



Agenda de investigación para el manejo sustentable del manglar en Tamaulipas, México

Research agenda for the sustainable management of mangroves in Tamaulipas, Mexico

Carlos Zamora-Tovar¹*, Alejandro Fierro-Cabo² y Glenda Nelly Requena-Lara¹

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas. Instituto de Ecología Aplicada. Ciudad. Victoria, Tamaulipas, México.

² The University of Texas Rio Grande Valley. School of Earth, Environmental, and Marine Sciences. Brownsville, Texas, USA.

* Autor de correspondencia: czamora@uat.edu.mx

RESUMEN

Se presenta un análisis de la información ecológica disponible sobre los manglares de Tamaulipas, México. El objetivo fue establecer una línea base de conocimiento que defina el estado del arte a partir de la información publicada; actualizar la estructura forestal con datos propios observados en el año 2018; y determinar una agenda de investigación prioritaria para el manejo sostenible del ecosistema de manglar, ecosistema de vital importancia por la gran variedad de recursos y servicios ambientales que aporta a la sociedad. La investigación bibliográfica recopiló 32 trabajos relevantes: 16 publicaciones formales, siete ediciones institucionales y nueve consideradas literaturas gris; recopilación que revela pocos estudios para este ecosistema. La información analizada se ordenó en reseñas temáticas de estudio: distribución geográfica de las especies, extensión actual e histórica, estructura forestal de la comunidad, conservación, disturbios y amenazas, y restauración. Este análisis sugiere instaurar un programa estatal de investigación con enfoques de estudios plurales y transversales para indagar en diagnósticos ecológicos integrales, tanto básicos como aplicados y prospectivos para el conocimiento y manejo sustentable de los ecosistemas de manglar que apoyen la operatividad administrativa. Se definió una guía de estudios prioritarios mediante una agenda de investigación para la sostenibilidad y conservación del ecosistema de manglar en Tamaulipas que garantice los beneficios y servicios ecosistémicos, y la protección de la zona costera ante perturbaciones tanto antropogénicas como naturales.

PALABRAS CLAVE: análisis bibliográfico, diagnóstico ecológico, estudios prioritarios, Golfo de México, humedales costeros, línea de base.

ABSTRACT

An analysis of the existing ecological information on the mangroves of Tamaulipas, Mexico is presented. The objective was establishing a baseline of knowledge that defines the state of the art based on published information; update the forest structure with own data observed in 2018; and determine a priority research agenda for the sustainable management of the mangrove ecosystem. Ecosystem of capital relevance due to the wide variety of resources and environmental services it provides to society. Bibliographic research that compiled 32 relevant works: 16 formal publications, seven institutional editions and nine considered gray literature; compilation that reveals few studies for this ecosystem. The analyzed information was ordered into thematic study reviews: geographic distribution of species, current and historical extension, forest structure of the community, conservation, disturbances and threats, and restoration. This analysis suggests establishing a state research program with plural and transversal study approaches to investigate comprehensive ecological diagnoses, both basic and applied and prospective for the knowledge and sustainable management of mangrove ecosystems, which support administrative operation. A guide of priority studies was defined through a research agenda for the sustainability and conservation of the mangrove ecosystem in Tamaulipas, which guarantees the benefits and ecosystem services, and the protection of the coastal zone from both anthropogenic and natural disturbances.

KEYWORDS: bibliographic analysis, ecological diagnosis, priority studies, Gulf of Mexico, coastal wetlands, baseline.

INTRODUCCIÓN

La investigación ecológica permite desarrollar metodologías y sustentar políticas públicas para el conocimiento y manejo del ecosistema y los recursos naturales; informa el valor de la biodiversidad y los servicios ambientales y aporta respuestas científicas a las demandas ciudadanas al participar en la planeación pública del medioambiente (Koleff et al., 2014; Arkema et al., 2015). Por efecto, y para que el estudio del ecosistema de manglar sea integral y multidisciplinario se debe optimizar el conocimiento base, ante todo, al ser un ecosistema crítico de relevancia global, dado que sus funciones y servicios ecosistémicos contribuyen al desarrollo socioeconómico de las zonas costeras (Lugo et al., 2014; de-Souza et al., 2017). Los manglares, gremio ecológico caracterizado por árboles y arbustos conocidos como mangles, adaptados fisiológica y evolutivamente al habitar ambientes salobres de costas tropicales y subtropicales, crecen en suelos anóxicos inundables por cambios mareales con resistencia al agua salina; y poseen atributos biológicos especializados y únicos como raíces aéreas y semillas vivíparas o propágulos de particular estrategia para la dispersión por agua (Lee et al., 2014; Barbier, 2016).

Es oportuno hacer estudios regionales e interdisciplinarios ante la presión humana sobre la explotación de los manglares y el aprovechamiento de recursos (Lee et al., 2014; Arkema et al., 2015; de-Souza et al., 2017), más aun cuando un tercio de la población mundial vive en áreas costeras (Reimann et al., 2023), aunado a los efectos del cambio climático en las zonas litorales (Lugo et al., 2014; Yáñez-Arancibia et al., 2014; Ward et al., 2016). Conformar un diagnóstico integral del manglar y su relación con aspectos socioeconómicos, ambientales y políticos, a partir de la comprensión del conocimiento científico generado, permite enfrentar los retos de deterioro actual y promover prácticas de sostenibilidad al conservar el ecosistema y sus funciones, e impulsar el bienestar humano (Partelow et al., 2017; Salmo et al., 2017).

México ocupa el cuarto lugar entre los países con mayor cobertura de manglar, conforme a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

(Conabio, 2022); dicha instancia gubernamental, encargada del Sistema de Monitoreo e Inventario Nacional de Manglares, oficializa 905 086 ha de cobertura nacional para el año 2020, que representan 6.7% de superficie global que ocupan 0.46% de la superficie continental del país, con distribución en los 17 estados costeros (Velázquez-Salazar et al., 2021).

La información sobre los manglares en México es considerable. La Conabio ha publicado documentos oficiales en relación con la caracterización ecológica, extensión, distribución y monitoreos con actualizaciones periódicas del país (Rodríguez-Zúñiga et al. 2018; Velázquez-Salazar et al., 2021). Existe un bagaje científico evidente para sitios, estados y regiones específicas que tiene la facultad de guiar el avance de estudios pertinentes e innovadores ante los desafíos y amenazas (Arkema et al., 2015; Partelow et al., 2017). A pesar de ello, el conocimiento alcanzado es desigual por estado, por ejemplo, las publicaciones sobre Tamaulipas son insuficientes; razón que justifica y explica el enfoque aquí presentado. Al respecto, resaltan como antecedentes la revisión bibliográfica de López-Portillo y Ezcurra (2002), y el estudio de Estado de Veracruz (López-Portillo et al., 2011), como la primer y única revisión bibliográfica de los manglares del país y de un estado, respectivamente.

Tamaulipas se localiza en el noreste de México, estado costero más septentrional del Golfo de México con 433 km de litoral, posee nueve sitios prioritarios de conservación, un sitio Ramsar y tres áreas naturales protegidas para la protección del manglar (Velázquez-Salazar et al., 2021). Está sujeto a repercusiones naturales por impacto de huracanes y tormentas tropicales, y es vulnerable ante la variabilidad que induce el cambio climático (Yáñez-Arancibia et al., 2014). Tiene efectos de actividades antrópicas productivas en los municipios costeros, como la pesca, agricultura, ganadería, acuicultura, comercio, turismo y servicios portuarios, además de la industria maquiladora al norte y petroquímica al sur que propician un crecimiento poblacional expansivo con presión ambiental sobre los recursos naturales (Bello et al., 2009a; 2009b).



Es oportuno conocer y generar información científica para el conocimiento y manejo del manglar tamaulipeco con base en estudios existentes previamente generados. Como resolución, se hizo una investigación bibliográfica pormenorizada que contextualiza el marco teórico planteado, y que posibilitó la construcción de un análisis documental denominado estado del arte; línea base del conocimiento que permite recuperar y trascender los datos publicados, que a la vez señala los vacíos de información. Además, identifica la oportuna solución para la toma de decisiones para con ello instituir nuevos programas de trabajo y justifica la oportunidad de presentar un análisis sistematizado y explicativo que promueva el interés por estudiar y valorar estos ecosistemas y sea útil en la toma de decisiones (Koleff et al., 2014; de-Souza et al., 2017; Salmo et al., 2017).

OBJETIVOS

Definir una agenda de investigación de estudios prioritarios para el manejo sustentable del ecosistema de manglar en Tamaulipas, a partir de una línea base del conocimiento realizada con base en la información publicada; y especificar una distinción retrospectiva y reciente de la estructura forestal conforme a los resultados publicados y datos propios observados en el año 2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación bibliográfica sobre la información publicada sobre el ecosistema de manglar en Tamaulipas. La información compilada permitió dar un sentido útil y de interés al trabajo al describir de forma precisa y comprensible para la ciudadanía en general, académicos e interesados vinculados a los procesos del conocimiento y manejo del manglar, posibilitando así establecer un estado del arte y definir una agenda de investigación sustentable del propio ecosistema (López, 2006; Partelow et al., 2017; Salmo et al., 2017).

Se consultaron catálogos bibliográficos, colecciones científicas en bibliotecas, y literatura especializada en bases de datos de internet (Thomson Reuters ISI, Academia.edu, BioOne, Scielo, Redalyc, ResearchGate, y Goo-

gle Scholar). Se examinaron palabras clave escritas en inglés o español, como manglares, ecosistemas de manglar, especies de mangle, ecología, manejo, humedales costeros, y Tamaulipas, México. Además, se solicitó a los autores, los artículos y capítulos de libros no disponibles en las bases de datos. A consecuencia, este ejercicio posibilitó también cuantificar el número de publicaciones formales generadas para otros estados y aquellas que aportan información generalizada del país como panorama nacional.

La revisión y análisis crítico de los trabajos realizados en Tamaulipas, que incluyen artículos científicos, capítulos de libros, documentos oficiales y literatura no convencional, además de tesis y reportes técnicos, manuscritos clave para la presente investigación. Posibilitó ordenar e interpretar la información práctica, y así reseñar el conocimiento generado bajo las siguientes temáticas: distribución geográfica de especies, extensión actual e histórica, estructura forestal de la comunidad, conservación, deterioros y amenazas, y restauración. Argumentos de interés para disponer las tendencias generales como una agenda de investigación.

La información publicada sobre la estructura forestal se cotejó con observaciones de campo cuantificadas en el año 2018. Datos útiles para hacer un análisis de prospección retrospectiva y de avance ante el tiempo sobre la transformación del ecosistema con base en el cálculo del Índice de Complejidad de Holdridge (2000), indicativo del crecimiento estructural basado en la relación existente entre la riqueza específica, abundancia y dimensiones arbóreas.

RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 702 publicaciones enfocadas en el estudio del ecosistema de manglar en México. Estos artículos y capítulos de libro comprenden 656 trabajos referentes a los 17 estados costeros y 46 aluden de manera generalizada al país como un panorama del conocimiento nacional. Para Tamaulipas, se registra un bagaje de 32 publicaciones alusivas a los manglares del estado, de las cuales, 16 son manuscritos científicos formales (10 artícu-

los y seis capítulos de libro), y el resto corresponden a siete ediciones informativas oficiales y literatura gris (seis tesis, un estudio cualificado y dos memorias en extenso). La figura 1 grafica las publicaciones científicas cuantificadas por estados e incluye, en particular, los estudios científicos y no convencionales realizados en Tamaulipas.

Los trabajos hechos para el estado de Tamaulipas se realizaron bajo distintos objetivos, métodos y enfoques de investigación. Sus contenidos definen los tópicos aquí presentados y discutidos. La primera publicación formal es de Lot et al. (1975), investigación representativa que marca el inicio de los estudios sobre los manglares en el estado. En tanto que, los trabajos más recientes corresponden al artículo de Zamora-Tovar et al. (2022), y, en parte, la nota científica de Kaalstad et al. (2023), así como el capítulo de libro de Fierro-Cabo et al. (2023).

En un sentido práctico, presentan un orden numérico según el área geográfica de estudio, resaltan 11 investigaciones para el litoral sur, seis para el centro y norte, respectivamente, y nueve refieren a toda la zona costera. Regiones con aspectos fisiográficos, paisajísticos y ecológicos distintos, dada la confluencia de dos regiones biogeográficas demarcadas por el Trópico de Cáncer (Rzedowski, 1978; Hayden et al., 1984). La figura 2 señala las regiones costeras; la ubicación de los nueve sitios prioritarios de manglar, el sitio Ramsar y las tres áreas naturales protegidas con manglar; las localidades del sur en la que se han hecho estudios, así como los muestreos de datos propios. Lugares potenciales para trabajar investigaciones en particular.

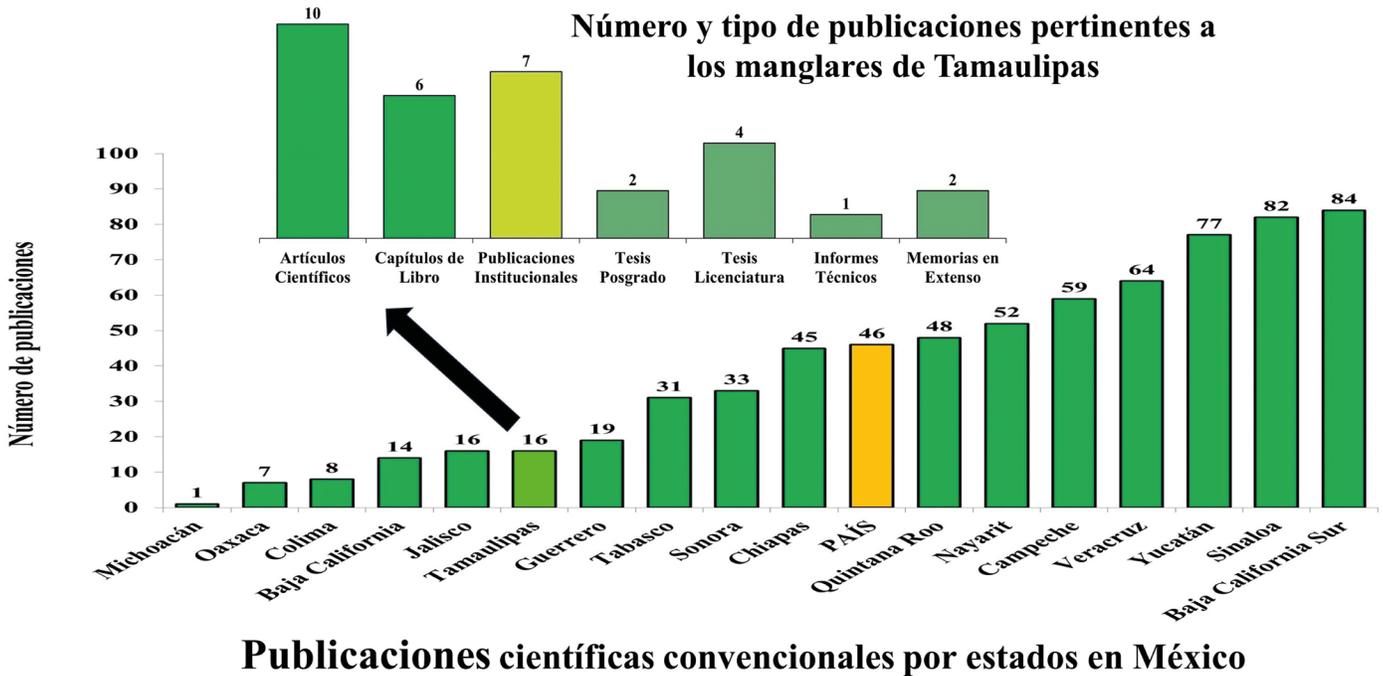


FIGURA 1. Publicaciones sobre los manglares de México y estudios pertinentes para Tamaulipas.

Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 2. Sitios prioritarios de conservación en la costa de Tamaulipas y localidades estudiadas de la región sur.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Revisión de publicaciones científicas

La bibliografía registrada para México aporta conocimientos sobre los ecosistemas de manglar del país. La figura 1 evidencia diferencias del número de estudios por estado, la inclusión del criterio país ayudó a ilustrar el valor medio de publicaciones. Comparativamente, es notoria la insuficiencia de estudios en Tamaulipas al representar 2.27% de la producción nacional, con solo 16 manuscritos científicos. Por el contrario, destacan por mayor número de publicaciones estados como Baja California Sur, Sinaloa, Yucatán, Veracruz, Campeche, Nayarit, y Quintana Roo; situación vinculada a la presencia de centros o institutos de investigación enfocados

a la ecología costera y ubicados en las inmediaciones de las áreas de manglar (Espinoza-Tenorio et al., 2011). Esto acaso también, y en parte, por ser entidades con representativa cobertura de manglar en el país (Velázquez-Salazar et al., 2021).

Distribución geográfica del manglar tamaulipeco

En México, se ha documentado para las costas del Golfo de México la presencia de cuatro especies de mangles: *Rhizophora mangle* L. “mangle rojo”, *Avicennia germinans* L. “mangle negro”, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. “mangle blanco” y *Conocarpus erectus* L. “mangle botón”, con registros también para Tamaulipas, estado considerado como el área de distribución noreste más septentrional de los manglares del país (Velázquez-Salazar et al., 2021).

La distribución regional de los manglares muestra un gradiente biogeográfico basado en la riqueza de especies y complejidad estructural. Zamora-Tovar (2018) determina que los manglares tamaulipecos son un ecosistema discontinuo con comunidades dispersas al informar para el norte la presencia de manglar subtropical mono-específico de *A. germinans*, a manera de matorrales achaparrados y asociados a halófitas propias de las marismas, o bien, en las islas de barrera y dunas consolidadas se observan arbustos rastreros de *C. erectus* o individuos aislados de *A. germinans* con muchas ramas y poca altura, vinculados a la vegetación de dunas costeras. Al contrario, señala que los manglares del centro y sur del estado son más diversos por la presencia de las cuatro especies de mayor altura y cobertura forestal, incluso en sitios muy húmedos y cálidos cohabitan con otras plantas tropicales típicas de la vegetación acuática y selva baja. Apreciación manifiesta también por López-Portillo y Ezcurra (2002) para los manglares de México, y por López-Portillo et al. (2011) para el estado de Veracruz.

Lo anterior también se justifica por la presencia en Tamaulipas de dos regiones biogeográficas: Neártica y Neotropical (Rzedowski, 1978), y la convergencia de dos provincias marinas: Caroleana y Caribeña (Hayden et al., 1984). Asimismo, la regionalización biológica del Golfo de México señala al litoral tamaulipeco como el límite de las ecoregiones: Golfo de México Norte y Golfo de México Sur, ambas incluidas en los Reinos Biogeográficos: Atlántico Templado Cálido y Atlántico Tropical, respectivamente (Spalding et al., 2007).

Los cambios latitudinales en temperatura y precipitación, aunados a los rasgos geomorfológicos de la costa en el estado, han propiciado una adaptación ecológica específica en las especies de mangle, con variaciones en su fisonomía y fenología (Lot et al., 1975; Cámara, 1999; Méndez-Alonso et al., 2008). Por ejemplo, Lot et al. (1975), citan que los manglares de latitudes sureñas son más complejos, y que la altura y el área de las hojas de *R. mangle* varían en función del clima; al igual, refieren que la temperatura baja de los inviernos intermitentes determina su distribución regional, al ser la línea del Trópico

de Cádiz el límite norte de *R. mangle* y *L. racemosa*, en tanto *A. germinans* y *C. erectus* se extienden más al norte del paralelo.

Martínez y Novelo (1993) observaron la presencia de *A. germinans* en Laguna Madre, confirmando su distribución más al norte del Trópico de Cádiz, y argumentan que su crecimiento arbustivo (1 m) está influenciado por fenómenos meteorológicos como heladas y ciclones. Al respecto, Cámara (1999) propone al aporte fluvial como el factor determinante para su aclimatación, y señala a la desembocadura del río Soto la Marina como el límite septentrional de *L. racemosa* y *R. mangle*, y los aportes de los ríos Bravo y Mississippi causan que *A. germinans* y *C. erectus* se distribuyan hasta el sur de Texas y Luisiana. En tanto, Méndez-Alonso et al. (2008), al estudiar su hipótesis de que la altura y la masa foliar por unidad de superficie de *A. germinans* están en función del clima, concluyen que la masa foliar y su contenido de carbono están positivamente correlacionados con la latitud y no con la temperatura y precipitación anuales, mientras que la altura y el diámetro máximo de los troncos es inversamente proporcional a la latitud, pero directamente proporcional a la precipitación y temperatura.

En Tamaulipas, hay indicios recientes de que los manglares han ampliado su distribución regional al ser muy notorios en el norte (Fierro-Cabo et al., 2023). Expansión e incremento de cobertura hacia latitudes septentrionales son posibles a consecuencia del cambio climático, dada la tropicalización del Golfo de México (Yáñez-Arancibia et al., 2014). No obstante, Kaalstad et al. (2023) citan que las infrecuentes heladas extremas en el norte del Golfo de México (Florida, Luisiana, Texas y Tamaulipas) causan severos daños en *A. germinans*, como ocurrió en los años 2018 y 2021; en especial, umbrales entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ limitan su crecimiento y expansión geográfica. Estos datos son importantes ante los futuros alcances del calentamiento global y su impacto en relación con la distribución de los manglares (Ward et al., 2016).

La información existente demuestra un gran avance científico con utilidad para gestionar un desarrollo sustentable de los manglares. No obstante, se considera oportuno



tuno señalar estudios de orientación sobre la continuidad de temas relacionados con la biogeografía de los manglares en Tamaulipas e iniciar proyectos sobre la demografía poblacional de las especies de mangle, tanto silvestres como reforestadas, así como de las otras especies que habitan el ecosistema de manglar, que permitan investigaciones permanentes sobre la biología de la conservación, para dar respuesta a la fragmentación, pérdida del hábitat y conservación genética y ecosistémica de la biodiversidad. También es pertinente hacer estudios espaciotemporales de frontera, que incluyan sistemas geográficos y modelos de cambio.

Extensión actual e histórica en Tamaulipas

La última estimación publicada por la Conabio sobre la distribución espacial de los manglares en México indica 905 086 ha para el año 2020, y determina para Tamaulipas una cobertura de 3664 ha, que representan 0.40% de la cobertura nacional (Velázquez-Salazar et al., 2021).

La Comisión Nacional Forestal (Conafor) inició en 2004 la elaboración del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, que puntualiza 4193 ha de manglar para Tamaulipas (Conafor, 2004). Posteriormente, la Conabio establece para México una línea base sobre la distribución nacional y estatal de los manglares y publica, a partir del año 2008, actualizaciones y análisis de datos sobre los cambios y dinámicas espaciales de este ecosistema en México. Esta misma institución menciona, para Tamaulipas, una superficie de 2410 ha en 2005 (Conabio, 2008); no obstante, y conforme a los métodos y distintas escalas cartográficas utilizadas en un nuevo ejercicio, calculó para el mismo año, una cobertura de 2995 ha (Conabio 2009). Estas disimilitudes han propiciado otras evaluaciones más, por ejemplo, Rodríguez-Zúñiga et al. (2013) citan para Tamaulipas 2831 ha para la década de 1970 a 1980, cambiando a 3281 ha para 2005, y a 3095 en 2010. En tanto, Valderrama-Landeros et al. (2017) notifican diferencias para 2010 de 3099 ha, y registran 3327 ha para el año 2015. Finalmente, la actualización de Velázquez-Salazar et al. (2021) determina la cobertura real de 3664 ha para el año 2020.

Esta instancia gubernamental destaca el reconocimiento de nueve sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica en Tamaulipas que representan 11.1% nacional de los 81 sitios catalogados para el país (Conabio, 2022). Las fichas técnicas de estos sitios registran, conforme a Velázquez-Salazar et al. (2021), datos sobre las coberturas de manglar a lo largo del tiempo, como se muestra en la figura 3. Esta gráfica muestra las superficies históricas y los porcentajes representativos en el ámbito regional y nacional de cada sitio prioritario de manglar en este estado. Se aclara que el sitio GM51 (Pueblo Viejo-El Chairel) se localiza entre los estados de Tamaulipas y Veracruz.

Valderrama et al. (2014) y Valderrama-Landeros et al. (2017) citan que la extensión del manglar en Tamaulipas se ha incrementado al registrar superficies de 450 ha para el periodo 1970 a 2005 y de 228 ha para el lustro 2010 a 2015. Asimismo, Velázquez-Salazar et al. (2021) observan un aumento de 337 ha, particularmente en Laguna Madre, producto de las actividades de reforestación comunitaria en esta laguna, que a partir del trabajo de Zamora-Tovar et al. (2011), se dan indicios de contribución y ganancias de coberturas. Colateralmente, resaltan los argumentos sobre la persistencia y resiliencia ecológica de los manglares (Lugo et al., 2014), la tropicalización del Golfo de México (Yáñez-Arancibia et al., 2014) y la expansión norteña del mangle negro *A. germinans* en ecosistemas de marismas (Guo et al., 2013; Johnson, 2013).

En consecuencia, se sugiere la continuidad de apoyos a estos esfuerzos de reforestación y, a su vez, estudiar las prácticas y lugares idóneos para su éxito. Es necesario poner especial atención en los procesos de las interacciones bióticas y con el entorno, por ejemplo, analizar topografía, hidrología y protección fitosanitaria (plagas y enfermedades); asimismo, será oportuno precisar metodológicamente la extensión de las áreas reforestadas y por reforestar, así como llevar a cabo un monitoreo posterior a la reforestación. Esto último, considerando que los manglares sobresalen por la alta adaptabilidad, resiliencia y dispersión acuática (Lee et al., 2014; Barbier, 2016).

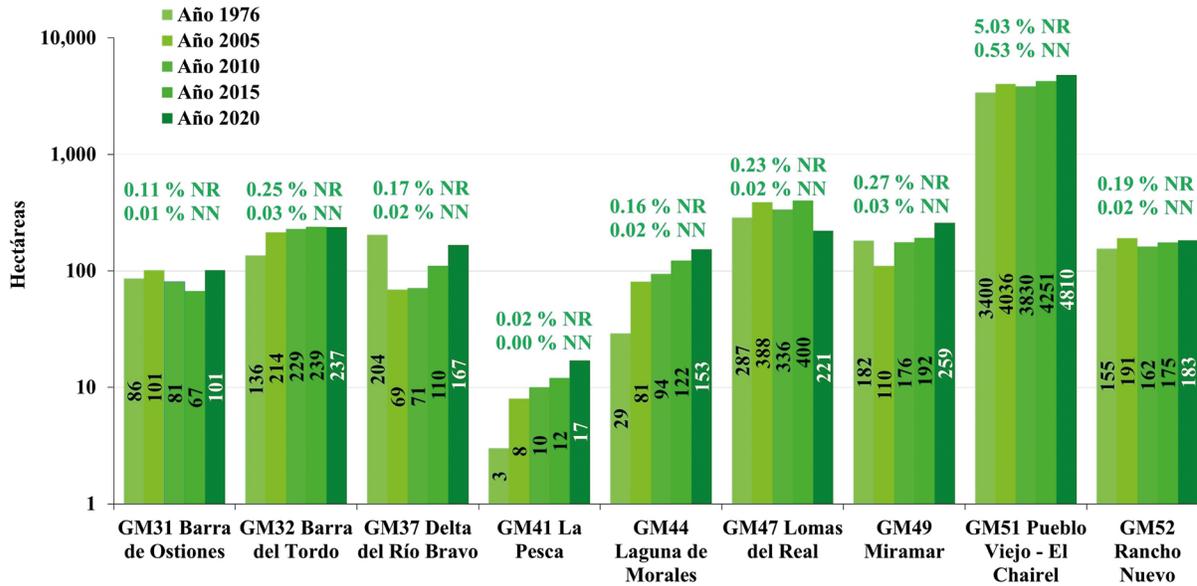


FIGURA 3. Extensión histórica y actual de los sitios prioritarios de manglar en Tamaulipas.

NR: Porcentaje en el ámbito regional. NN: Porcentaje en el ámbito nacional. Ambos con datos para el año 2020, con base en Velázquez-Salazar et al. (2021).

Fuente: Elaboración propia.

Estructura forestal de la comunidad

Esta temática de investigación presenta un mayor número de estudios realizados, a pesar de ello, aún se consideran limitados para un conocimiento integral del estado. Se cuenta con datos para sitios o áreas específicas del sur y centro del estado (Lot et al., 1975; Martínez y Novelo, 1993; Céspedes, 1999; Háud et al., 2000; Foroughbakhch et al., 2004; López-Portillo et al., 2007; Méndez-Alonso et al., 2008; Euan, 2014; Pérez, 2014; Zamora-Tovar, 2018) y con información descriptiva de los sitios prioritarios de manglar en Tamaulipas (Conabio, 2022). Esta limitación justifica la inclusión de datos propios a esta revisión bibliográfica y, aun así, las estimaciones registradas son parciales e insuficientes para precisar una diagnosis ecológica en el estado. Es menester plantear un estudio integral de la estructura vegetal y parámetros ambientales que caractericen el hábitat y definan los patrones demográficos, a fin de documentar un trabajo regional actualizado de referencia.

Un único estudio regional señala aspectos ecológicos de los manglares del sureste de Tamaulipas: lagunas de San

Andrés, del Carpintero y la Costa, y el estero Garrapatas (Foroughbakhch et al., 2004). Otros estudios relevantes son las tesis de Euan (2014) y Pérez (2014), que respectivamente estudiaron los mangles de la desembocadura del río Soto la Marina (La Pesca) y la laguna de Morales. Estos tres trabajos, más el complemento de datos propios observados en las mismas localidades en el año 2018, posibilitan un análisis parcial de las condiciones ecológicas de los manglares de las regiones sur y centro (Fig. 2).

En la tabla 1 se presentan integralmente los valores resultantes de los índices calculados a partir de la información previamente publicada y propia, con esto se puede hacer una diferenciación de las localidades al paso del tiempo, con excepción de las lagunas la Costa y del Chairel, que arbitrariamente se incluyeron por ser estuarios vecinos de condiciones ambientales similares y que comparten un manglar adyacente, solo que laguna de la Costa se ubica en el estado de Veracruz, y laguna del Chairel en Tamaulipas. En general, la estructura forestal de estos ecosistemas de manglar presenta cambios sistemáticos, con ganancias temporales al paso del tiempo, en altura, diámetros de



troncos, densidad poblacional y complejidad estructural; igualmente, la comparación mediante valores del índice de complejidad de Holdridge (IC) evidencia cambios en tiempo y espacio. Estimaciones hechas con los datos de Foroughbakhch et al. (2004) muestran que la laguna la Costa (IC = 32.7) es el sitio más complejo, contrario a la laguna de San Andrés (IC = 0.3). Los cálculos hechos con base en las observaciones propias indican una mayor complejidad estructural en el tiempo; por ejemplo, laguna del Chairel (IC = 33.1) resultó ser la más compleja, y laguna de San Andrés (IC = 2.2) continuó como la menos compleja, a pesar de registrar un incremento de complejidad al paso del tiempo. La figura 4 grafica la equiparación hecha para los valores porcentuales del índice de valor de importancia ecológica (IVIE) por especies de mangle, en sincronía con los registros computados del IC. La tesis de Zamora-Tovar (2018) apoya la explicación arriba mencionada, al demostrar este patrón en los manglares de laguna del Carpintero, donde la dinámica poblacional estudiada a través de una década de observaciones mostró cambios en la disposición espacial y temporal y en la caracterización estructural, con un IC en ascenso y un IVIE fluctuante temporalmente. La laguna del Carpintero es un ecosistema con progresiva orientación a mejorar la fisonomía estructural, como consecuencia de una adaptación y resiliencia

ante procesos y condiciones de perturbación ambiental histórica del lugar, por el desarrollo urbano del área conurbada Tampico-Madero-Altamira.

En la tabla 1 también se presentan otras variables de la estructura forestal de los manglares de Tamaulipas. Conforme a los valores promedio para todas las especies y localidades, el análisis aquí realizado registra, para la zona sur, una altura arbórea promedio de 5.9 m, con una densidad de 721 ha⁻¹ individuos, y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 11 cm, con *L. racemosa* como el mangle de mayor valor de importancia. Para la zona centro se observa un promedio de 2.9 m de altura, con densidades de 725 ha⁻¹, y un DAP de 5 cm, con *R. mangle* como la especie de mayor valor de importancia; y para la zona norte se observan promedios de 2.4 m de altura, con densidades de 833 ha⁻¹, y un DAP de 4 cm, con *A. germinans* con el mayor valor de importancia. Además, presenta los siguientes tipos de zonación: a) manglar ribereño, monoespecífico a manera de matorral achaparrado (Río Bravo) y diverso (Río Soto la Marina); b) manglar de franja, con tres o cuatro especies agremiadas (localidades del centro y sur del estado) y dos especies disgregadas (La Carbonera); y c) manglar de cuenca, con tres especies e individuos de mayor altura (Laguna del Chairel).

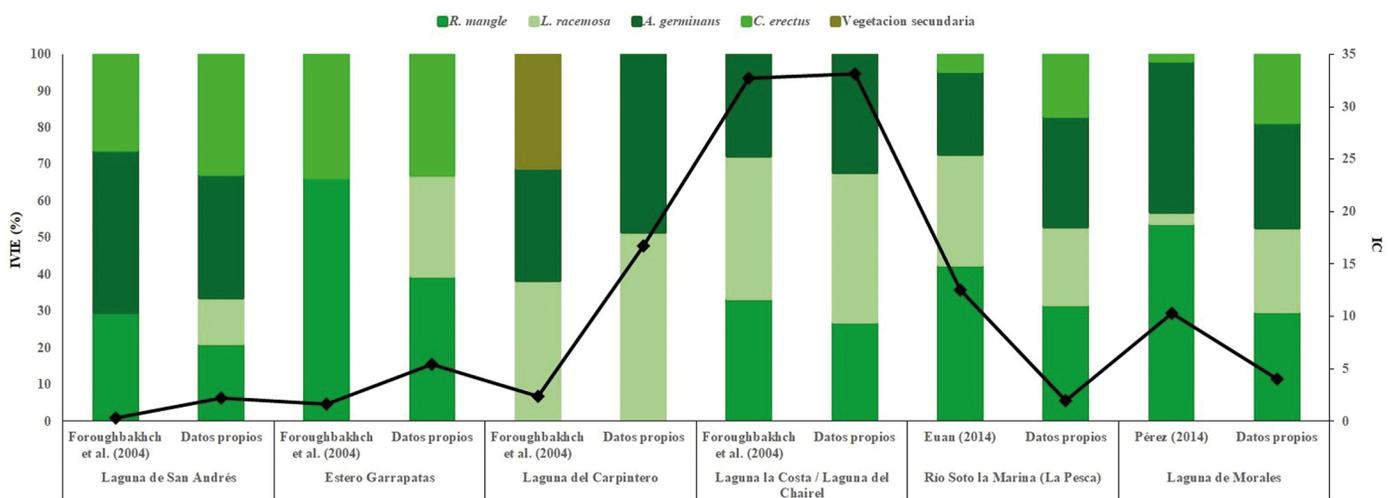


FIGURA 4. Equiparación del Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE, barras), e índice de Complejidad Estructural de Holdridge (IC, línea continua), para las especies de mangle en localidades de las zonas centro y sur de Tamaulipas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Valores estructurales forestales de los manglares de Tamaulipas.

Área geográfica	Sitio/Especie	Densidad (ha ⁻¹)	Altura (m)	DAP (cm)	IVIE (%)	H'	J'	IC	Densidad (ha ⁻¹) ^e	Altura (m) ^e	DAP (cm) ^e	IVIE (%) ^e	IC ^e	Fisionomía ^e	
Laguna de San Andrés															
Zona Sur	<i>A. germinans</i>	1100 ^a	3.5 ^a	12.0 ^a	44.4 ^a				600	5.0	8.8	33.6			
	<i>R. mangle</i>	233 ^a	2.8 ^a	3.2 ^a	29.7 ^a				300	4.8	6.3	21.2	2.2	Franja	
	<i>C. erectus</i>	200 ^a	2.3 ^a	4.3 ^a	25.9 ^a			0.3 ^d	800	3.4	5.4	32.5			
	<i>L. racemosa</i>								200	3.6	4.0	12.6			
	Estero Garrapatas														
	<i>R. mangle</i>	1001 ^a	5.3 ^a	12.1 ^a	66.6 ^a				650	6.1	17.0	39.7			
	<i>C. erectus</i>	500 ^a	4.2 ^a	6.6 ^a	33.4 ^a	0.27 ^a	0.90 ^a	1.6 ^d	200	4.0	17.0	32.7	5.4	Franja	
	<i>L. racemosa</i>								1740	6.0	8.7	27.6			
	Laguna del Carpintero														
	<i>L. racemosa</i>	900 ^a	5.9 ^a	5.3 ^a	38.6 ^a				1500	6.9	11.4	51.6			
<i>A. germinans</i>	767 ^a	6.2 ^a	4.5 ^a	30.4 ^a	0.51 ^a	0.73 ^a	2.4 ^d	500	7.1	27.0	48.4	16.7	Franja		
Vegetación secundaria				31.0 ^a											
Laguna la Costa															
<i>L. racemosa</i>	3867 ^a	4.9 ^a	4.9 ^a	38.9 ^a											
<i>A. germinans</i>	667 ^a	8.9 ^a	8.9 ^a	27.5 ^a	0.24 ^a	0.80 ^a	32.7 ^d							Cuenca	
<i>R. mangle</i>	550 ^a	10.6 ^a	10.6 ^a	33.6 ^a											
Laguna del Chairel															
<i>L. racemosa</i>								800	8.8	22.6	40.8				
<i>A. germinans</i>								600	8.5	21.8	32.0	33.1		Cuenca	
<i>R. mangle</i>								500	7.6	16.4	27.2				
Río Soto la Marina															
Zona Centro	<i>R. mangle</i>	3614 ^b	3.3 ^b	4.5 ^b	42.7 ^b				1100	3.0	6.5	31.8			
	<i>L. racemosa</i>	1486 ^b	4.3 ^b	4.9 ^b	30.1 ^b	1.28 ^b	0.80 ^b	12.5 ^d	600	2.6	3.8	21.3	2.0	Ribereño	
	<i>A. germinans</i>	836 ^b	4.8 ^b	10.3 ^b	22.8 ^b				700	3.1	6.1	30.2			
	<i>C. erectus</i>	150 ^b	3.2 ^b	3.7 ^b	4.4 ^b				300	2.5	3.3	16.7			
	Laguna de Morales														
	<i>R. mangle</i>	4267 ^c	2.6 ^c	4.5 ^c	54.1 ^c				1100	4.2	6.7	30.1			
	<i>A. germinans</i>	1743 ^c	3.8 ^c	6.1 ^c	41.2 ^c	1.17 ^c	0.58 ^c	10.3 ^d	900	4.5	7.3	28.8	4.0	Franja	
<i>L. racemosa</i>	81 ^c	2.3 ^c	4.0 ^c	3.1 ^c				600	2.0	5.3	22.7				
<i>C. erectus</i>	29 ^c	3.8 ^c	4.2 ^c	1.5 ^c				500	1.3	4.6	18.4				
La Carbonera															
Zona Norte	<i>A. germinans</i>							900	2.9	4.9	73.7	0.1		Franja	
	<i>C. erectus</i>							200	1.7	2.8	26.3				
Delta del Río Bravo															
	<i>A. germinans</i>							1400	2.8	4.7	100	0.1		Ribereño	

DAP = diámetro a la altura del pecho. IVIE. = índice de valor de importancia ecológica. H' = índice de Shannon-Wiener. J' = índice de equidad de Shannon. IC = índice de complejidad de Holdridge.

^aForoughbakhch et al., (2004); ^bEuan (2014); ^cPérez (2014); ^dvalor calculado con base en anteriores trabajos; ^edatos propios.



Otras publicaciones aportan solo datos de altura, cobertura y abundancia. Martínez y Novelo (1993) documentaron alturas para *A. germinans* y *C. erectus* de 4 m a 6 m en la bocana del río Soto la Marina, y señalaron para los ríos Carrizal y Tigre el desarrollo de comunidades puras o mezcladas de las cuatro especies con alturas de 3 m a 7 m. Háuad et al. (2000), registraron en el río Pánuco a *L. racemosa* y *A. germinans*, con coberturas respectivas de 900 ha⁻¹ y 767 ha⁻¹ individuos, y refieren a *L. racemosa* con el mejor porcentaje de germinación (41% a 51%) en campo, con una supervivencia de 20% a 30% durante 157 días. López-Portillo et al. (2007), en un diagnóstico para la laguna del Carpintero, citaron 3.39 ha ocupadas por *A. germinans*, y 0.3 ha por *L. racemosa*, con densidades en cobertura entre 600 ha⁻¹ y 1000 ha⁻¹, e indican diámetros a la altura del pecho (DAP) de 5 cm a 22 cm y de 4.5 cm a 20 cm, con alturas de 5 m a 9.5 m y de 4 m a 9 m, respectivamente. Además, existe la información de los sitios prioritarios de manglar (Conabio, 2022), donde se aportan mediciones de altura como se señala en la tabla 2.

Al demostrar que la caracterización forestal y ecológica son sujetas a transformaciones en tiempo y espacio, surge la necesidad de realizar nuevos estudios sobre la caracterización de la estructura vegetal y variables ambientales que determinen el estado actual del manglar, así como programar actividades de monitoreo continuo y al día, que respondan a los instrumentos legales para la sustentabilidad como los manifiestos de impacto ambiental o programas de manejo. Al vivir en un mundo cambiante y ser un ecosistema que se transforma, los resultados siempre tendrán vigencia y eficacia ante los ajustes que ocurran en los periodos dados.

Conservación

De acuerdo con Velázquez-Salazar et al. (2021), de las 3664 ha de manglar tamaulipeco, 1148 ha están bajo protección legal; 712 ha están en áreas naturales protegidas federales consideradas también sitios Ramsar: área de protección de flora y fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo [APFFLMDRB] y santuario Playa de Rancho Nuevo; y 436 ha están en un área natural protegida esta-

tal: zona especial sujeta a conservación ecológica La Vega Escondida. Los mangles del santuario están en terrenos adyacentes, pues este comprende solo 15 km de la línea de costa y 20 m de la zona federal marítimo terrestre (Valde-rrama-Landeros et al. 2017).

En adición, están 818 ha de los sitios prioritarios de manglar (no incluidos dentro de las áreas naturales protegidas, [ANP]), más el área no precisada del sitio GM51 Pueblo Viejo-El Chairel con 4810 ha pertenecientes a Tamaulipas (Conabio, 2022), como explica la tabla 2, que también expone la ubicación municipal y categorías de protección de los mismos sitios, al igual que las prioridades de investigación, complemento de esta agenda de investigación.

Si bien los decretos de ANP son, en parte, una de las estrategias de conservación necesarias, también es importante considerar la planeación e implementación de los programas de manejo correspondientes, además de exhortar el estudio de los procesos ecológicos y evolutivos de los manglares, con énfasis en las interacciones bióticas; interacción planta-planta en las sucesiones y desplazamientos geográficos o planta-animal, como la herbívora. En este aspecto, Zamora-Tovar et al. (2022) indican una estrecha relación de *A. germinans* con larvas de la mariposa *Juno-litoralis*, cuyo daño herbívoro ocasiona profundas implicaciones en sus procesos biológicos, y posibilitan una mejor comprensión de la función del ecosistema y su conservación.

Deterioros y amenazas

En México, las actividades antrópicas resultan ser la principal amenaza de deterioro y pérdida de los manglares y otros humedales costeros, aparte de los fenómenos naturales (Velázquez-Salazar et al., 2021). A este respecto, en Tamaulipas, se citan estresores como carreteras, diques, canales y basureros (Flores, 1994; Céspedes, 1999); además del impacto de la camaronicultura (Berlanga-Robles et al., 2011); al igual está la contaminación por metales pesados como el plomo (Sánchez, 1996). Foroughbakhch et al. (2004), al analizar metales pesados en manglares del sur de Tamaulipas, documentaron una mayor concentra-

Tabla 2. Sitios de manglar en Tamaulipas y sus prioridades de investigación.

Identificador	Nombre	Municipio	Especie	H (m)	CPP	PI
GM31	Barra de Ostiones	Soto la Marina	<i>R. mangle</i>	3.8	1); 5); 7).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	4.3		
			<i>L. racemosa</i>	2.8		
			<i>C. erectus</i>	3.6		
GM32	Barra del Tordo	Aldama	<i>R. mangle</i>	4.4	7); 10); 14).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	6.1		
			<i>L. racemosa</i>	4.1		
			<i>C. erectus</i>	3		
GM37	Delta del Río Bravo	Matamoros	<i>A. germinans</i>	4	1); 5); 6); 9); 13); 18); 19).	A); F); G); H); I); J); K).
GM41	La Pesca	Soto la Marina	<i>R. mangle</i>	3	1); 5); 6); 9); 15); 17).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	3.1		
			<i>L. racemosa</i>	2.6		
			<i>C. erectus</i>			
GM44	Laguna de Morales	Soto la Marina	<i>A. germinans</i>	4.5	1); 5); 6); 9); 17).	F); G); H); I); J); K).
			<i>R. mangle</i>	4.2		
			<i>L. racemosa</i>	2		
			<i>C. erectus</i>	1.3		
GM47	Lomas del Real	Aldama y Altamira	<i>R. mangle</i>	4.9	8); 11); 14).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	5.5		
			<i>L. racemosa</i>	3.3		
			<i>C. erectus</i>	3.2		
GM49	Miramar	Altamira, Ciudad Madero y Tampico	<i>R. mangle</i>	7.5	8); 14).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	5.5		
			<i>L. racemosa</i>	5		
			<i>C. erectus</i>	3.5		
GM51	Pueblo Viejo* – El Chairel	Altamira, Ciudad Madero y Tampico	<i>R. mangle</i>	6.4	3); 12); 16).	B); C); D); E); F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	7.5		
			<i>L. racemosa</i>	7.8		
			<i>C. erectus</i>	4.7		
GM52	Rancho Nuevo	Aldama y Soto la Marina	<i>R. mangle</i>	5.7	2); 4); 7); 10).	F); G); H); I); J); K).
			<i>A. germinans</i>	6.4		
			<i>L. racemosa</i>	4.6		
			<i>C. erectus</i>	3.8		

H: altura promedio

CPP: Categoría de protección o prioridad: 1) Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo; 2) Santuario Playa de Rancho Nuevo; 3) Zona Especial Sujeta a Conservación Ecológica La Vega Escondida; 4) Sitio Ramsar No. 1326; 5) Sitio Ramsar No. 1362; 6) Región Terrestre Prioritaria RTP 83; 7) RTP 93; 8) RTP 95; 9) Región Marina Prioritaria RMP 44; 10) RMP 45; 11) RMP 46; 12) RMP 47; 13) Región Hidrológica Prioritaria RHP 42; 14) RHP 73; 15) Área de Importancia para la Conservación de las Aves AICA NE-08; 16) AICA NE-30; 17) AICA NE-32; 18) AICA NE-39; 19) Sitio prioritario del Plan Norteamericano de Conservación de Humedales.

PI: Prioridades de Investigación: A) Realizar análisis de estudios socioeconómicos sobre impactos ambientales; B) Investigar el micro relieve y características edáficas; C) Estudiar la respuesta fisiológica de los manglares ante cambios del ecosistema; D) Evaluar el cambio de uso de suelo; E) Analizar la demografía de especies de manglar; F) Realizar de inventarios biológicos; G) Desarrollar una línea de monitoreo de la calidad del agua y biodiversidad; H) Analizar fisicoquímicamente parámetros ambientales; I) Estudiar la estructura vegetal del manglar; J) Hacer diagnósticos detallados de la ecología, dinámica poblacional y especies sensibles a alteraciones; K) Impulsar proyectos integrales de manejo y planificación.

*También circunscrita al estado de Veracruz. Municipios de Pánuco, Pueblo Viejo y Tampico Alto.



ción de plomo, seguido del cromo y cadmio, y discutieron el potencial uso biorremediador de *L. racemosa*, al capturar 13.48×10^6 (13.48 ppm) de plomo en raíces, 7.28×10^6 (7.28 ppm) en tronco y 5.77×10^6 (5.77 ppm) en hojas.

En particular, Bello et al. (2009b) señalan que el desarrollo urbano ejerce una gran presión ambiental y un riesgo ante su probable adaptación al cambio climático, al ejemplificar que la expansión del área conurbada Tampico-Madero-Altamira propiciaría la posible desecación de los humedales y pérdida de manglares. Esta situación regional también fue analizada mediante una revisión histórica social por medio de una serie de políticas ambientales establecidas en el marco legal institucional (Moral et al., 2013).

Restauración

La reforestación con mangles es el enfoque más empleado para la restauración ecológica en Tamaulipas. Zamora-Tovar et al. (2011) instauraron acciones de restauración con la participación comunitaria en Laguna Madre, formaron módulos de reforestación cuya adaptación y desarrollo práctico registró 60% de sobrevivencia para el mangle negro (*A. germinans*). El progreso advertido de este esfuerzo indica el crecimiento en árboles fértiles con alturas de 3 m y con desarrollo y dispersión de propágulos

(Zamora-Tovar, C., observación personal, 5 de octubre de 2020). Asimismo, este trabajo ha promovido la continuidad de las prácticas de reforestación comunitaria en el ANP Laguna Madre y Delta del Río Bravo, como lo realizado en La Capilla, municipio de Matamoros con mangle rojo (Fig. 5). Otros poblados también dan certeza de dichas acciones: Miguel de La Madrid (El Canal), municipio de Soto la Marina, y Punta de Alambre y Carbajal en el municipio de San Fernando.

En ese sentido, aquellos proyectos para la rehabilitación hidrológica y la restauración ecológica que contemplen acciones de monitoreo y supervisión son altamente recomendables a pesar de su complicada viabilidad de financiamiento. Es prioridad trabajar en los sitios de manglar catalogados por la Conabio (2022) por su importancia para la conservación, en áreas naturales protegidas y en lugares contaminados del sur de esta entidad. Al respecto, Fierro-Cabo y Cintra-Buenrostro (2017), evaluaron la composición de peces de un manglar restaurado usando como referencia un estuario no perturbado, y definieron una cadena trófica incompleta en los peces, pero una comunidad vegetal en total recuperación. Zamora-Tovar (2021) manifiesta que la reforestación comunitaria con ayuda de pescadores ha promovido la productividad de pesquerías artesanales.



FIGURA 5. Reforestación comunitaria de *Rhizophora mangle*, Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo, Tamaulipas, México. Fuente: Elaboración propia. Autor, Carlos Zamora-Tovar.

Tendencias generales

La necesidad de investigaciones integrales y con perspectiva regional, sugiere una agenda sostenible innovadora de investigación estatal enfocada al ecosistema de manglar (Koleff et al., 2014; Arkema et al., 2015; Partelow et al., 2017), la cual recomienda una serie de estudios plurales tendientes a investigar: a) el conocimiento de la biodiversidad de flora y fauna, con base en los patrones taxonómicos, ecológicos y biogeográficos; b) la fenología, fisionomía y ecofisiología; c) la productividad biológica, redes tróficas y capacidad de carga; d) los valores de uso e importancia económica; e) el impacto antrópico y acciones comunitarias de respuesta y adaptación; f) la creación de modelos ecológicos que expliquen y predigan escenarios actuales y futuros; g) el ordenamiento para la educación, manejo y gestión de los manglares incluyendo la implementación de programas de manejo en ANP con manglar; h) los ciclos biogeoquímicos y mitigación al calentamiento global (al presente, Medina-Santiago et al. (2018) documentaron un almacén de carbono aéreo medio de 2.5 (t/ha) para Laguna Madre). Además, la tabla 2 prepondera las investigaciones sugeridas para los sitios prioritarios de manglar.

CONCLUSIONES

La revisión crítica y el análisis sistemático de los estudios realizados permitieron establecer una línea base del conocimiento comprensible y práctica que define un marco conceptual que da sopeso a estudios no publicados formalmente; señala la falta de información y establece la conformación de una agenda de investigación para abordar las prioridades y tendencias de estudio en el estado. Se espera que sea un motivo y reto académico para plantear nuevas hipótesis de investigación, a modo de ser un insumo del desarrollo sostenible.

Algunos puntos clave son la investigación y el análisis del valor de la biodiversidad, del impacto ambiental y del potencial de los mangles para depurar contaminantes, considerando que Tamaulipas es un estado litoral y petrolero y que, dadas las situaciones de deterioro y ame-

nazas, es prioridad monitorear acciones de seguimiento, por el tipo y magnitud de los daños ocasionados, así como sus respuestas y adaptaciones ante el cambio climático, con anomalías en los patrones de lluvias, sequías y huracanes; y la tendencia del aumento del nivel del mar con variaciones como la subsidencia, acreción, erosión y sedimentación. También es necesario abordar, con desafío y oportunidad ante la gestión de políticas ambientales, los programas de manejo que garanticen los bienes y servicios de los manglares y la protección de la zona costera ante perturbaciones tanto antropogénicas como naturales. Al final, y para su manejo sustentable, emprender estudios sobre la efectividad de los instrumentos y planes legales que amparan las superficies protegidas, las que están en riesgo por deterioro y aquellas faltas de protección; con la necesidad de elaborar diagnósticos y gestiones para la búsqueda de estrategias idóneas e innovadoras para su conveniente uso, conservación ambiental y restauración ecológica.

Esta agenda, propone una diversidad de enfoques disciplinares que ayudan a un mejor entendimiento del conocimiento científico del ecosistema y posibilita su deseable comprensión en contextos no académicos de la sociedad. Se reconoce que los manglares constituyen un valioso recurso natural, en todos los sentidos de la vida, por lo que se tiene la expectativa de que lo presentado sea útil como un bien informativo a todo sector de la población, reconocido para ser emulado en otros lugares del país y del mundo.

RECONOCIMIENTOS

A la Conabio, por el patrocinio recibido a través del Proyecto LM013 “Monitoreo de los manglares de Tamaulipas, con énfasis en el estudio de su estructura vegetal y determinantes ambientales que caractericen su estado actual”. Al Comité Mexicano de Manglares A.C. por la invitación a publicar. A la M. C. Citlalli Alhelí González Hernández por la corrección ortotipográfica y de estilo del manuscrito y a la revista y evaluadores de este, por coadyuvar en su mejora.



REFERENCIAS

- Arkema, K. K., Verutes, G. M., Wood, S. A., Clarke-Samuel, C., Rosado, S., Canto, M., Rosenthal, A., Ruckelshaus, M., Guannela, G., Tofta, J., Fariesa, J., Silvera, J. M., Griffina, R., & Guerry, A. D. (2015). Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7390-7395. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406483112>
- Barbier, E. B. (2016). The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 676-681. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.033>
- Bello, P. J., Gómez, M. L., Magaña, R. V., Graizbord, V., & Rodríguez, G. P. H. (2009a). Sitio piloto Río San Fernando-Laguna La Nacha. En F. J. Buenfil (Ed.), *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* (Vol. 2, pp. 391-413). Instituto Nacional de Ecología - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Bello, P. J., Gómez, M. L., Magaña, R. V., Graizbord, V., & Rodríguez, G. P. H. (2009b). Sitio piloto Río Pánuco-Altamira. En F. J. Buenfil (Ed.), *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* (Vol. 2, pp. 414-434). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., & Hernández-Guzmán, R. (2011). Impact of shrimp farming on mangrove forest and other coastal wetlands: the case of Mexico. En B. Sladonja (Ed.), *Aquaculture and the environment e a shared destiny* (pp. 17-30). InTech.
- Cámara, A. R. (1999). Manglares limítrofes de la zona tropical: Soto de La Marina (Tamaulipas, México). Condicionantes genéticos y evolutivos. En L. Palli & C. Roque (Eds.), *Avances en estudios del Cuaternario español* (pp. 75-84). Universitat de Girona.
- Céspedes, C. A. E. (1999). *Tendencias en la dinámica poblacional y manejo de los manglares en la cuenca baja del río Pánuco, límite tropical del Golfo de México* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/15890>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2008). *Manglares de México*.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2009). *Manglares de México: Extensión y distribución* (2a. ed.). Conabio. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/manglares_de_mexico.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2022). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Sitios prioritarios de Manglar en Tamaulipas*. Conabio. <http://speck.conabio.gob.mx/manglarfotos/TAM/sitipri/index.html>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2004). *Documento Estratégico Rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. <https://idefor.cnf.gob.mx/documents/846/download>
- de-Souza, Q. L., Rossi, S., Calvet-Mir, L., Ruiz-Mallén, I., García-Betorz, S., Salvà-Prat, J., & de-Andrade, M. A. J. (2017). Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. *Ecosystem Services*, 26, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.013>
- Espinoza-Tenorio, A., Espejel, I., & Wolff, M. (2011). Capacity building to achieve sustainable fisheries management in Mexico. *Ocean Coastal Management*, 54(10), 731-741. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.07.001>
- Euan, H. A. A. (2014). *Diversidad de especies de mangle en Soto La Marina, Tamaulipas e Isla de Jaina, Hecelchakán, Campeche* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3883>
- Fierro-Cabo, A., & Cintra-Buenrostro, C. E. (2017). Fish assemblage structure indicates limited restoration progress over a lustrum of a severely degraded estuary in Southern Tamaulipas, Mexico. *Environment and Ecology Research*, 5(4), 312-324. <https://doi.org/10.13189/eer.2017.050408>

- Fierro-Cabo, A., Zamora-Tovar, C., Arellano-Méndez, L., & Cintra-Buenrostro, C. (2023). Laguna Madre de Tamaulipas. En K. Whitters, B. R., Chapman, J. W. Tunnell Jr, & F. W. Judd (Eds.), *The Laguna Madre of Texas and Tamaulipas* (Edición revisada, pp. 198-226). Texas A&M University Press.
- Flores, B. J. (1994). *Impacto y estresores en el manglar del delta del Tamesí, Tamaulipas, México* [Tesis de Licenciatura inédita, Universidad del Noreste].
- Foroughbakhch, P. R., Céspedes, E., Alvarado, M., Núñez, A., & Mohammad, B. (2004). Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. *Ciencia UANL*, 7(2), 203-208.
- Guo, H., Zhang, Y., Lan, Z., & Pennings, S. (2013). Biotic interactions mediate the expansion of black mangrove (*Avicennia germinans*) into salt marshes under climate change. *Global Change Biology*, 19, 2765-2774. <https://doi.org/10.1111/gcb.12221>
- Háuad, M., Foroughbakhch, R., Céspedes, E., Ponce-Moreno, E., & Hernández-Piñero, J. (2000). Dispersion and recruitment of three mangrove species in the tropical area of the Gulf of Mexico. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 66, 33-37.
- Hayden, B. P., Ray, G. C., & Dolan, R. (1984). Classification of Coastal and Marine Environments. *Environmental Conservation*, 11(3), 199-207. <http://www.jstor.org/stable/44520376>
- Holdridge, R. L. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Johnson, M. W. (2013). Range expansion of black mangroves (*Avicennia germinans*) to the Mississippi barrier islands. *Gulf of Mexico Science*, 31(1), 79-82. <http://doi.org/10.18785/goms.3101.08>
- Kaalstad, S., Osland, M. J., Devlin, D. J., Proffitt, C. E., Feher, L. C., Armitage, A. R., Day, R. H., Swanson, K. M., Anderson, G. H., Berger, B., Cebrian, J., Cummins, K. L., Dunton, K. H., Feller, I. C., Fierro-Cabo, A., Flores, E., From, A., Hughes, A. R., Kaplan, D. A., & Zamora-Tovar, C. (2023). Temperature thresholds for leaf damage from two extreme freeze events (2018 and 2021) near the northern range limit of black mangroves (*Avicennia germinans*) in Southeastern North America. *Estuaries and Coasts*, 47, 292-300. <https://doi.org/10.1007/s12237-023-01279-7>
- Koleff, P., Urquiza-Haas, T., & Sarukhán, J. (2014). Evaluaciones científicas: Herramienta para enlazar el conocimiento sobre la biodiversidad con el desarrollo de políticas públicas para la sustentabilidad. *Investigación ambiental*, 6(2), 61-75.
- Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannici, S., Dieles, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., & Record, S. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(7), 726-743. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>
- López, L. B. (2006). La búsqueda bibliográfica: Componente clave del proceso de investigación. *DIAETA*, 24(115), 31-37.
- López-Portillo, J., & Ezcurra, E. (2002). Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, 8(número especial), 27-51. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.801290>
- López-Portillo, J., Vázquez, R. V., & Pérez-Maqueo, O. (2007). *Estado actual de los manglares y otras comunidades vegetales en la planicie inundable de la laguna del Carpintero, Tampico, Tamaulipas* (Informe técnico, 17 p.). Instituto de Ecología, A.C.
- López-Portillo, J., Vázquez, R. V., Gómez, A. L., & Lara-Domínguez, A. L. (2011). Distribución, estructura y perspectivas de conservación de los manglares. En A. A. Cruz (Ed), *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado* (Vol. 1, pp. 203-212). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Gobierno del estado de Veracruz. Universidad Veracruzana - Instituto de Ecología, A.C.
- Lot, H. A., Vázquez-Yanes, C., & Menéndez, F. (1975). Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf coast of Mexico. En G. E. Walsh, S. C. Snedaker, & T. Teas, (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves* (Vol. 1, pp. 52-61). University of Florida.



- Lugo, A. E., Medina, E., & McGinley, K. (2014). Issues and challenges of mangrove conservation in the Anthropocene. *Madera y Bosques*, 20(número especial), 11-38. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.200146>
- Martínez, M., & Novelo, A. (1993). La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología UNAM, Serie Botánica*, 64(2), 59-86. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/1856>
- Medina-Santiago, P., Arellano-Méndez, L., Teutli-Hernández, C., Caamal-Sosa, J., Mora-Olivo, A., De la Rosa, M. E., Reyna-González, P., & Herrera-Silveira, J. (2018). Evaluación de almacén de carbono aéreo de los manglares, en la zona centro de Laguna Madre, Tamaulipas. En F. Paz, A. Velázquez, & M. Rojo (Eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2018* (pp. 295- 301). Programa Mexicano del Carbono e Instituto Tecnológico de Sonora.
- Méndez-Alonso, R. M., López-Portillo, J., & Rivera-Monroy, V. H. (2008). Latitudinal variation in leaf and tree traits of the mangrove *Avicennia germinans* (Avicenniaceae) in the central region of the Gulf of Mexico. *Biotropica*, 40(4), 449-456. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00397.x>
- Moral, P. L., Martínez, P. J., & Elizalde, S. (2013). Orden jurídico e institucional para la adaptación y mitigación del impacto del cambio climático sobre los humedales costeros del sur de Tamaulipas, México. *Revista Política y Jurídica*, 2(3), 17-32.
- Partelow, S., Schlüter, A., von-Wehrden, H., Jänig, M., & Senff, P. (2017). A sustainability agenda for tropical marine science. *Conservation Letters*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/conl.12351>
- Pérez, R. C. (2014). *Diferencias en la estructura de manglares entre Soto La Marina, Tam. y la Isla de Jaina, Cam* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3888>
- Reimann, L., Vafeidis, A. T., & Honsel, L. E. (2023). Population development as a driver of coastal risk: Current trends and future pathways. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 1, e14. <https://doi.org/10.1017/cft.2023.3>
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-Mac Donald, L., & Galindo-Leal, C. (2013). *Manglares de México. Extensión, distribución y monitoreo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz-López, M. I., Olguín, M., Villeda-Gaytán, S. A., & Flores, R. (Coords.). (2018.) *Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa.
- Salmo, S. G. III., Favis, A. M. T., Ting, M. N. S., & Lim, A. B. U. (2017). *State of the mangrove summit: Southern Luzon Proceedings*. Ateneo de Manila University.
- Sánchez, L. L. (1996). *Plomo en agua-sedimento-hojas de manglar en el canal "El Zapote y la laguna "La Costa" en Tampico, Tam. Méx.* [Tesis de Licenciatura inédita, Universidad del Noreste].
- Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M., Halpern, B. S., Jorge, M. A., Lombana, A., Lourie, S. A., Martin, K. D., McManus, E., Molnar, J., & Robertson, J. (2007). Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57(7), 573-583. <https://doi.org/10.1641/B570707>
- Valderrama, L., Troche, C., Rodríguez, M. T., Márquez, D., Vázquez, B., Velázquez, S., Vázquez, A., Cruz, M. I., & Ressler, R. (2014). Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlands*, 34(4), 747-758. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0539-9>
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J. A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M. I., & Ressler, R. (2017). *Manglares de México: Actualización y exploración de los datos del sistema de*

monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. .

- Velázquez-Salazar, S., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Alcántara-Maya, J. A., Villeda-Chávez, E., Valderrama-Landeros, L., Troche-Souza, C., Vázquez-Balderas, B., Pérez-Espinosa, I., Cruz-López, M. I., Ressler, R., De la Borbolla, D. V., Paz, O., Aguilar-Sierra, V., Hruby, F. & Muñoz-Coutiño, J. H. (2021). *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H., & MacKenzie, R. A. (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region-by-region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4), 1-25. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1211>
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J. W., & Day, R. H. (2014). Manglares: Ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*, 20(número especial), 39-75. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.200147>
- Zamora-Tovar, C., Jiménez, P. J. L., Cardona, E. A., González, R. C. E., Garza, T. H. A., Herrera, P. G., & Sánchez-Ramos, G. (2011). Participación Comunitaria en la Restauración Ecológica de la Laguna Madre. *CienciaUAT*, 21(3), 38-47. <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/76>

Zamora-Tovar, C. (2018). *Patrones ecológicos del manglar tamaulipeco* [Tesis doctoral inédita, Universidad Autónoma de Tamaulipas].

Zamora-Tovar, C. (2021). The fishing communities involved in mangrove restoration promote the productivity of its artisanal fisheries. *Oceanography & Fisheries Open access Journal*, 13(3), 555865. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2021.13.555865>

Zamora-Tovar, C., Fierro-Cabo, A., Lindig-Cisneros, R., & Feller, I. C. (2022). First report of *Avicennia germinans* (Acanthaceae) as a larval host of *Junonia litoralis* (Nymphalidae) causing higher foliar damage in seedlings than trees. *Plant Species Biology*, 37(3), 231-242. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12372>

Manuscrito recibido el 11 de agosto de 2023

Aceptado el 15 de noviembre de 2023

Publicado el 09 de julio de 2024

Este documento se debe citar como:

Zamora-Tovar, C., Fierro-Cabo, A., & Requena-Lara, G. N. (2024). Agenda de investigación para el manejo sustentable del manglar en Tamaulipas, México. *Madera y Bosques*, 30(4), 3042615. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3042615>



Madera y Bosques, por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.