (49 IAS) across domains, negative and positive impacts and related confidence levels.

a) Sector domain			
Kappa	54%		
Proportion of observed agreement	80%		
Proportion of agreements expected by chance	55%		
b) Impact type			
	Negative		**Positive**
Kappa	60%		71%
Proportion of observed agreement	79%		90%
Proportion of agreements expected by chance	49%		65%
c) Confidence level			
NEGATIVE	**High**	**Medium**	**Low**
Kappa	63%	57%	61%
Proportion of observed agreement	81%	78%	86%
Proportion of agreements expected by chance	49%	50%	66%
POSITIVE	**High**	**Medium**	**Low**
Kappa	80%	59%	69%
Proportion of observed agreement	97%	84%	90%
Proportion of agreements expected by chance	85%	60%	67%

management and biodiversity. The existing literature tends to focus on mitigating specific impacts, while future research should explore the underlying mechanisms driving these impacts.

Second, considering positive and negative impacts of a species in its native environment. For example, *Misgurnus anguillicaudatus*, the dojo loach, can have a positive effect on rice cultivation, by potentially controlling pests and weeds (Clavero et al. 2015). It serves as an important food source for many aquatic birds, including herons, gulls, ducks, and waders (Clavero et al. 2015). However, the high availability of the dojo loach in rice fields can trigger hyper-predation processes, driving the decline of native taxa (Clavero et al. 2015). Finally, *M. anguillicaudatus* is a high-demand species for aquaculture in several East Asian countries (Yan et al. 2017). This example highlights the complex and multifaceted nature of ecological interactions, emphasising the need for a comprehensive understanding of these impacts. The goal is to ensure that management decisions are informed by a balanced view of all potential outcomes, thereby promoting sustainable ecological practices.

Participants also raised concern over the challenge of assigning confidence levels to impacts, especially when existing evidence is biased. Future research plays a key role in impact evaluation and to provide information for balancing positive and negative impacts of IAS. To this end, the consensus on how to consider confidence is fundamental, and should be aligned with the robustness of collected evidence, to stress the need for selecting robust references across geographical areas. Participants also highlighted the importance of including independent sources (e.g. multiple, unbiased entities), even if they refer to single study cases, particularly for emerging pests.

Third, refining the sectorial domains categories would enable a more nuanced understanding of IAS impacts. For example, *Corbicula fluminea*, a species that has been included in the categories "Nature Protection and Restoration" and "Industry", has more specific impacts, including biofouling and effects on power generation and water treatment industries (NNSS 2015). Workshop participants suggested that refining the sectoral domain categories with subdivisions would better link the impacts of IAS to the relevant domains. For example, the broad domain of 'Nature Protection and Restoration' could be divided into subcategories, thereby allowing the leveraging of existing work on biodiversity impacts, e.g. the EICAT framework (Blackburn et al. 2014; Hawkins et al. 2015).

These three groups of recommendations were prioritised for action, considering future developments of the primary assessment in a policymaking context.

Conclusions

This study has highlighted gaps and opportunities in the current understanding and assessment of IAS impacts across policy sectors and domains.

The impact assessment approach requires acknowledging the complexity of evaluating diverse impacts across numerous sectoral domains. The foundational methodology applied reflects a necessary simplification to effectively manage this complexity. However, integrating semi-quantitative metrics could significantly enhance the interoperability of impact assessments across sectors. Future research can achieve greater consistency and comparability, enhancing the utility of economic data for decision-making and policy development. This work will build upon the foundation established by the economic data contained in the InvaCost database, and support the integration of monetary evaluations from European General Di-

rectorates, responsible for policy development and implementation. The ultimate aim is to enhance the comparability and interoperability of impact assessments across regulated sectors.

The primary assessment is intended to address these gaps and be regularly updated through the EASIN network, which will provide open and free access to IAS impacts through its web tools. This initiative offers an opportunity to inform policy to tackle more efficiently biological invasions. Within the context of the JRC EASIN, the assessment serves as a foundational resource for facilitating the exchange of critical information between policymakers and scientists and liaise with economic data on impacts (e.g. InvaPact).

A future direction could consider addressing spatial granularity of the primary assessment. While the current approach presents precautionary scenarios for each species, i.e. highest confidence for worst and best impacts, there is an increasing knowledge linking different impacts in various locations or even in the same location over time, influenced by rapid traits changes, driven by environmental and socio-economic context.

In addressing the impacts of IAS, it is crucial to understand and manage IAS impacts to sector domains, in a more integrated way. Assessments that consider impacts of IAS in multiple domains are essential for prioritising species in the broader policy context. This is true also within the environmental sector where different biodiversity initiatives are conducted, such as species protection and habitats restoration, ensuring more effective allocation of resources. This will allow users to link this information to repositories storing costs for IAS management, direct and indirect damages (e.g. InvaCost – Diagne et al. 2000, LIFE projects, Interreg). To this end, the InvaCost database has revealed significant gaps in research efforts, particularly in high-income regions and on certain taxa, such as animals, while often overlooking regions and species with potentially substantial but undocumented impacts (Diagne et al. 2021). This aligns with the findings in our paper, which highlight the lack of empirical evidence for numerous species in natural environments, particularly those with significant implications for agricultural pest management and biodiversity. The existing literature focus on mitigating specific impacts rather than exploring the underlying damages mechanisms parallels the gaps identified in InvaCost, suggesting a systematic oversight in comprehensively understanding the effects of IAS. To this end, the InvaCost database has shown significant biases in research efforts, particularly in high-income regions and certain taxa, such as animals, while often overlooking regions and species with potentially substantial but undocumented impacts (Diagne et al. 2021).

In addition to species-specific information, our approach is essential for identifying critical sectors requiring improved mitigation measures and for tailoring biosecurity plans to address the specific needs of each sector, while also emphasising the role of international cooperation in managing IAS threats (European Commission 2024). We encourage the scientific community to share their initiatives, work results and insights, to contribute to the primary assessment promoting access to this information for both policy and research purposes.

The commitment to this ongoing research, data sharing, and policy development within the JRC EASIN context ensures that these efforts remain dynamic and responsive to emerging challenges, ultimately contributing to European and global environmental protection initiatives and sustainability.

Acknowledgements

We thank the NeoBiota Committee for its availability in hosting the workshop, and all attendees for their active participation.

Additional information

Conflict of interest

The authors have declared that no competing interests exist.

Ethical statement

No ethical statement was reported.

Use of AI

No use of AI was reported.

Funding

F. Cagnacci was supported by contract number CT-EX2006C189431-119, G. Brundu was supported by contract number CT-EX2013D146582-101, E. Cebrian was supported by contract number CT-EX2019D369226-102, and E. Bizzotto was supported by contract number CT-EX2023D899454-101. The participation of M.P.M. Vanhove to the NEOBIOTA conference was supported by travel grant K1AKA24N of the Research Foundation-Flanders (FWO-Vlaanderen). C. Bartilotti was funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., within the framework of the UID/04292/MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente and the project LA/P/0069/2020 (https://doi.org/10.54499/LA/P/0069/2020) granted to the Associate Laboratory ARNET – Aquatic Research Network. C. Preda was supported by the EU project OneSTOP (101180559).

Author contributions

Conceptualization: EG, CM, BM, ACC. Formal analysis: CM. Methodology: ACC, EG, CM, EC, GB, BM, ECB, FC. Validation: QG, SVA, SM, RS, LC, CP, ALN, CB, NVÁ, RMQ, SD, TA, MV, MHA, ERH. Writing – original draft: CM. Writing – review and editing: ALN, RS, TA, SD, LC, ACC, EG, MHA, SM, FC, MV, SVA, GB, NVÁ, CP, QG, CM, ERH, EC, BM, ECB, CB, RMQ.

Author ORCIDs

Chiara Magliozzi https://orcid.org/0000-0002-7975-5320
Ana Cristina Cardoso https://orcid.org/0000-0002-0350-0727
Eugenio Gervasini https://orcid.org/0009-0003-2728-965X
Beatrice Melone https://orcid.org/0009-0001-8335-4853
Elisa Chiara Bizzotto https://orcid.org/0000-0001-9614-1622
Giuseppe Brundu https://orcid.org/0000-0003-3076-4098
Francesca Cagnacci https://orcid.org/0000-0002-4954-9980
Emma Cebrian https://orcid.org/0000-0001-7588-0135
Tim Adriaens https://orcid.org/0000-0001-7268-4200
Maria Helena Alves https://orcid.org/0000-0002-5622-8800
Cátia Bartilotti https://orcid.org/0000-0002-5260-4776
Lucilla Carnevali https://orcid.org/0009-0006-5753-3803
Sofia Duarte https://orcid.org/0000-0002-0181-0676
Quentin Groom https://orcid.org/0000-0002-0596-5376

Sofie Meeus https://orcid.org/0000-0003-0715-8647
Ana Luisa Nunes https://orcid.org/0000-0002-5489-819X
Cristina Preda https://orcid.org/0000-0002-3513-7344
Eduardo Rendón-Hernández https://orcid.org/0009-0001-1160-231X
Samuel Vanden Abeele https://orcid.org/0000-0001-9100-3642
Riccardo Scalera https://orcid.org/0000-0002-4100-3959
Maarten P. M. Vanhove https://orcid.org/0000-0003-3100-7566
Nuno Vaz Álvaro https://orcid.org/0000-0002-6967-7170

Data availability

Data is available through the European Alien Species Information Network (EASIN). Contact: jrc-easin@ec.europa.eu

References

Armitage CS, Sjøtun K, Jensen KH (2014) Correlative evidence for competition between *Fucus serratus* and the introduced chlorophyte *Codium fragile* subsp. fragile on the southwest coast of Norway. Botanica Marina 57(2): 85–97. https://doi.org/10.1515/bot-2013-0087

Barcellos L, Pham CK, Menezes G, Bettencourt R, Rocha N, Carvalho M, Felgueiras HP (2023) A concise review on the potential applications of *Rugulopteryx okamurae* macroalgae. Marine Drugs 21: 1–40. https://doi.org/10.3390/md21010040

Bassett IJ, Crompton CW (1982) The Biology of Canadian weeds.: 55.: *Ambrosia trifida* L. Canadian Journal of Plant Science 62: 1003–1010. https://doi.org/10.4141/cjps82-148

Blackburn TM, Essl F, Evans T, Hulme PE, Jeschke JM, Kühn I, Kumschick S, Mrugała A, Marková Z, Nentwig W, Pergl J, Pyšek P, Rabitsch W, Ricciardi A, Richardson DM, Sendek A, Vilà M, Wilson JRU, Winter M, Genovesi P, Bacher S (2014) A unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. PLoS Biology 12(5): e1001850. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850

Boadie-Ampong M, Nishi M (2024) Exploring the benefits of invasive alien plant species for human well-being: A systematic review of the state-of-the-art and directions for prospective research. Discover Sustainability 5: e329. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00552-4

Booy O, Cornwell L, Parrott D, Sutton-Croft M, Williams F (2017) Impact of biological invasions on infrastructure. Impact of biological invasions on ecosystem services: 235–247. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45121-3_15

Bray JP, Hewitt CLR, Hulme PE (2024) Bridging aquatic invasive species threats across multiple sectors through one biosecurity. Bioscience 74: 440–449. https://doi.org/10.1093/biosci/biae049

Cannarozzi L, Paoli C, Vassallo P, Cilenti L, Bevilacqua S, Lago N, Scirocco T, Rigo I (2023) Donor-side and user-side evaluation of the Atlantic blue crab invasion on a Mediterranean lagoon. Marine Pollution Bulletin 189: e114758. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114758

Carneiro L, Hulme PE, Cuthbert RN, Kourantidou M, Bang A, Haubrock PJ, Bradshaw CJ, Balzani P, Bacher S, Latombe G, Bodey TW (2024) Benefits do not balance costs of biological invasions. Bioscience 74: 340–344. https://doi.org/10.1093/biosci/biae010

Cerveira I, Baptista V, Teodósio MA, Morais P (2022) What's for dinner? Assessing the value of an edible invasive species and outreach actions to promote its consumption. Biological Invasions 24: 815–829. https://doi.org/10.1007/s10530-021-02685-3

Chauvel B, Fried G, Follak S, Chapman D, Kulakova Y, Le Bourgeois T, Marisavljevic D, Monty A, Rossi J-P, Starfinger U et al. (2021) Monographs on invasive plants in Europe N° 5: *Ambrosia trifida* L. Botany Letters 168: 167–190. https://doi.org/10.1080/23818107.2021.1879674

Chinchio E, Crotta M, Romeo C, Drewe JA, Guitian J, Ferrari N (2020) Invasive alien species and disease risk: An open challenge in public and animal health. PLoS Pathogens 16: e1008922. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008922

Çinar ME, Arianoutsou M, Zenetos A, Golani D (2014) Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: A pan-European review. Aquatic Invasions 9: 391–423. https://doi.org/10.3391/ai.2014.9.4.01

Clavero M, López V, Franch N, Pou-Rovira Q, Queral JM (2015) Use of seasonally flooded rice fields by fish and crayfish in a Mediterranean wetland. Agriculture, Ecosystems & Environment 213: 39–46. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.022

Cohen J (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychosocial Measurement 20: 37–46. https://doi.org/10.1177/001316446002000104

COM (2021) 628 final, Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the review of the application of Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species.

Conway JR, Lex A, Gehlenborg N (2017) UpSetR: An R package for the visualization of intersecting sets and their properties. Bioinformatics 33(18): 2938–2940. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx364

D'hondt B, Vanderhoeven S, Roelandt S, Mayer F, Versteirt V, Adriaens T, Ducheyne E, San Martin G, Grégoire J-C, Stiers I et al. (2015) Harmonia+ and Pandora+: Risk screening tools for potentially invasive plants, animals and their pathogens. Biological Invasions 17: 1869–1883. https://doi.org/10.1007/s10530-015-0843-1

Diagne C, Leroy B, Gozlan RE, Vaissière AC, Assailly C, Nuninger L, Roiz D, Jourdain F, Jarić I, Courchamp F (2020) InvaCost, a public database of the economic costs of biological invasions worldwide. Scientific Data 7: e277. https://doi.org/10.1038/s41597-020-00586-z

Diagne C, Leroy B, Vaissière AC, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles JM, Bradshaw CJ, Courchamp F (2021) High and rising economic costs of biological invasions worldwide. Nature 592: 571–576. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6

EFSA (2023) The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. EFSA Journal 21: e8442. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.p211202

European Commission Joint Research Centre, Magliozzi C, Lucrezi S, Oficialdegui FJ, Melone B, Gervasini E, Cardoso AC (2024) Fostering transnational collaboration in IAS management to combat invasive alien species, Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2760/71881

Evans T, Kumschick S, Blackburn TM (2016) Application of the Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT) to a global assessment of alien bird impacts. Diversity & Distributions 22: 919–931. https://doi.org/10.1111/ddi.12464

Fleming LE, Depledge MH, Maycock B, Alcantara-Creencia L, Gerwick WH, Goh HC, Gribble MO, Keast J, Raps H, Solo-Gabriele H (2023) Horizon scan of oceans and human health. In: Oceans and Human Health. Elsevier, 729–742. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95227-9.00003-8

Gallardo B, Bacher S, Barbosa AM, Gallien L, González-Moreno P, Martínez-Bolea V, Sorte C, Vimercati G, Vilà M (2024) Risks posed by invasive species to the provision of ecosystem services in Europe. Nature Communications 15: e2631. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46818-3

Haubrock PJ, Turbelin AJ, Cuthbert RN, Novoa A, Taylor NG, Angulo E, Ballesteros-Mejia L, Bodey TW, Capinha C, Diagne C et al. (2021) Economic costs of invasive alien species across Europe. NeoBiota 67: 153–190. https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58196

Havel JE, Kovalenko KE, Thomaz SM, Amalfitano S, Kats LB (2015) Aquatic invasive species: Challenges for the future. Hydrobiologia 750: 147–170. https://doi.org/10.1007/s10750-014-2166-0

Hawkins CL, Bacher S, Essl F, Hulme PE, Jeschke JM, Kühn I, Kumschick S, Nentwig W, Pergl J, Pyšek P, Rabitsch W, Richardson DM, Vilà M, Wilson JRU, Genovesi P, Blackburn TM (2015) Framework and guidelines for implementing the proposed IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT). Diversity & Distributions 21: 1360–1363. https://doi.org/10.1111/ddi.12379

IPBES (2023) Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In: Roy HE, Pauchard A, Stoett P, Renard Truong T, Bacher S, Galil BS, Hulme PE, Ikeda T, Sankaran KV, McGeoch, MA, Meyerson LA, Nuñez MA, Ordonez A, Rahlao SJ, Schwindt E, Seebens H, Sheppard AW, Vandvik V (Eds) IPBES secretariat. Bonn. https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692

Kang B-H, Shim S-I, Lee S-G, Kim K-H, Chung I-M (1998) Evaluation of *Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*, *Ambrosia trifida*, *Rumex crispus* for phytoremediation of Cu and Cd contaminated soil. Korean Journal of Weed Science 18: 262–267.

Kato-Noguchi H, Kato M (2024) Invasive Characteristics and Impacts of *Ambrosia trifida.* Agronomy 14: e2868. https://doi.org/10.3390/agronomy14122868

Katsanevakis S, Wallentinus I, Zenetos A, Leppäkoski E, Çinar M, Oztürk B, Grabowski M, Golani D, Cardoso A (2014) Impacts of marine invasive alien species on ecosystem services and biodiversity: A pan-European review. Aquatic Invasions 9: 391–423. https://doi.org/10.3391/ai.2014.9.4.01

Katsanevakis S, Rilov G, Edelist D (2018) Impacts of marine invasive alien species on European fisheries and aquaculture-plague or boon. CIESM Monograph 50: 125–132.

Kumschick S, Nentwig W (2010) Some alien birds have as severe an impact as the most effectual alien mammals in Europe. Biological Conservation 143: 2757–2762. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.023

Lamb BT, McCrea AA, Stoodley SH, Dzialowski AR (2021) Monitoring and water quality impacts of an herbicide treatment on an aquatic invasive plant in a drinking water reservoir. Journal of Environmental Management 288: e112444. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112444

Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 33: 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Liebman M, Nichols VA (2020) Cropping system redesign for improved weed management: A modeling approach illustrated with giant ragweed (*Ambrosia trifida*). Agronomy 10: e262. https://doi.org/10.3390/agronomy10020262

Marchessaux G, Mangano MC, Bizzarri S, M'Rabet C, Principato E, Lago N, Veyssiere D, Garrido M, Scyphers SB, Sarà G (2023) Invasive blue crabs and small-scale fisheries in the Mediterranean sea: Local ecological knowledge, impacts and future management. Marine Policy 148: e105461. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105461

Mollot G, Pantel J, Romanuk T (2017) The Effects of Invasive Species on the Decline in Species Richness: A Global Meta-Analysis. Advances in Ecological Research. Elsevier, 61–83. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.002

Nentwig W, Kühnel E, Bacher S (2010) A generic impact-scoring system applied to alien mammals in Europe. Conservation Biology 24: 302–311. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01289.x

Nentwig W, Bacher S, Pyšek P, Vilà M, Kumschick S (2016) The generic impact scoring system (GISS): A standardized tool to quantify the impacts of alien species. Environmental Monitoring and Assessment 188: 1–13. https://doi.org/10.1007/s10661-016-5321-4

NNSS (2015) Rapid Risk Assessment. https://www.nonnativespecies.org/assets/Uploads/RSS_RA_Corbicula_fluminea.pdf

Nyumba TO, Sang CC, Olago DO, Marchant R, Waruingi L, Githiora Y, Kago F, Mwangi M, Owira G, Barasa R et al. (2021) Assessing the ecological impacts of transportation infrastructure

development: A reconnaissance study of the Standard Gauge Railway in Kenya. PLoS ONE 16: e0246248. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246248

Paint-Small VP (2013) Linking culture, ecology and policy: The invasion of Russian-olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) on the Crow Indian reservation, south-central Montana, USA. PHD Thesis. Colorado State University.

Pfeiffer JM, Voeks RA (2008) Biological invasions and biocultural diversity: Linking ecological and cultural systems. Environmental Conservation 35: 281–293. https://doi.org/10.1017/S0376892908005146

Pyšek P, Hulme PE, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton JT, Dawson W, Essl F, Foxcroft LC, Genovesi P et al. (2020) Scientists' warning on invasive alien species. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 95: 1511–1534. https://doi.org/10.1111/brv.12627

Rojas-Sandoval J, Ackerman JD, Marcano-Vega H, Willig MR (2022) Alien species affect the abundance and richness of native species in tropical forests: The role of adaptive strategies. Ecosphere 13: e4291. https://doi.org/10.1002/ecs2.4291

Roy HE, Rabitsch W, Scalera R, Stewart A, Gallardo B, Genovesi P, Essl F, Adriaens T, Bacher S, Booy O, Branquart E, Brunel S, Copp GH, Dean H, D'hondt B, Josefsson M, Kenis M, Kettunen M, Linnamagi M, Lucy F, Martinou A, Moore N, Nentwig W, Nieto A, Pergl J, Peyton J, Roques A, Schindler S, Schönrogge K, Solarz W, Stebbing PD, Trichkova T, Vanderhoeven S, van Valkenburg J, Zenetos A (2018) Developing a framework of minimum standards for the risk assessment of alien species. Journal of Applied Ecology 55: 526–538. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13025

Roy HE, Tricarico E, Hassall R, Johns CA, Roy KA, Scalera R, Smith KG, Purse BV (2022) The role of invasive alien species in the emergence and spread of zoonoses. Biological Invasions 25: 1–16. https://doi.org/10.1007/s10530-022-02978-1

Shackleton RT, Richardson DM, Shackleton CM, Bennett B, Crowley SL, Dehnen-Schmutz K, Estévez RA, Fischer A, Kueffer C, Kull CA et al. (2019a) Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. Journal of Environmental Management 229: 10–26.

Shackleton RT, Shackleton CM, Kull CA (2019b) The role of invasive alien species in shaping loc https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.045 al livelihoods and human well-being: A review. Journal of Environmental Management 229: 145–157. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.007

Turbelin AJ, Hudgins EJ, Catford JA, Cuthbert RN, Diagne C, Kourantidou M, Roiz D, Courchamp F (2024) Biological invasions as burdens to primary economic sectors. Global Environmental Change 87: e102858. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102858

Vanderbush B, Longhenry C, Lucchesi DO, Barnes ME (2021) A review of zebra mussel biology, distribution, aquatic ecosystem impacts, and control with specific emphasis on South Dakota, USA. Open Journal of Ecology 11: 163–182. https://doi.org/10.4236/oje.2021.112014

Vimercati G, Probert AF, Volery L, Bernardo-Madrid R, Bertolino S, Céspedes V, Essl F, Evans T, Gallardo B, Gallien L, González-Moreno P (2022) The EICAT+ framework enables classification of positive impacts of alien taxa on native biodiversity. PLoS Biology 20: e3001729. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001729

Watts DA, Moore GW (2011) Water-use dynamics of an invasive reed, *Arundo donax*, from leaf to stand. Wetlands 31: 725–734. https://doi.org/10.1007/s13157-011-0188-1

Yan J, Li Y, Liang X, Zhang Y, Dawood MA, Matuli'c D, Gao J (2017) Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, fatty acid composition and antioxidant-related gene expressions in juvenile loach *Misgurnus anguillicaudatus.* Aquaculture Research 48: 5385–5393. https://doi.org/10.1111/are.13352

Supplementary material 1

Supplementary information

Authors: Chiara Magliozzi, Ana Cristina Cardoso, Eugenio Gervasini, Beatrice Melone, Elisa Chiara Bizzotto, Giuseppe Brundu, Francesca Cagnacci, Emma Cebrian, Tim Adriaens, Maria Helena Alves, Cátia Bartilotti, Lucilla Carnevali, Sofia Duarte, Quentin Groom, Raquel Martins Queiroga, Sofie Meeus, Ana Luisa Nunes, Cristina Preda, Eduardo Rendón-Hernández, Samuel Vanden Abeele, Riccardo Scalera, Maarten P.M. Vanhove, Nuno Vaz Álvaro

Data type: docx

Explanation note: **table S1.** Confidence levels based on the strength of evidence. Adapted from Katsanevakis et al. (2014). **table S2.** List of IAS assessed by workshop participants. **fig. S1.** OOverview of the number of IAS assessed across environments and taxonomic groups. **fig. S2.** Domains (see definitions in the manuscript) identified during the workshop for the 49 IAS. **fig. S3.** IAS with reported positive and negative impacts across sector domains during the workshop.

Copyright notice: This dataset is made available under the Open Database License (http://opendatacommons.org/licenses/odbl/1.0/). The Open Database License (ODbL) is a license agreement intended to allow users to freely share, modify, and use this Dataset while maintaining this same freedom for others, provided that the original source and author(s) are credited.

Link: https://doi.org/10.3897/neobiota.102.152015.suppl1