

Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: hacia un Desarrollo Sostenible

Mangroves and their Ecosystem Services: Towards Sustainable Development

Milagro Carvajal-Oses^{a, b, c, f}, Ángel Herrera-Ulloa^{b, c}, Benedicto Valdés-Rodríguez^{a, d},
Roel Campos-Rodríguez^e

RESUMEN

Los manglares se extienden a través de las zonas tropicales y sub tropicales del planeta, se han adaptado a sobrevivir a condiciones ambientales adversas por lo tanto, han desarrollado características de supervivencia únicas frente a suelos de alta salinidad, anaerobios, y a un entorno desafiante para la dispersión y propagación de semillas. Estos bosques ofrecen servicios ecosistémicos que han ido disminuyendo en los últimos años por factores principalmente antropogénicos y se prevé que el cambio climático también influirá negativamente; por lo tanto se hace necesario gestionar de manera sostenible el recurso manglar con el que aún se cuenta. En el presente trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica que recopiló información entre el período temporal 2009-2020. Se recuperaron 89 artículos científicos de buscadores académicos como Springer Link, Scielo y Dialnet. Los principales tópicos de la búsqueda contemplaron: descripción general de manglares, servicios ecosistémicos, cambio climático, áreas prioritarias de investigación, papel de educación ambiental, gestión comunitaria y perspectivas futuras. Esta revisión no tiene el propósito de contemplar todo el estado del arte del tema en discusión, sin embargo, realiza un acercamiento a la actualidad de los manglares.

ABSTRACT

Mangroves extend through the tropical and subtropical areas of the planet, they have adapted to survive adverse environmental conditions, therefore, they have developed survival characteristics against high salinity, anaerobic soils, and a challenging environment for seed dispersal and propagation. These forests offer ecosystem services that have been declining in recent years due to mainly anthropogenic factors, and climate change is also expected to influence negatively; therefore, it is necessary to sustainably manage the mangrove resource that still exists. In the present work, a bibliographic search was conducted that compiled information between the time period 2009-2020. 89 scientific articles were retrieved from academic search engines such as Springer Link, Scielo and Dialnet. The main topics of the search included: general description of mangroves, ecosystem services, climate change, priority research areas, role of environmental education, community management and future perspectives. This review is not intended to contemplate the entire state of the art of the subject under discussion, however, it does approach the actuality of mangroves.

PALABRAS CLAVE: comunidad; carbono; restauración; gestión; servicio ecosistémico.

KEY WORDS: community; carbon; restoration; management; ecosystem service.

a Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE). Cartago, Costa Rica. ORCID Carvajal-Oses, M.: 0000-0002-8294-9863; ORCID Valdés-Rodríguez, B.: 0000-0002-2264-5139

b Parque Marino del Pacífico. Puntarenas, Costa Rica. ORCID Herrera-Ulloa, Á.: 0000-0003-2375-2945

c Universidad Nacional de Costa Rica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Heredia, Costa Rica

d Universidad Autónoma de Chiriquí, Laboratorio de aguas y servicios fisicoquímicos. David, Panamá

e Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronegocios. Cartago, Costa Rica. ORCID Campos-Rodríguez, R.: 0000-0003-4460-2313

f Autor de correspondencia: milagro.carvajal.oses@una.cr

Recepción: 12 de septiembre de 2019. Aceptación: 29 de noviembre de 2019

Introducción

El término “manglar” provino de la palabra guaraní (del Paraguay) “mangrow” en 1610, y ha ido modificándose de acuerdo con el idioma, en inglés es “mangrove”, en francés “manglier” en Surinam “mangro” entre otros que están reportados en Nabeelah-Bibi et al. (2019). Los bosques de manglar son los únicos halófitos leñosos que viven en agua salada a lo largo de las zonas tropicales y subtropical del planeta (Alongi, 2014). Se encuentra entre los ecosistemas más productivos en la Tierra y soporta a más de 80 especies de flora y 1.300 especies de fauna (Datta, et al., 2010; Díaz-Gaxiola, 2011; Salem y Mercer, 2012). El 79% se concentra en 19 países; dentro de los cuales Indonesia, Australia y Brasil representan casi el 40% (Beys-da-Silva et al., 2014); y el restante 21% se encuentran en 119 países (Onyena y Sam, 2020).

Su ocurrencia está influenciada por los regímenes de mareas y ciertos parámetros del agua como la salinidad (Njisuh, 2015), nutrientes e hidropereodo (Castañeda-Moya et al., 2013). Estos ecosistemas costeros cubren 4% de la superficie terrestre, pero en ellos está asentada un tercio de la población mundial (Zhao et al., 2016). A pesar de la riqueza de estos bosques, casualmente están asociados a poblaciones de escasos recursos económicos, donde la explotación natural ha sido alta, existen políticas débiles, escasea la seguridad social y alimentaria (Glaser et al., 2012; Alongi, 2014).

Los manglares han sido frágiles ante los impactos negativos relacionados con el clima, y se cree que su resiliencia será superada para el año 2100 (Munang et al., 2013) por lo que podrían desaparecer en su totalidad (Beys-da-Silva et al., 2014; Spalding et al., 2014).

Además, reciben una gran presión antropogénica, están siendo deforestados y con ello han contribuido con el 10% del total de emisiones globales producidas por la deforestación tropical (Murdiyarso et al., 2015). Se ha calculado que entre un 10 y 16% de las especies de manglares se encuentran en condición de vulnerabilidad debido a la sobreexplotación y tala selectiva (Polidoro et al., 2010). Se han reportado pérdidas anuales de estos bosques en un 2% de 1980 a 1990, de un 1% desde 1990 al 2000 y actualmente se estima de 0,66% (Lewis et al., 2019; Bryan-Brown

et al., 2020). Sumado a lo anterior, según Samper-Villarreal et al. (2018) a los manglares se les hace descargas de aguas servidas, ha existido cambios de uso de suelo, contaminación por industrias y uso irregular de sus servicios ecosistémicos.

Los manglares se pueden catalogar como sistemas diversos, complejos y dinámicos; por lo que la gestión de estos bosques se debe analizar desde la perspectiva multidimensional (ambiental, social y económico), temporal (a corto y largo plazo) (Morizumi et al., 2010; Glaser et al., 2012; Atwood et al., 2017), multidisciplinaria (Nicholson et al., 2009); y se recomienda además contar con apoyo de modelos de sostenibilidad como las evaluaciones de los “servicios de los ecosistemas” (SE), los cuales comprenden todos los bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas naturales que benefician, sostienen, apoyan el bienestar humano y evalúa la manera de utilizarlos medidamente (Tuan Vo et al., 2012), por lo que la protección hacia este recurso no solo tiene repercusiones locales sino regionales y globales (Thur, 2010). El objetivo de la presente revisión es brindar información que permita incentivar la gestión y conciencia ambiental en los manglares.

Indicadores de sostenibilidad para manglares

Weilhoefer (2011) definió los indicadores en humedales como una medida de los componentes del ecosistema que proporciona formas prácticas y económicas para rastrear alguna condición; existen numerosos criterios para definir un indicador ideal entre los cuales se pueden citar a) contar con una base científica, b) que respondan al estrés del ecosistema de manera predecible, c) fáciles de medir e interpretar, d) bajo costo económico y e) relevante para los gestores ambientales y los responsables políticos. Los indicadores no provocan cambios de comportamiento individual por lo que se puede decir que su función principal es hacer visible una problemática y priorizarla (Hák et al., 2018). En manglares se requiere el desarrollo de indicadores holísticos que involucren funciones y servicios específicos (Richards y Fries, 2015). Faridah-Hanum et al. (2019) reportaron en su investigación la problemática de la elección de indicadores adecuados

para el manglar debido a la compleja interacción en estos ambientes; lo que ha dificultado la elección de modelos estadísticos para la correcta toma de decisiones, por ejemplo Mahoney y Bishop (2017) detectaron que el modelaje entre los indicadores utilizados por la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) no reflejaba la realidad de los manglares analizados.

También, se han encontrado limitaciones en los indicadores destinados a la restauración de los manglares, ya que la mayoría de las investigaciones se han basado principalmente en algunos métodos de evaluación de la salud ecológica del ecosistema en general y la evaluación de la calidad del agua; estos indicadores son importantes pero no los únicos para este tipo de análisis, por lo que se recomiendan también utilizar los sociales y los basados en las percepciones de los habitantes de las comunidades (Marchetti et al., 2010). Apoyando lo anterior Borja et al. (2009) sugieren que se debería reconocer no solo la importancia de las interacciones entre las especies del manglar, sino también los roles de los factores abióticos (parámetros ambientales) y las perspectivas sociales, económicas e institucionales.

Uno de los mayores logros de los indicadores además de la recuperación paulatina de los ecosistemas, ha sido crear herramientas tecnológicas (programas informáticos) donde se agregan ciertos indicadores del manglar (microfauna, suelo, variables fisicoquímicas) que ya han sido elegidas estadísticamente, lo que ha ayudado a reducir la mano de obra, el tiempo y el costo en el monitoreo en comparación con la práctica actual de verificar manualmente los datos como es el caso del volumen de stock de madera como un indicador de salud del manglar (Faridah-Hanum et al., 2019). Así mismo, a pesar de que en un manglar no exista información suficiente o es complejo obtener datos, con los modelos informáticos aún en las condiciones adversas se puede obtener resultados confiables (Marshall et al., 2018).

Indicadores ambientales

Permiten evaluar la condición de salud ecológica de los ecosistemas, entre estos indicadores se pueden mencionar la biomasa arbórea (Basuki et al., 2009), invertebrados (Bartolini et al., 2009; Wildsmith et

al., 2009), ciclos biogeoquímicos (Brito et al., 2012), fitoplancton (Lugoli et al., 2012), nutrientes del suelo (Mukherjee y Lal, 2014), secuestro de carbono (Zhao et al., 2014), integridad abiótica (Gara y Stapanian, 2015), aves (Kosicki y Chylarecki, 2014), vegetación (Lee y Yeh, 2009; Ibrahim et al., 2015), cambios temporales en uso de suelo (Coto et al., 2018) y bacterianos (Wu et al., 2019).

Indicadores sociales

La sostenibilidad es una condición que mejora la vida dentro de las comunidades y se ha manifestado por un sentido de cohesión donde las personas viven, trabajan y prosperan en un entorno equitativo (Datta et al., 2012). El enfoque principal de este marco es el ser humano situado dentro de su contexto social y psicológico, sus necesidades no materiales, su comprensión del bienestar y lo racional, así como los componentes emocionales de sus actitudes (James et al., 2013). Este mismo autor señala algunos indicadores sociales como el valor terapéutico, valor de amenidad, valor del patrimonio, valor espiritual y valor de la existencia. Datta et al. (2010) identificaron otros como el espíritu cooperativo entre la comunidad, tiempo dedicado a la familia y percepciones acerca del valor al manglar. Glaser et al. (2010) añade la alimentación, salud y educación.

Indicadores económicos

Glaser et al. (2010) lo define como los diversos usos que se aprovechan del ecosistema de manglar, que se les puede asignar un costo monetario y mencionan indicadores como el empleo, turismo y extracción (pesca, miel y moluscos). Este tema será evaluado en el siguiente subtema de los SE.

Indicadores de los Servicios Ecosistémicos – SE

Los servicios de los ecosistemas se proporcionan en sistemas socio-ecológicos complejos e interconectados, que se caracterizan por tener factores determinantes biofísicos y sociales que interactúan entre sí (Tanner et al., 2019). Los SE han permitido no solo evaluar económicamente los recursos, sino que también ser fuentes de información para los tomadores de decisiones y no deben confundirse con otros tipos de indicadores pues estos

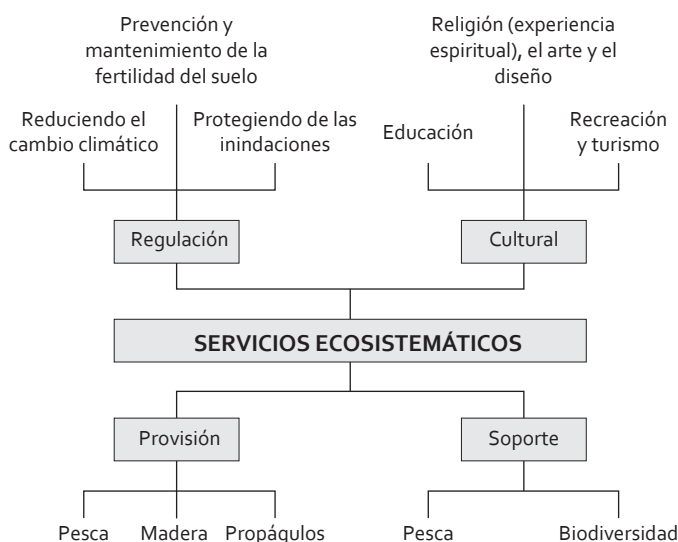


Figura 1. Clasificación según Marlianingrum et al. (2019) de los servicios ecosistémicos en manglares y algunos ejemplos. Fuente: elaboración propia

específicamente hacen referencia a beneficios para la comunidad y no a procesos biológicos como la distribución, abundancia y sobre-vivencia de especies (Olander et al., 2018). Según Marlianingrum et al. (2019), los SE pueden dividirse en cuatro grupos de aprovisionamiento, de apoyo, de regulación y culturales (Figura 1).

Algunos de los indicadores que se pueden mencionar o utilizar en estudios posteriores están los de protección (contra desastres naturales, inundaciones y marejadas ciclónicas, así como aumento del nivel del

mar, intrusión salina y erosión) (Barbier, 2016), fijación de dióxido de carbono (McLeod et al., 2011), criaderos de organismos marinos, capturadores de sedimentos, recicladores de nutrientes, además de brindar bienes comerciales como madera, alimentos, medicamentos (Datta et al., 2012; Salem y Mercer, 2012) y otros intangibles a nivel cultural como religiosos, educativos, diseños artísticos, apreciación e inspiración (Balvanera et al., 2012; Marlianingrum et al., 2019).

Los valores económicos de los SE, pueden medirse ya sea por precio directo (\$) en el mercado PM

Tabla 1. Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos y su tipo de valoración económica

Indicadores	Servicios económicos que representa	Tipo de valoración	Método utilizado
Control de inundación	Protección del suelo	Uso indirecto	RCM
Protección de tormentas	Protección de tormentas	Uso indirecto	RCM
Mantenimiento calidad de agua	Mejora de calidad de agua	Uso indirecto	VCM
	Depósito de sedimentos	Uso indirecto	RCM
Criadero de peces	Pesca comercial	Uso directo	PM
	Pesca recreacional	Uso directo	CTM
	Obtención de materia prima	Uso directo	PM
Biodiversidad	Apreciación de la biodiversidad	No uso	VCM
Secuestro de carbono	Reduce calentamiento global	Uso indirecto	RCM
Medio natural	Turismo	Uso directo	VCM

Fuente: adaptado de Salem y Mercer (2012)

(madera o productos pesqueros) o por valoración indirecta como el valor de contingencia en el mercado VCM (por medio de encuestas de percepción que permiten determinar cuánto están dispuestos a pagar las personas de la comunidad por esos servicios), valor de reemplazo RCM (cuánto costaría reemplazar ese bien natural por alguna opción que exista en el mercado) o valor por costo de viaje CTM (gastos económicos generados a la población cuando realiza actividades turísticas) (Salem y Mercer, 2012) (Tabla 1).

Servicios Ecosistémicos a nivel mundial

Los manglares en el mundo se estiman en 19,9 millones de hectáreas, de los cuales el mayor porcentaje se ubica en Asia (42%) y de esta cifra entre el 18 a 23% está localizado en el Archipiélago de Indonesia (Marlianingrum et al., 2019; Sarker et al., 2016) (Tabla 2), en el cual el valor de sus SE por hectárea de manglar oscila entre 239 USD y 4185 USD, y se espera que para el 2050 sus beneficios alcancen 2,2 billones anuales USD (Brander et al., 2012).

En cuanto a los manglares africanos (20%) estos se extienden en ambas costas del continente (algunos se localizan en Papúa Nueva Guinea con 6236 km², Gabón con 3864 km², Mozambique con 2658 km² y Camerún con 1323 km²) y su principal servicio ecosistémico reportado en la literatura corresponde a la leña (Vegt et al., 2014; Nabeelah-Bibi et al., 2019). En Oceanía (7,3%) existe una barrera de manglares (Australia) que se ha caracterizado por su constante cambio de suelo para fines agrícolas y ha generado preocupación (Butler et al., 2013). América cuenta con un 26% de los manglares del mundo que se han caracterizado por ser biogeográficamente aptos para el desarrollo de recursos marinos de muy alta productividad, donde estos ecosistemas han apoyado a la pesquería de la región y que son además, Patrimonios Mundiales (Balnavera et al., 2012; López-Angarita et al., 2016) (Figura 2 y Tabla 2). A pesar de que en América Latina, los manglares son protegidos con políticas internacionales como las Convenciones Ramsar de humedales y a nivel regional se han establecido estrategias de manejo y planes de gestión (López-Angarita et al., 2016; Richards y Friess, 2016) las pérdidas de parches registradas hasta el 2005 han sido inminentes en países



Figura 2. Distribución de los principales manglares del Pacífico oriental a lo largo de América Latina. Fuente: modificado de López-Angarita et al. (2016).

Tabla 2. Regiones del mundo con su respectiva área, porcentaje a nivel global y número de especies de mangle según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático

Región	Área (km ²)	Porcentaje global	Especies
África	2.770.609,1	20,1	14
Asia	5.776.173,4	41,9	55
Australia y Nueva Zelanda	1.009.713,4	7,3	36 (1 NZ)
América Central y Caribe	1.787.705,1	13,0	11
Medio Oriente	33.770,9	0,3	2
América del Norte	252.284,7	1,8	4
Pacífico	623.755,1	4,5	35
América del Sur	1.522.620,0	11,1	11

Fuente: IPCC (2013, 2014).

como Brasil (-50%), México (-36%), Cuba (-24%), Venezuela (-18%), Colombia (-11%), Panamá (-8%) y Ecuador (-8%) (Basha, 2018).

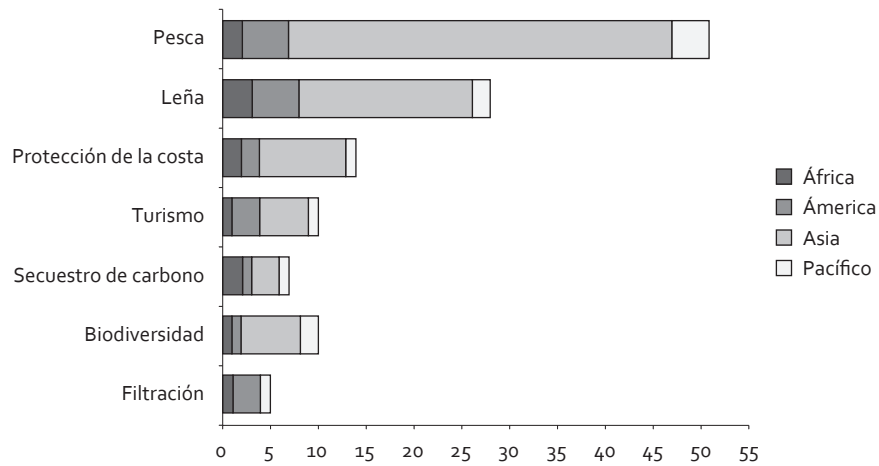


Figura 3. Investigaciones por servicio ecosistémico y continente. Fuente Vegt et al. (2014).

El principal SE evaluado y estudiado a nivel mundial es el relacionado con las pesquerías y seguido por el aprovechamiento forestal (Figura 3), numéricamente esto representa en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ 539 de mariscos, 146 de camarones, 5140 de madera y un secuestro de carbono de $5,27 \text{ mg de carbono ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Salem y Mercer, 2012). No obstante, los datos tienden a ser sesgados, pues a pesar de que África representa 20% de los manglares del mundo al 2014 solo el 7% de la investigación en SE correspondía a esta región (Vegh et al., 2014).

Efecto del Cambio Climático hacia el manglar

Los efectos del Cambio Climático sobre la biota y los ecosistemas han sido a nivel global, en el caso de los manglares son especialmente afectados por su fragilidad y ubicación lo que los hace susceptibles a estos cambios (Takahashi y Martínez, 2015). Este fenómeno intensifica los peligros costeros e impone desafíos importantes en las regiones costeras, que al estar ubicadas en zonas de baja elevación son vulnerables al aumento del nivel del mar e inundaciones

Tabla 3. Regiones del mundo y posibles consecuencias del Cambio Climático al 2100 según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

Región	Tasa de crecimiento del nivel del mar (m)	Incremento de temperatura	Cambio en la precipitación	Incremento de ciclones
África	1,1-3,8	Muy probable	Muy probable (+ Este y Sur) (-Oeste)	Sin señales de cambio
Asia	2,0-5,4	Muy probable	Muy probable (+)	Probable
Australia y Nueva Zelanda	2,0-3,8	Muy probable	Muy probable (+)	Probable
América Central y Caribe	1-2,5	Muy probable	Muy probable disminución en la época lluviosa	Probable
Medio Oriente	2,2-3,3	Muy probable	Probable	Sin señales de cambio
América del Norte	3,0-5,1	Muy probable	Muy probable (-)	Probable
Pacífico	1,4-2,0	Muy probable	Muy probable (+)	Probable
América del Sur	2-3,5	Muy probable	Muy probable (+ Oeste y Sur Este)	Probable

Fuente: IPCC (2013, 2014)

extremas, perdiendo así la capacidad de recuperación (Beys-da-Silva et al., 2014; Spalding et al., 2014). En las últimas décadas el nivel del mar ha incrementado $3,2 \text{ mm año}^{-1}$; pero se prevé que antes del año 2100 (Tabla 3) haya aumentado entre 0,28 y 0,98 m (Ward et al., 2016). Además, podrían verse afectados por la acidificación del océano, aumento de las temperaturas, alteración en los patrones de precipitación, cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas costeras y variaciones de salinidad (Mehvar et al., 2019). El deterioro del manglar significaría cerca de 200.000 USD a 900.000 USD millones en pérdidas por todos los servicios ecosistémicos que se dejarían de aprovechar (Powell et al., 2019). Algunas de las opciones de adaptación ante este cambio climático son la diversificación de las especies objetivo en la pesca, la acuicultura, el ecoturismo, la deforestación y búsqueda de nuevas opciones de productos para extraer (Huxham et al., 2017). Los estudios sobre resiliencia climática han aumentado en los últimos años y se están considerando cada vez más en prácticas relacionadas con la protección, restauración y gestión costera (Fischelli et al., 2016). La Tabla 3 describe las variaciones esperadas por área geográfica debido al Cambio Climático para el año 2100.

Áreas prioritarias de investigación en servicios ecosistémicos

Las investigaciones en manglares han estado enfocadas en indicadores como los son la biomasa, la productividad, los propágulos, la estructura forestal y en menor medida aspectos sociales (Cortés et al., 2010). En la actualidad se han ido utilizando técnicas más especializadas como la utilización de isótopos para evaluar si las fuentes de carbono presentes en las hojas de los manglares provienen de fuentes naturales o son producto de la contaminación, logrando así dar un diagnóstico del estado de salud del ecosistema (Samper-Villarreal et al., 2018). En este mismo campo Ward et al. (2016) analizaron el cambio climático por medio de los radionúclidos horizontales (^{137}Cs) de las hojas. O'Mullan et al. (2019) recomendaron utilizar indicadores genéticos basados en las bacterias fecales de los sedimentos para aquellos manglares asentados cerca de

áreas urbanas. Si se desea de igual manera evaluar el estado ambiental pero basado en fauna se recomiendan estudios en invertebrados como cangrejos (Faridah-Hanum et al., 2019) o moluscos (Syahrial et al., 2019) pues son indicadores antropogénicos. También se han utilizado los Sistemas de Información Geográfica y sensores remotos para trabajar con indicadores de cambio de paisaje (Coto et al., 2018). Marshall et al. (2018) determinaron que la teledetección satelital combinada con la derivación de modelos en ecosistemas proporciona una manera de estructurar los esfuerzos para la elección de mejores y más adecuados indicadores, que brinden mayor información certera así como oportunidades para superar desafíos en ecosistemas relativamente pobres en datos. Faridah-Hanum et al. (2019) implementaron un programa informático basado en estadísticas para la elección de indicadores de mayor relevancia en los estudios de manglares; lo que ha permitido reducir la mano de obra, el tiempo y el costo en el monitoreo.

Finalmente, se requiere a nivel investigativo a) análisis económicos del valor de los SE en ecosistemas estuarinos y costeros en general, sobre todo en África y las islas del Caribe americano (Vegh et al., 2014); b) propuestas de mejoras a nivel jurídico que facilite la gestión en estos ecosistemas; c) mejor control y regulación de las actividades económicas destructivas; d) opciones para la restauración ecológica (Barbier et al., 2011) y e) en nichos tecnológicos como los son nuevas moléculas para medicamentos, así como en el campo de la biotecnología, agricultura, alimentación y productos alternativos a partir de nuevas enzimas como en la producción de biocombustibles (Beys-da-Silva et al., 2014).

Realidad de la gestión comunitaria en los manglares

La estrategia sostenible en el manejo de manglares ha empoderado a las personas de comunidades costeras de escasos recursos, permitiendo así mejorar el nivel de educación, incentivando un mayor involucramiento de la población en la preparación, planificación y ejecución de su manejo; y además con apoyo del gobierno local muchas comunidades han logrado establecer sus propios proyectos

económicos (moluscos, miel, pesca) pero sin dejar de lado la protección del recurso (Glaser et al., 2010; Kibria et al., 2018).

Cuando se considera la protección de los Servicios Ecosistémicos para las personas, independientemente de los servicios relevantes para el Cambio Climático y el ambiente en general; los procesos de la gestión pueden resultar a veces caros sobre todo cuando se limitan las cuotas de extracción en comparación a otros años (de moluscos, peces o madera), particularmente esto se da en los países en desarrollo donde los salarios son bajos (Chow, 2017), lo que impide muchas veces que los pobladores prefieran conservar y utilizar racionalmente.

Desafortunadamente, en muchos países donde los manglares están amenazados, sus servicios ecosistémicos no se toman en cuenta en las decisiones individuales a nivel país con respecto a su mejor uso y han tendido a ser devaluados (Tuan Vo et al., 2013). Tal es el caso de Centroamérica y el Caribe donde se ha estimado ocurrirá la mayor pérdida de especies de mangle a nivel mundial (Record et al., 2013). En otros casos con el afán de generar trabajo y protección ambiental se han desarrollado proyectos de rehabilitación y restauración donde se ha seleccionado de manera equívoca tanto el sitio, la especie a sembrar y las técnicas de siembra (Thivakaran, 2017). Ha faltado una adecuada capacitación de profesionales en estrategias adaptativas de plantación, intercambio de información, capacidad

de carga y por lo tanto son necesarias investigaciones adicionales para que los proyectos de manglares faciliten el desarrollo local de la zona costera (Chow, 2017). Como el bienestar socioeconómico de las comunidades es dependiente de los servicios que brindan los recursos naturales (Mehvar et al., 2018), es requerido tener una buena comprensión del potencial de los impactos del Cambio Climático y de los antropogénicos sobre los SE (Mehvar et al., 2019) facilitando la implementación de políticas protectoras, equitativas y que permitan una mejor calidad de vida a las poblaciones. La Figura 4 describe algunas medidas exitosas que se han desarrollado en países como Tailandia para fortalecer el manejo comunitario de los manglares.

Papel de la educación ambiental en la conservación del manglar

Implementar la Educación Ambiental (EA) en las comunidades aledañas a los manglares permite generar actitudes positivas hacia el ambiente y que incluso pueden ser medidas de manera tangible. Moreira (2016) en su investigación en comunidades rurales de Costa Rica utilizó el modelo de EA de la NAAE (Asociación Norteamericana de Educadores Ambientales) (Hollweg et al., 2011) (Figura 5), para demostrar que las comunidades cuando presentan disposición a generar cambios positivos en su

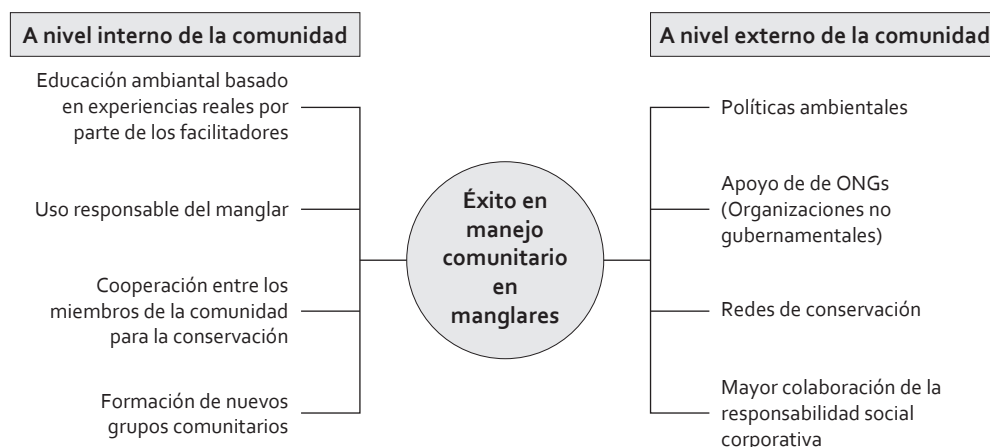


Figura 4. Medidas exitosas del manejo comunitario en manglares según Kongkeaw et al. (2019). Fuente: elaboración propia

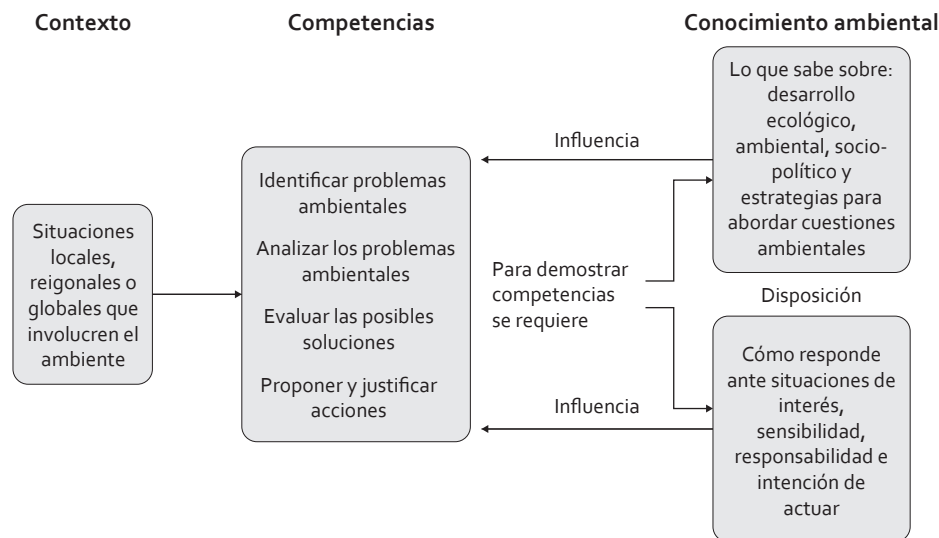


Figura 5. Componentes sobre educación ambiental por la Asociación Norteamericana de Educadores Ambientales. Fuente Hollweg et al. (2011).

comportamiento ambiental, aunque su conocimiento sobre el recurso sea mínimo, pueden generar mejores actitudes hacia la conservación. De acuerdo a Sugandini et al. (2017), para desarrollar la EA en poblados con manglares se debe considerar el conocimiento ambiental pues entre mayor conocimiento mayor posibilidad de desarrollar actitudes más responsables; por ello el modelo de la NAAE (Figura 5) basado en: el contexto de cada comunidad, el conocimiento, disposición hacia el medio ambiente y el desarrollo de las competencias; permite que los ciudadanos se “apropien” del manglar y de todos sus SE con el fin de conservarlos y utilizarlos pero de manera responsable. Otros modelos utilizados que toman en cuenta solo el conocimiento se encuentran explicados en Kigpiboon (2013) y Sigit et al. (2019).

Perspectivas futuras

En controversia con autores como Marlianingrum et al. (2019) que consideran que la conservación de manglares en los próximos años será motivada por las ganancias económicas que se obtengan de ellos; no se puede dejar de lado el manejo holístico basado en las dimensiones ecológicas, sociales y económicas (Yáñez-Arancibia et al., 2010). Autores como Kusmana (2015) y Vande-Velde et al. (2019) recomiendan tener en cuenta en su gestión aspectos como a) la existencia de consideraciones técnicas a la hora de

establecer planes regulatorios basados en su aprovechamiento sostenible; b) la colaboración equitativa y armoniosa entre las partes interesadas (gobierno, sector privado, comunidad); c) los científicos no pueden centrarse en la única idea de conservar sin tomar en cuenta los poblados que requieren de los SE de los manglares, estudios han demostrado fracasos en proyectos de este tipo donde la dicotomía naturaleza y pobreza estuvo presente (Soulé, 2013; Miller et al., 2014; Marvier, 2014); d) las prácticas de manejo forestal del mangle deben construirse a partir de las necesidades de las comunidades y tomando en cuenta todo el ecosistema marino del que forma parte (arrecifes coralinos, pastos o estuarios) y e) finalmente, como los manglares están significativamente influenciados por el proceso natural y actividades humanas procedentes de tierras altas es necesario práctica de manejo desde las cuencas hidrográficas.

Eppinga et al. (2019) señalan la importancia del involucramiento comunitario por medio de la educación ambiental y el desarrollo de políticas de conservación más amplias que motive a las personas a cuidar de la naturaleza y movilizarlos para actuar sobre esa creencia. Según Glaser et al. (2012) aún la educación y concientización no han sido suficientes para que las personas comprendan que proteger el manglar va más allá de los límites de

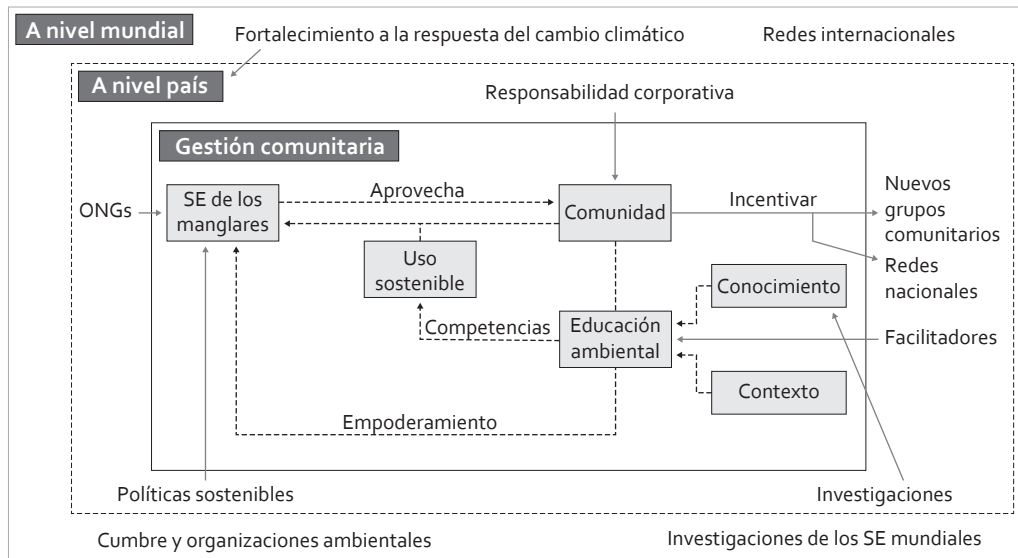


Figura 6. Modelo sostenible de los SE en manglares, de acuerdo con la información mostrada en el presente trabajo. Fuente: elaboración propia

un país, es por el Cambio Climático y su propia sobre-vivencia.

Conclusiones

La gestión sostenible de los manglares podría convertirse en un tema prioritario dentro de la agenda mundial en los próximos años sobre todo si tomamos en cuenta que siguen diezmándose por actividades antropogénicas y a futuro cercano serán afectados por el cambio climático. Con la presente revisión se evidencia la necesidad de incorporar los Servicios Ecosistémicos, así como de otros indicadores de sostenibilidad en la toma de decisiones y en la forma en que se percibe los problemas actuales, futuros y en la formulación de soluciones. Si bien es cierto, se requiere profundizar en la investigación en estos bosques (genética, ecología, cambio climático, entre otros) para generar concientización ambiental, serán los esfuerzos en educación ambiental la principal herramienta para lograr interiorizar en la población la dependencia hacia los recursos naturales pues de ellos se obtienen servicios necesarios para la vida. La principal gestión en estos ecosistemas inicia dentro de las comunidades, por lo tanto se debe adoptar una visión integral que contengan las tres funciones socioeconómicas principales a) la generación de ingresos; b) el alivio de la pobreza y c) la provisión de seguridad alimentaria rural. Sumado

a lo anterior, la formación de redes tanto nacionales como internacionales facilitan unir esfuerzos y compartir información en temas comunes, lo que apoya el trabajo realizado de una manera holística. La Figura 6 resume la información colectada para la sostenibilidad del manglar.

Bibliografía

- Alongi, D., 2014. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Manag.* 3(3), 313-322. DOI: 10.4155/cmt.12.20
- Atwood, T., Connolly, R., Almahasheer, H., Carnell, P., Duarte, C., Ewers Lewis, C., Irigoien, X., Kelleway, J., Lavery, P., Macreadie, P., Serrano, O., Sanders, C., Santos, I., Steven, A., Lovelock, C., 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nat. Clim. Change* 7(7), 523-528. DOI: 10.1038/nclimate3326
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Laterra, P., Peña-Claros, M., et al., 2012. Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosyst. Serv.* 2, 56-70. DOI: 10.1016/j.ecoser.2012.09.006
- Barbier, E., 2016. The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods *Marine Pollution Bulletin special issue: "Turning the tide on mangrove loss"*. *Mar. Pollut. Bull.* 109(2), 676-681. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.033
- Barbier, E., Hacker, S., Kennedy, C., Koch, E., Stier, A., Silliman, B., 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecol. Monogr.* 81(2), 169-193. DOI: 10.1890/10-1510.1

- Bartolini, F., Penha-Lopes, G., Limbu, S., Paula, J., Cannicci, S., 2009. Behavioural responses of the mangrove fiddler crabs (*Uca annulipes* and *U. inversa*) to urban sewage loadings: results of a mesocosm approach. *Mar. Pollut. Bull.* 58(12), 1860-1867. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.07.019
- Basha, S., 2018. An overview on global mangroves distribution. *Indian J. Mar. Geo-Mar. Sci.* 47(4), 766-772.
- Basuki, T., van Laake, P., Skidmore, A., Hussin, A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecol. Manag.* 257(8), 1684-1694. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.01.027
- Beys-da-Silva, W., Santi, L., Guimaraes, J., 2014. Mangroves: A threatened ecosystem under-utilized as a resource for scientific research. *J. Sustain. Dev.* 7(5), 40-51. DOI: 10.5539/jsd.v7n5p40
- Borja, A., Bricker, S., Dauer, D., Demetriades, N., Ferreira, J., Forbes, A., Hutching, P., Jia, X., Marques, J., Zhu, C., 2009. Ecological integrity assessment, ecosystem-based approach, and integrative methodologies: Are these concepts equivalent? *Mar. Pollut. Bull.* 58, 457-458. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2008.12.003
- Brander, L., Wagtendonk, A., Hussain, S., McVittie, A., Verburg, P., de Groot, R., van der Ploeg, S., 2012. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application. *Ecosyst. Serv.* 1(1), 62-69. DOI: 10.1016/j.ecoser.2012.06.003
- Brito, A., Newton, A., Tett, P., Fernandes, T., 2012. Changes in the yield of microphytobenthic chlorophyll from nutrients: considering denitrification. *Ecol. Indic.* 19, 226-230. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.07.026
- Bryan-Brown, D., Connolly, R., Richards, D., Adame, F., Friess, D., Brown, C., 2020. Global trends in mangrove forest fragmentation. *Sci. Rep.* 10(1). DOI: 10.1038/s41598-020-63880-1
- Butler, J., Wong, G., Metcalfe, D., Honzák, M., Pert, P., Rao, N., van Grieken, M., Lawson, T., Bruce, C., Kroon, F., Brodie, J., 2013. An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 180, 176-191. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.017
- Castañeda-Moya, E., Twilley, R., Rivera-Monroy, V., 2013. Allocation of biomass and net primary productivity of mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Forest Ecol. Manag.* 307, 226-241. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.011
- Chow, J., 2017. Mangrove management for climate change adaptation and sustainable development in coastal zones. *J. Sustain. Forest.* 37(2), 1-41. DOI: 10.1080/10549811.2017.1339615
- Cortés, J., Fonseca, A., Nivia-Ruiz, J., Nielsen-Muñoz, V., Samper-Villarreal, J., Salas, E., Martínez, S., Zamora-Trejos, P., 2010. Monitoring coral reefs, seagrasses and mangroves in Costa Rica (CARICOMP). *Rev. Biol. Trop.* 58(Suppl. 3), 1-22.
- Coto, I., Carvajal, M., Campos, R., Steller, P., 2018. Propuesta para una delimitación geográfica integral del manglar de Nosara, Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Geogr. Am. Cent.* 2(61), 28-313. DOI: 10.15359/rgac.61-2.11
- Datta, D., Chattopadhyay, R., Guha, P., 2012. Community based mangrove management: A review on status and sustainability. *J. Environ. Manag.* 107(30), 84-95. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.04.013
- Datta, D., Guha, P., Chattopadhyay, R., 2010. Application of criteria and indicators in community based sustainable mangrove management in the Sunderbans, India. *Ocean Coast. Manag.* 53, 468-477. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2010.06.007
- Díaz-Gaxiola, J., 2011. Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai* 7(3), 355-370. DOI: 10.35197/rx.07.03.2011.05.jd
- Eppinga, M., Scisciolo, T., Mijts, E., 2019. Environmental science education in a small island state: integrating theory and local experience. *Environ. Educ. Res.* 25, 1004-1018. DOI: 10.1080/13504622.2018.1552248
- Faridah-Hanuma, I., Yusoff, M., Fitriantoc, A., Ainnuddina, N., Gandaseca, S., Zaitone, S., Norizah, K., Nurhidayu, S., Roslan, M., Hakeem, K., Shamsuddin, I., Adnana, I., Awang Noor, A., Balqis, A., Rhyma, P., Siti Aminah, I., Hilaluddin, F., Fatin, R., Harun, N., 2019. Development of a comprehensive Mangrove Quality Index (MQI) in Matang Mangrove: Assessing mangrove ecosystem health. *Ecol. Indic.* 112, 113-117. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.02.030
- Fisichelli, M., Schuurman, G., Hawking, C., 2016. Is resilience maladaptive towards an accurate lexicon for climate change adaptation. *Environ. Manag.* 57(4), 753-758. DOI: 10.1007/s00267-015-0650-6
- Gara, B., Stapanian, M., 2015. A candidate vegetation index of biological integrity based on species dominance and habitat fidelity. *Ecol. Indic.* 50, 225-232. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.10.029
- Glaser, P., Christie, P., Diele, K., Dsikowitzky, L., Ferse, S., Nordhaus, I., Schlüter, A., Schwerdtner, K., Wild, C., 2012. Measuring and understanding sustainability-enhancing processes in tropical coastal and marine social-ecological systems. *Curr. Opin. Env. Sust.* 4(3), 300-308. DOI: 10.1016/j.cosust.2012.05.004
- Glaser, M., Krause, G., Oliveira, R., Fontalvo-Herazo, M., 2010. Mangroves and people: A social-ecological system. En: Saint-Paul, U., Schneider, H. (Eds.), *Mangrove dynamics and management in North*

- Brazil, Ecological Studies (Analysis and Synthesis). Springer, Berlin. pp. 307-351. DOI: 10.1007/978-3-642-13457-9_21
- Hák, T., Janoušková, S., Moldan, B., Dahl, B., 2018. Closing the sustainability gap: 30 years after “Our Common Future”, society lacks meaningful stories and relevant indicators to make the right decisions and build public support. *Ecol. Indic.* 87, 193-195. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.017
- Hollweg, K., Taylor, J., Bybee, R., Marcinkowski, T., McBeth, W., Zoido, P., 2011. Developing a framework for assessing environmental literacy. North American Association for Environmental Education, Washington, DC.
- Huxham, M., Dencer-Brown, A., Diele, K., Kathiresan, K., Nagelkerken, I., Wanjiru, C., 2017. Mangroves and people: local ecosystem services in a changing climate. En: Rivera-Monroy, V., Lee, S., Kristensen, E., Twilley, R. (Eds.), *Mangrove ecosystem: A global biogeographic perspective*. Springer, Cham, Alemania. DOI: 10.1007/978-3-319-62206-4_8
- Ibrahim, N., Mustapha, M., Lihan, T., Mazlan, A., 2015. Mapping mangrove changes in the Matang Mangrove Forest using multi temporal satellite imageries. *Ocean Coast. Manag.* 114, 64-76. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.06.005
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. *Climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, New York, NY.
- James, G., Adegoke, J., Osagie, S., Ekechukwu, S., Nwilo, P., Akiyede, Y., 2013. Social valuation of mangrove in the Niger Delta region of Nigeria. *Int. J. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.* 9(4), 311-323. DOI: 10.1080/21513732.2013.842611
- Kibria, A., Constanza, R., Groves, C., Behie, A., 2018. The interaction between livelihood capitals and access to local communities to the forest provisioning services of the sundabas mangroves forest, Bangladesh. *Ecosist. Serv.* 38, 41-49. DOI: 10.1016/j.ecoser.2018.05.003
- Kigpiboon, C., 2013. The development of participated environmental education model for sustainable mangrove forest management on Eastern part of Thailand. *Int. J. Sust. Dev. World Policy* 2(3), 33-49.
- Kongkeaw, C., Kittitornkool, J., Vandergeest, P., Kittiwatanawong, K., 2019. Explaining success in community based mangrove management: Four coastal communities along the Andaman Sea, Thailand. *Ocean Coast. Manag.* 178, 104822. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104822
- Kosicki, J., Chylarecki, P., 2014. The Hooded Crow *Corvus cornix* density as a predictor of wetland bird species richness on a large geographical scale in Poland. *Ecol. Indic.* 38, 50-60. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.10.032
- Kusmana, C., 2015. Integrated sustainable mangrove forest management. *J. Pengelolaan sumberd. Alam lingkungan.* 5(1), 1-6. DOI: 10.19081/jpsl.2015.5.1.1
- Lee, T., Yeh, H., 2009. Applying remote sensing technique to monitor shifting wetland vegetation: a case study of Danshui river estuary mangrove communities Taiwan. *Ecol. Eng.* 35, 487-496. DOI: 10.1016/j.ecoeng.2008.01.007
- Lewis, R., Brown, B., Flynn, L., 2019. Methods and criteria for successful mangrove forest rehabilitation. En: Gerardo, M., Perillo, E., Wolanski, D., Cahoon, C., Hopkinson, C. (Eds.), *Coastal wetlands*. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. pp. 863-887. DOI: 10.1016/B978-0-444-63893-9.00024-1
- López-Angarita, J., Roberts, C., Tilley, A., Hawkins, J., Cooke, R., 2016. Mangroves and people: Lessons from a history of use and abuse in four Latin American countries. *Forest Ecol. Manag.* 368, 151-162. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.03.020
- Lugoli, F., Garmendia, M., Lehtinen, S., Kauppila, P., Moncheva, S., Revilla, M., Basset, A., 2012. Application of a new multi-metric phytoplankton index to the assessment of ecological status in marine and transitional waters. *Ecol. Indic.* 23, 338-355. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.03.030
- Mahoney, P., Bishop, M., 2017. Assessing risk of estuarine ecosystem collapse. *Ocean Coast. Manag.* 140, 46-58. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.02.021
- Marchetti, M., Garr, M., Smith, A., 2010. Evaluating wetland restoration success using aquatic macroinvertebrate assemblages in the Sacramento Valley, California. *Restor. Ecol.* 18, 457-466. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2008.00468.x
- Marlianingrum, P., Kusumastanto, T., Adrianto, L., Fahu-rudin, A., 2019. Economic analysis of management option for sustainable mangrove ecosystem in Tangerang District, Banten Province, Indonesia. *J. Sust. Dev.* 241, 1-9. DOI: 10.1088/1755-1315/241/1/012026
- Marshall, A., Bühne, S., Bland, L., Pettoelli, N., 2018. Assessing ecosystem collapse risk in ecosystems dominated by foundation species: the case of fringe mangroves. *Ecol. Indic.* 91, 128-137. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.03.076
- Marvier, M., 2014. New conservation is true conservation. *Conserv. Biol.* 28(1), 1-3. DOI: 10.1111/cobi.12206
- McLeod, E., Chmura, L., Bouillon, S., Salm, R., Bjork, M., Duarte, C., Siliman, B., 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Front. Ecol. Environ.* 9(10), 552-560. DOI: 10.1890/110004
- Mehvar, S., Filatova, T., Syukri, I., Dastgheib, A., Rana-singhe, R., 2018. Developing a framework to quantify

- potential Sea level rise-driven environmental losses: a case study in Semarang coastal area, Indonesia. *Environ. Sci. Pollut.* 89, 216-230. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.06.019
- Mehvar, S., Filatova, T., Syukri, I., Dastgheib, A., Ranasinghe, R., 2019. Climate change-driven losses in ecosystem services of coastal wetlands: A case study in the West coast of Bangladesh. *Ocean Coast. Manag.* 169, 273-283. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.12.009
- Miller, B., Soulé, M., Terborgh, J., 2014. "New conservation" or surrender to development? *Anim. Conserv.* 17(6), 509-515. DOI: 10.1111/acv.12127
- Moreira, C., 2016. Plan de educación por competencias para la conservación del recurso hídrico en comunidades de la Cuenca del Río San Carlos, Costa Rica. Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Morizumi, Y., Matsuri, N., Hondo, H., 2010. Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: a case of plantation on wastelands in Thailand. *J. Clean. Prod.* 18 (16-17), 1629-1638. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.07.017
- Mukherjee, A., Lal, R., 2014. Comparison of Soil Quality Index using three methods. *PLoS ONE* 9(8), e0105981. DOI: 10.1371/journal.pone.0105981
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J., Han, Z., 2013. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Curr. Opin. Env. Sust.* 4, 47-52. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.02.002
- Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Boone, J., Warren, M., Sasmito, S., Donato, D., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., Kurnianto, S., 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nat. Clim. Change* 5, 1089-1092. DOI: 10.1038/nclimate2734
- Nabeelah-Bibi, S., Fawzi, M., Gokhan, Z., Rajesh, J., Nadeem, N., Kannan-R.R., R., Albuquerque, R., Karutha Pandian, S., 2019. Ethnopharmacology, phytochemistry, and global distribution of mangroves—a comprehensive review. *Mar. Drugs* 17(4), 231. DOI: 10.3390/md17040231
- Nicholson, E., Mace, G., Armsworth, P., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T., Ewers, R., Fa, J., Gardner, T., Gibbons, J., Grenyer, R., Metcalfe, R., Mourato, S., Muùls, M., Osborn, D., Reuman, D., Watson, C., Milner-Gulland, E., 2009. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *J. Appl. Ecol.* 46, 1139-1144. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01716.x
- Njisuh, F., 2015. Sustainable management of mangrove forests in West Africa: A new policy perspective? *Zebedee. Ocean Coast. Manag.* 116, 341-352. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.08.006
- Olander, L., Johnston, R., Tallis, H., Kagan, J., Maguire, L., Polaski, S., Urban, D., Boyd, J., Wainger, L., Palmer, M., 2018. Benefit relevant indicators: Ecosystem services measures that link ecological and social outcomes. *Ecol. Indic.* 85, 1262-1272. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.001
- O'Mullan, G., Juhl, A., Reichert, R., Schneider, E., Martínez, N., 2019. Patterns of sediment-associated fecal indicator bacteria in an urban estuary: Benthic-pelagic coupling and implications for shoreline water quality. *Sci. Total Environ.* 656, 1168-1177. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.405
- Onyena, A., Sam, K., 2020. A review of the threat of oil exploitation to mangrove ecosystem: Insights from Niger Delta, Nigeria. *Glob. Ecol. Conserv.* 22, e00961. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e00961
- Polidoro, B., Carpenter, K., Collins, L., Duke, N., Ellison, A., Ellison, J., Farnsworth, E., Fernando, E., Kathiresan, K., Koedam, N., Livingstone, S., Miyagi, T., Moore, G., Ngoc Nam, V., Ong, J., Primavera, J., Salmo, S., Sanciangco, J., Sukardjo, S., Wang, Y., Yong, J., 2010. The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS One* 5(4), e10095. DOI: 10.1371/journal.pone.0010095
- Powell, E., Tyrrell, M., Milliken, A., Tirpak, J., Staundinger, M., 2019. A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *J. Coast. Conserv.* 23(1), 1-18. DOI: 10.1007/s11852-018-0632-y
- Record, S., Charney, N., Zakaria, R., Ellison, A., 2013. Projecting global mangrove species and community distributions under climate change. *Ecosphere* 4(3), 34. DOI: 10.1890/ES12-00296.1
- Richards, D., Friess, D., 2015. A rapid indicator of cultural ecosystem service usage at a fine spatial scale: Content analysis of social media photographs. *Ecol. Indic.* 52, 187-195. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.01.034
- Richards, D., Friess, D., 2016. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000-2012. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113(2), 344-349. DOI: 10.1073/pnas.1510272113
- Salem, M., Mercer, D., 2012. The economic value of mangroves: A meta-analysis. *Sustainability* 4(3), 359-383. DOI: 10.3390/su4030359
- Samper-Villarreal, J., Cortés, J., Polunin, N., 2018. Isotopic evidence of subtle nutrient enrichment in mangrove habitats of Golfo Dulce, Costa Rica. *Hydrol. Process.* 32, 1956-1964. DOI: 10.1002/hyp.13133
- Sarker, S., Reeve, R., Thompson, J., Paul, N., Matthiopoulos, J., 2016. Are we failing to protect threatened mangroves in the Sundarbans world heritage ecosystem? *Sci. Rep.* 6(1), 21234. DOI: 10.1038/srep21234
- Sigit, D., Miarsyah, M., Komala, R., Suryanda, A., Fadrikal, R., Ichsan, I., 2019. Improvement of knowledge

- and attitude in conservation of mangrove and coral reefs through environmental education community network model. *J. Phys. Conf. Ser.* 1317, 012201. DOI: 10.1088/1742-6596/1317/1/012201
- Soulé, M., 2013. The “new conservation”. *Conserv. Biol.* 27(5), 895-897. DOI: 10.5822/978-1-61091-559-5_7
- Spalding, M., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L., Shepard, C., Beck, M., 2014. The role of ecosystems in coastal protection: adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean Coast. Manag.* 90, 50-57. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007
- Sugandini, D., Rahatmawati, I., Arundati, R., 2017. Environmental attitude on the adoption decision mangrove conservation: An empirical study on communities in special region of Yogyakarta, Indonesia. *Rev. Integr. Bus. Econ. Res.* 7(1), 1-10.
- Syahrial, S., Prenata, E., Susilo, H., 2019. Correlation of environmental factors and spatial distribution of molluscs communities in mangrove reboisement areas of Seribu Islands, Indonesia. *Torani J. Fish. Mar. Sci.* 2(2), 44-57. DOI: 10.35911/torani.v2i2.7051
- Takahashi, K., Martínez, A., 2015. Impacto de la variabilidad y cambio climático en el ecosistema de Manglares de Tumbes, Perú. Informe Técnico. Instituto Geofísico del Perú; Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.
- Tanner, M., Moity, N., Costa, M., Marín, J., Aburto-Oropeza, O., Salinas-de-León, P., 2019. Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation. *Ecol. Econ.* 160, 12-24. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.01.024
- Thivakaran, A., 2017. Mangrove restoration: an overview of coastal afforestation in India. En: Prusty, B., Chandra, R., Azeez, P. (Eds.), *Wetland science*. Springer, New Delhi. DOI: 10.1007/978-81-322-3715-0_26
- Thur, S., 2010. User fees as sustainable financing mechanisms for marine protected areas: An application to the Bonaire National Marine Park. *Mar. Policy* 34, 63-69. DOI: 10.1016/j.marpol.2009.04.008
- Tuan Vo, Q., Kuenzer, C., Minh Vo, Q., Moder, F., Oppelt, N., 2012. Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecol. Indic.* 23, 431-446. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.04.022
- Tuan Vo, Q., Oppelt, N., Leinenkugel, P., Kuenzer, C., 2013. Remote sensing in mapping mangrove ecosystems an object-based approach. *Remote Sens.* 5, 183-201. DOI: 10.3390/rs5010183
- Vande-Velde, K., Hugé, J., Friess, D., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., 2019. Stakeholder discourses on urban mangrove conservation and management. *Ocean Coast. Manag.* 178, 1-11. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.05.012
- Vegh, T., Jungwiwattanaporn, M., Pendleton, L., Murray, B., 2014. Mangrove ecosystem services valuation: State of the Literature. NI WP 14-06. Duke University, Durham, NC.
- Ward, R., Friess, D., Day, R., MacKenzie, R., 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosyst. Health Sust.* 2(4), 1-25. DOI: 10.1002/ehs2.1211
- Weilhoefer, C., 2011. A review of indicators of estuarine tidal wetland condition. *Ecol. Indic.* 11, 514-525. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.07.007
- Wildsmith, M., Rose, T., Potter, I., Warwick, R., Clarke, K., Valesini, F., 2009. Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large microtidal estuary following extreme modifications aimed at reducing eutrophication. *Mar. Pollut. Bull.* 58(9), 1250-1262. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.06.008
- Wu, S., Li, R., Xie, S., Shie, C., 2019. Depth-related change of sulfate-reducing bacteria community in mangrove sediments: The influence of heavy metal contamination. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 443-450. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.042
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J., Willey, R., Day, R., 2010. Los manglares frente al Cambio Climático ¿Tropicalización global del Golfo de México? En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.), *Impactos del Cambio Climático sobre la zona costera*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, México, DF.
- Zhao, Q., Bai, J., Huang, L., Gub, B., Lua, Q., Gao, Z., 2016. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecol. Indic.* 60, 442-452. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.07.003
- Zhao, F., Yang, G., Han, X., Feng, Y., Ren, G., 2014. Stratification of carbon fractions and carbon management index in deep soil affected by the grain-to-green program in China. *PLoS One* 9(6), e99657. DOI: 10.1371/journal.pone.0099657