



El carbono azul y su contribución a la conservación de los manglares en México

Por: Eliseo Hernández Hernández ¹

Recibido el 10 de mayo de 2022

Dictamen aprobatorio: 29 de junio de 2022

Resumen

Los manglares contribuyen a mitigar el cambio climático secuestrando cantidades importantes de carbono azul. A pesar de su estricta protección, en México se siguen presentando pérdidas significativas en la superficie de manglar. El objetivo del presente trabajo es hacer una reflexión sobre las contribuciones del carbono azul para la conservación de este ecosistema. Se concluyó que los proyectos de carbono azul se presentan como una alternativa de conservación y gestión sostenible para los manglares del país, que se debe considerar su viabilidad económica antes de implementarlos y que uno de los retos más grandes para implementarlos es el financiamiento.

Palabras clave: carbono azul, bonos de carbono, gestión sostenible, participación comunitaria, financiamiento, viabilidad económica.

Pie de foto. Mangle Colorado
FOTO: IMAGEN DE ALINA VENEGAS
EN NATURALISTA

¹ Alumno del Diplomado en Resiliencia Socio-Territorial y Riesgo ante el Cambio Climático. Maestro en Ciencias Forestales por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Correo de contacto: e.hernandez.hd@gmail.com



Introducción

Los ecosistemas costeros son fundamentales para mantener el bienestar humano y la biodiversidad global (Herrera-Silveira et al., 2020). En especial, los manglares ofrecen numerosos beneficios y servicios ecosistémicos (Mitra, 2020; Lau, 2013). Muchos de estos servicios son fundamentales para la adaptación y la resiliencia ante el cambio climático en zonas costeras, lo que incluye la protección contra marejadas y el aumento del nivel del mar, la prevención de la erosión a lo largo de las costas, la regulación de la calidad del agua en zonas costeras, el reciclaje de nutrientes, la retención de sedimentos, la provisión de hábitat para diversas especies marinas en peligro y de importancia comercial, y la seguridad alimentaria para muchas comunidades costeras en todo el mundo (Nyangoko et al., 2022; Hernández-Blanco et al., 2022).

Además, estos ecosistemas contribuyen a mitigar el cambio climático secuestrando y almacenando cantidades importantes de carbono de la atmósfera, denominados carbono azul (Rovai et al., 2022). El promedio mundial del almacén de carbono de los manglares es de 627.8 Mg C ha⁻¹, con tasas de secuestro de 1.8 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ (Alongi, 2022). En México, se estima que los manglares almacenan entre 80 y 1200 Mg C ha⁻¹, con una media de 380 Mg C ha⁻¹ (Sjögersten et al., 2021).

Los manglares superan entre 2.5 a 5 veces las existencias medias de C en los bosques tropicales de montaña, templados y boreales que van de 200 a 400 Mg C ha⁻¹ (Donato et al., 2011). Debido a la alta capacidad de los manglares para secuestrar carbono, los ecosistemas de manglares son vitales para mantener el ciclo global del

carbono (Singh et al., 2022).

Para promover la intervención en la conservación de los manglares, se le está prestando cada vez más atención científica y empírica a la identificación de los beneficios de los proyectos de carbono azul (Duncan et al., 2022). Estas oportunidades podrían desbloquear el financiamiento sostenible para la conservación, principalmente en naciones de ingresos bajos y medios donde los mercados internacionales de carbono podrían ofrecer pagos atractivos por la gestión ambiental (Thompson et al., 2014; Duncan et al., 2022).

Pie de foto. Pescadores en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, 2021. (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



En México existen dos proyectos de carbono azul en manglares que pueden servir de guía para la incursión al mercado de bonos de carbono de nuevos proyectos. El primero es el liderado por el ejido San Crisanto en Yucatán con 691.5 ha y con trabajos de certificación de la empresa estadounidense “Reserva de Acción Climática” (CAR, por sus siglas en inglés) (Climate Action Reserve, 2021). El segundo proyecto corresponde al liderado por el ejido Úrsulo Galván en Tabasco con 1200 ha de manglar con trabajos de certificación de CAR (Climate Action Reserve, 2021) y recientemente buscan certificar un nuevo proyecto de carbono aéreo y edáfico para 300 ha de manglar en recuperación bajo el “Estándar de Carbono Verificado” (VERRA, por sus siglas en inglés).

Para poder lograr el objetivo de los ejidos, CAR proporciona el “Protocolo Forestal para México Versión 2.0” (Climate Action Reserve, 2020) y VERRA proporciona el “Marco metodológico REDD + Versión 1.6” (VERRA, 2020). Ambos documentos exigen cumplir una estricta e inflexible metodología para la cuantificación de la reducción de gases de efecto invernadero para un proyecto.

Es imperativo que antes de embarcarse en largos y costosos procesos de registro de proyectos, se evalúe la viabilidad de estos (Duncan et al., 2022), pues la ejecución de los proyectos de carbono azul aún se enfrenta a múltiples desafíos en todo el mundo (Zeng et al., 2021).

¿Cuál es la problemática de los manglares en México?

En 2015 la superficie estimada de manglares en México fue de 775 555 ha (Valderrama-Landeros et al., 2017) y en 2020 fue de 905 086 ha (Velázquez-Salazar et al., 2021); es decir, hubo un incremento neto de 129 530 ha. Sin embargo, estas cifras no representan necesariamente una recuperación histórica del manglar, pues las herramientas tecnológicas actuales permitieron hacer una mejor diferenciación del manglar en zonas de incertidumbre.

A pesar de los beneficios y servicios que ofrecen los manglares, varios de los estados de México (Sinaloa, Baja California Sur y Nayarit) siguen mostrando pérdidas netas en la superficie de estos ecosistemas (Velázquez-Salazar et al., 2021).

De las seis especies de mangle registradas para México, cuatro son comunes: el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Estas cuatro especies están bajo la categoría de amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010), lo cual indica que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo,



De las seis especies de mangle registradas para México, cuatro son comunes: el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*)

en caso de que los factores negativos sigan persistiendo y pongan en riesgo su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminución directa del tamaño de sus poblaciones (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013).

La conservación de los manglares se encuentra contemplada también en la NOM-022-SEMARNAT-2003 y en los artículos 60 TER y 99 de la Ley General de Vida Silvestre, presentando restricciones en el aprovechamiento y fomento comercial de las especies de mangle, llevando a que quede prohibida cualquier actividad que afecte el flujo hidrológico del manglar, del ecosistema y su zona de influencia, y las zonas que sirvan de nichos ecológicos; quedando solo permitidas las actividades de protección, restauración e investigación en las áreas de manglar (Domínguez-Domínguez et al., 2011).

Las principales amenazas a las que se enfrentan los manglares del país están ligadas al cambio de uso del suelo (Sjögersten et al., 2021; Paniagua-Cano, Granados-Sánchez, & Granados-Victorino, 2018). Se incluyen la falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como del desarrollo agrícola, ganadero y acuícola, que han desplazado y reducido extensiones considerables de manglar (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013).

Al igual que en el resto del mundo, en México el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituye una de las principales herramientas de conservación. Además, es contratante de la Convención Ramsar desde 1986, los compromisos que aceptan los contratantes son, entre otros, designar humedales de importancia nacional, promover el uso racional de los humedales en su territorio, establecer reservas en los humedales en su territorio, así como promover la capacitación en materia de estudio, manejo y custodia de los humedales, y cooperación internacional (Secretaría de la Convención de Ramsar,

2013).

De las 905 086 ha de manglar presentes en México (Velázquez-Salazar et al., 2021), 593 343 ha se encuentran dentro del sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP) federales, estatales, municipales y en sitios Ramsar (Valderrama-Landeros et al., 2017), lo que quiere decir que aproximadamente 66 % de la superficie de los manglares se encuentran bajo protección, entonces es necesario saber qué pasa en ese 34 % que no está protegido y qué no pasa en el 66 % protegido.

Pie de foto. Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, 2021. Considerada una Área Natural Protegida y un Sitio Ramsar (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



El establecimiento de ANP y la designación de sitios Ramsar contribuyen a la salvaguarda de los ecosistemas de manglar. Sin embargo, en nuestro país, solo poco más de la mitad de las ANP

federales y estatales han resultado efectivas en la contención de los procesos de cambio de uso de suelo y vegetación (Koleff & Urquiza-Hass, 2011). Sumado el esfuerzo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) para fortalecer y sistematizar la vigilancia como un mecanismo preventivo del delito ambiental, se siguen perdiendo grandes extensiones de manglar en el país. Esto debido a que no se ha logrado una política integral que incluya mecanismos de conservación del ecosistema, oportunidades de desarrollo económico de las comunidades costeras,

de las instituciones de los tres niveles de gobierno, la iniciativa privada y la sociedad en general.

Las restricciones en el aprovechamiento y fomento comercial del manglar para la estricta conservación han probado ser ineficaces, estas restricciones no son aconsejables, dadas las necesidades económicas de los habitantes que dependen de ellos (Rodríguez-Zúñiga, Ramírez-García, & Gutiérrez-Granados, 2011; Zavo et al., 2020; Wang et al., 2020). Por lo que la gestión sostenible de los manglares basada en la administración comunitaria de los recursos se convierte actualmente en una cuestión esencial a nivel mundial, ya que es clave para mantener la estabilidad de las zonas costeras (Matatula, Afandi, & Wirabuana, 2021; Hanggara et al., 2021; Rasquinha & Mishra, 2021; Pin et al., 2021; Kairu et al., 2021; Valdez-Hernández, 2004).

¿Qué es el carbono azul?

El cambio climático antropogénico está causado por el aumento del contenido de gases y partículas de efecto invernadero en la atmósfera. En primer lugar, por la quema de combustibles fósiles; en segundo lugar, por las emisiones derivadas de la pérdida de vegetación, incendios forestales, agricultura y ganadería; y en tercer lugar, por la menor capacidad de los ecosistemas naturales para fijar el carbono mediante la fotosíntesis y almacenarlo (Trumper et al., 2009).

Mantener o mejorar la capacidad de los bosques y los océanos para absorber y enterrar el carbono es un aspecto crucial de la mitigación del cambio climático. La contribución de los bosques terrestres al secuestro de carbono es bien conocida y cuenta con el apoyo de los mecanismos financieros pertinentes. En cambio, se había pasado por alto el papel fundamental de los ecosistemas costeros, que se encuentran entre los sumideros de carbono más intensos del planeta (Nellemann et al., 2009).



El cambio climático antropogénico está causado por el aumento del contenido de gases y partículas de efecto invernadero en la atmósfera



El ejido El Tarachi se encuentra dotado con una superficie aproximada de 340 ha y se ubica en la parte central del denominado "Sistema Lagunar de Alvarado" en Veracruz, que actualmente está decretado como Sitio Ramsar

El alto almacenamiento de carbono en los ecosistemas costeros es ocasionado principalmente por la alta productividad primaria neta, almacenando el carbono en la biomasa y posteriormente secuestrándolo a largo plazo en los suelos (Donato et al., 2011; Taillardat et al., 2018). Lo anterior es debido a las condiciones anaeróbicas que predominan en el componente edáfico (Perera & Amarasinghe, 2019) y a las altas tasas de acumulación sedimentaria (Giri et al., 2011).

En el contexto de política climática, el carbono azul (blue carbon, término con el que se le conoce en inglés) surgió en 2009 como un concepto asociado al carbono que se acumula en los ecosistemas costeros con vegetación e influencia del mar, como los manglares, las marismas y las praderas marinas intermareales y submareales (Mitra & Zaman, 2015; Windham-Myers, Crooks, & Troxler, 2019; Kuwae & Hori, 2019).

Como concepto, al reconocer la oportunidad de que una mejor gestión de ciertos entornos costeros (ecosistemas de carbono azul) pudiera contribuir a una respuesta climática, captó la imaginación de la comunidad internacional de política y conservación que trabaja en la mitigación y adaptación al clima. Esto no quiere decir que la llegada del concepto de carbono azul generara los primeros presupuestos de carbono de los humedales costeros, ni que fuera la primera vez que el ciclo del carbono de los humedales costeros se relacionara con el cambio climático.

El carbono azul es en sí mismo un enfoque tecnológico potencialmente disruptivo integrado en una transformación política más amplia que conecta los paisajes con los marcos de mitigación y adaptación al clima, con financiación asociada para fomentar prácticas de gestión más sostenible (Windham-Myers et al., 2019). En los últimos 10 años los ecosistemas de carbono azul han ganado creciente reconocimiento mundial (Ayostina et al.,

2022) y las iniciativas de carbono azul están pasando actualmente de la fase de promoción a la de penetración social, elaboración de políticas y aplicación (Kuwae et al., 2022).

El caso específico Ejido El Tarachi, Acula, Veracruz

Veracruz tiene una superficie de 42 996 ha de manglar (Velázquez-Salazar et al., 2021), de las cuales 24 404 ha se encuentran protegidas en ANP federal, estatal y/o Ramsar (es decir, aproximadamente el 57 % de la superficie del manglar está bajo protección) (Valderrama-Landeros et al., 2017).

El ejido El Tarachi se encuentra dotado con una superficie aproximada de 340 ha y se ubica en la parte central del denominado "Sistema Lagunar de Alvarado" en Veracruz, que actualmente está decretado como Sitio Ramsar, Área de Importancia para Conservación de



as Aves en México y Región Marina Prioritaria de Conservación (López-Sayago, 2017).

Más del 50 % de la extensión territorial del ejido está cubierta por manglares (López-Sayago, 2017). Durante los últimos años, la participación de los habitantes del ejido se ha incrementado al reflexionar sobre los múltiples beneficios que estos ecosistemas aportaban a su comunidad, uno de los más importantes que identificaron, fue la protección que les dan ante la entrada de los intensos vientos y huracanes.

Otro bien que indican que les provee es el incremento de la productividad pesquera, con lo que aseguran el sustento de sus familias reduciendo la migración.

Pie de foto. Manglar en conservación dentro de la UMA del ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).

Fue precisamente con la reducción paulatina de peces y mariscos que los pescadores del ejido se dieron cuenta del peligro que representaba la deforestación de manglares para el sustento familiar.

Los principales problemas que aquejan los manglares de la región señalan los ejidatarios: pastoreo de ganado por los vecindados, incendios forestales (provocados por la cacería furtiva, apicultura y quema de espartales para la ganadería), tala irracional por personas ajenas al ejido y falta de vigilancia para evitar el saqueo de recursos, entre otros.

En el año 2013 se obtiene el registro para que 200 ha de este manglar se gestionaran de manera sostenible en una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). La UMA se encuentra dividida en cuatro zonas fundamentales: 1) zona de conservación, 2) zona de recuperación, 3) zona de aprovechamiento y 4) zona de protección. La gestión de la UMA ha permitido recuperar exitosamente áreas de manglar devastadas por incendios, también ha detenido la tala inmoderada para la obtención de madera de mangle (aunque existe en menor medida extracción de recursos dentro de la UMA por personas ajenas al ejido, pues al no contarse con un sistema de vigilancia permanente, ingresan de manera ilegal).

El aprovechamiento sostenible de la madera de mangle se realiza con apego a estudios científicos (Valdez-Hernández, 2004) y con apego a las leyes y normas enmarcadas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). Es por ello por lo que cuentan con tasas aprobadas de aprovechamiento de madera, tasas de aprovechamiento de semillas para la reforestación y comercialización, así como permisos para dar tratamientos fitosanitarios.

El manejo silvícola dentro de la UMA pretendía detonar el desarrollo forestal del ejido mediante aprovechamiento sostenible de madera de las especies silvestres de mangle blanco, mangle



La gestión de la UMA ha permitido recuperar exitosamente áreas de manglar devastadas por incendios, también ha detenido la tala inmoderada para la obtención de madera de mangle



Es importante mencionar que antes de iniciar el registro de un proyecto es necesario evaluar su viabilidad económica

negro y mangle rojo. El desarrollo forestal no se ha alcanzado en la manera que se esperaba, pues los ejidatarios se han enfrentado al mercado ilegal de madera de mangle, donde la madera obtenida ilegalmente se vende a un precio inferior al de la producida legalmente, provocando que la madera producida dentro de la UMA no se pueda comercializar a un precio justo.

Con el liderazgo del representante legal de la UMA (el Sr. Pablo Granados Granados), el ejido sigue realizando grandes esfuerzos para la conservación del manglar y buscando alternativas para su manejo sostenible. Recientemente, con apoyo de académicos y estudiantes del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (COLPOS) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), se realizó un estudio que pretende determinar los almacenes de carbono aéreo y edáfico de los manglares de la UMA. Esta colaboración permitirá delimitar un acercamiento a una línea base del almacenamiento de carbono con miras a la certificación para la obtención de bonos de carbono.

Delimitar la línea base del carbono es una etapa inicial de los proyectos de carbono azul, y para poder lograr el objetivo de los ejidos en la implementación de proyectos, la certificadora CAR proporciona el "Protocolo Forestal para México Versión 2.0" (Climate Action Reserve, 2020) y VERRA proporciona el "Marco metodológico REDD + Versión 1.6" (VERRA, 2020). Ambos documentos exigen cumplir una estricta e inflexible metodología para la cuantificación de la reducción del contenido de gases de efecto invernadero para un proyecto, así como una serie de requisitos que asegure el éxito del proyecto.

Es importante mencionar que antes de iniciar el registro de un proyecto es necesario evaluar su viabilidad económica. Los proyectos de carbono azul requieren grandes presupuestos para las tarifas estándar de certificación, por lo

que es necesario buscar financiamiento para su desarrollo. En el caso del ejido San Crisanto en Yucatán y el ejido Úrsulo Galván en Tabasco, los proyectos son fondeados por capital extranjero.

La escala del proyecto es otro factor para considerar, pues los proyectos de carbono azul pueden no ser apropiados a pequeña escala, ya que los rendimientos pueden llegar a ser negativos (Duncan et al., 2022). El ejido El Tarachi cuenta con 200 hectáreas de manglar dentro de la UMA, considerada como un área pequeña. Para hacer rentable el proyecto se necesitaría optar por un registro en grupo llamado "agregación" (como lo propone Climate Action Reserve (2020) en su protocolo) con otros proyectos de carbono azul, reduciendo de esta manera los costos al generar economías de escala.

Pie de foto. Medición de diámetro normal de tallo de mangle rojo (Rhizophora mangle) para la estimación de carbono arbóreo en la UMA del ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández). (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



Pie de foto. Extracción de muestras de suelo con una barrena para la estimación de carbono edáfico en manglares de la UMA del ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).

Retos del carbono azul para manglares en México

Herr et al. (2015) señalan el creciente interés de los gobiernos, las ONG, las comunidades locales y el mundo académico por apoyar la restauración y la conservación de los humedales costeros, pero observan que encontrar el financiamiento adecuado para poner en marcha un proyecto de carbono azul de este tipo o para desarrollar un plan nacional para el carbono azul sigue siendo "un reto", como el caso del ejido El Tarachi.

Para capitalizar los proyectos de carbono azul, un desafío para su diseño e implementación radica en la capacidad de los profesionales para evaluar el posible

La escala del proyecto es otro factor para considerar, pues los proyectos de carbono azul pueden no ser apropiados a pequeña escala, ya que los rendimientos pueden llegar a ser negativos (Duncan et al., 2022)





retorno de la inversión y, por tanto, su viabilidad (Duncan et al., 2022). Dado que los costos de estos proyectos son altos, y se incrementan cuando se pasa de una regeneración natural de manglares a una regeneración asistida, así como también

cambio climático. La transmisión eficaz de información y conocimientos a través de las redes también es crucial para el proceso de toma de decisiones (Ayostina et al., 2022). La coherencia entre la ciencia y la política

Pie de foto. Raíces de mangle negro (*Avicennia germinans*) en el ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



la escasa participación de la comunidad incrementa los costos. Incluir el carbono del suelo es un factor más que incrementa los costos, pues las metodologías para cuantificar y monitorear las tasas de secuestro requieren tecnología y análisis de laboratorio que requieren una gran inversión.

El carbono azul como vehículo para la conservación, el uso sostenible y la restauración de manglares también debe integrarse plenamente en los marcos políticos nacionales y regionales existentes como mecanismo de mitigación del cambio climático (Alongi, 2018). Esto puede llevar mucho tiempo y ser difícil, ya que sólo algunas naciones en desarrollo tienen una política nacional o una serie de políticas subregionales sobre el carbono azul o el uso de los ecosistemas costeros en la mitigación del

es uno de los elementos que pueden permitir un cambio transformador, que implica un cambio en las actitudes, el discurso y las dinámicas de poder que rigen la situación habitual en la formulación de las políticas de carbono azul.

Por otro lado, los gestores deben ser capaces de evaluar las existencias de carbono (la cantidad total de carbono almacenado dentro de un área en particular) y monitorear los cambios en las existencias de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a través del tiempo en los manglares. Hasta hace poco, los inventarios de carbono azul en manglares de México se realizaban con metodologías diferentes. Afortunadamente, la CONABIO en 2018 publicó una metodología donde se homologan las metodologías utilizadas

La transmisión eficaz de información y conocimientos a través de las redes también es crucial para el proceso de toma de decisiones (Ayostina et al., 2022)



en el estudio de los manglares y así fortalece la capacidad de generar inventarios uniformes (Rodríguez-Zúñiga et al., 2018). Otros protocolos como el propuesto por Kauffman, Donato & Adame (2013) y los generados por las diferentes certificadoras (ej. CAR y VERRA), también contribuyen a la generación de inventarios de carbono con menos incertidumbre.

Es necesario destacar el papel fundamental de los factores sociales en la evaluación de la vulnerabilidad y la planificación del manejo de los manglares (Kairu et al., 2021; Herrera-Silveira et al., 2020). En el país es imperativo que tanto gobierno e instituciones de investigación emparejen sus objetivos y trabajen en conjunto estableciendo una comunicación efectiva con las comunidades, promoviendo oportunidades de desarrollo económico de las comunidades costeras que sean

compatibles con la conservación y recuperación del manglar, y así poder reducir la deforestación de estos ecosistemas por actividades de aprovechamiento ilícitas.

Pie de foto. Raíces de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en el ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



Pie de foto. Puercoespín (*Sphiggurus mexicanus*) en manglares del ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).



**LITERATURA CITADA**

- Alongi, D. M. (2018). *Blue Carbon: Coastal Sequestration for Climate Change Mitigation*. SpringerBriefs in Climate Studies, Switzerland. 96 p.
- Alongi, D. M. (2018). *Blue Carbon: Coastal Sequestration for Climate Change Mitigation*. Springer. 96 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91698-9>
- Alongi, M. D. (2022). Impacts of Climate Change on Blue Carbon Stocks and Fluxes in Mangrove Forests. *Forest*, 13(2), 149. <https://doi.org/10.3390/f13020149>
- Ayostina, I., Napitupulu, L., Robyn, B., Maharani, C., & Murdiyarso, D. (2022). Network analysis of blue carbon governance process in Indonesia. *Marine Policy*, 137, 104955. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104955>
- Climate Action Reserve. (2020). *Protocolo Forestal para México Versión 2.0*. 175 p Disponible en: <https://www.climateactionreserve.org/how/protocols/mexico-forest/>
- Climate Action Reserve. (2021). *Climate action reserve project registry*. Disponible en: <https://thereserve2.apx.com/myModule/rpt/myrpt.asp?r=111>
- Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., & Martínez-Zurimendi, P. (2011). Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4 (5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4 (5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Duncan, C., Primavera, J. H., Hill, N. A. O., Wodehouse, D. C. J., & Koldewey, H. J. (2022). Potential for Return on Investment in Rehabilitation-Oriented Blue Carbon Projects: Accounting Methodologies and Project Strategies. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 775341. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.775341>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Hanggara, B. B., Murdiyarso, D., Ginting, Y. R., Widha, Y. L., Panjaitan, G. Y., & Lubis, A. A. (2021). Effects of diverse mangrove management practices on forest structure, carbon dynamics and sedimentation in North Sumatra, Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 259, 107467. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107467>
- Hernández-Blanco, M., Moritsch, M., Manrow, M., & Raes, L. (2022). Coastal Ecosystem Services Modeling in Latin America to Guide Conservation and Restoration Strategies: The Case of Mangroves in Guatemala and El Salvador. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 843145. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.843145>
- Herr, D., Agardy, T., Benzaken, D., Hicks, F., Howard, J., Landis, E., Soles, A., & Vegh, T. (2015). Coastal “blue” carbon. A revised guide to supporting coastal wetland programs and projects using climate finance and other financial mechanisms. IUCN, Gland. 50 pp.
- Herrera-Silveira, J. A., Pech-Cardenas, M. A., Morales-Ojeda, S. M., Cinco-Castro, S., Camacho-Rico, A., Caamal-Sosa, J. P., Mendoza-Martínez, J. E., Pech-Poot, E. Y., Montero, J., & Teutli-Hernández, C. (2020). Blue carbon of Mexico, carbon stocks and fluxes: a systematic review. *PeerJ*, 8, e8790. <https://doi.org/10.7717/peerj.8790>
- Kairu, A., Kotut, K., Mbeche, R., & Kairo, J. (2021). Participatory forestry improves mangrove forest management in Kenya. *International Forestry Review*, 23(1), 41-54. <https://doi.org/10.1505/146554821832140385>
- Kauffman, B. J., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: Cifor. 48 p.
- Koleff, P., & Urquiza-Haas. (2011). Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos de un país megadiverso. CONABIO-CONANP, México. 250 p.
- Kuwae, T., & Hori, M. (2019). *Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation*. Springer, Singapore. 375 p.
- Kuwae, T., Watanabe, A., Yoshihara, S., Suehiro, F., & Sugimura, Y. (2022). Implementation of blue carbon offset crediting for seagrass meadows, macroalgal beds, and macroalgae farming in Japan. *Marine Policy*, 138, 104996. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104996>
- Lau, W. W. Y. (2013). Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*, 83, 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.011>
- López-Sayago, J. T. (2017). Identificación de zonas propias para desazolve, brechas cortafuego y erradicación de especies invasoras en el Ejido Tarachi, Veracruz. Proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México”. PNUD México -INECC. 57 p.
- Matatula, J., Afandi, A. Y., & Wirabuana, P. Y. A. P. (2021). Short Communication: A comparison of stand structure, species diversity and aboveground biomass between natural and planted mangroves in Sikka, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(3), 1098-1103. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220303>
- Mitra, & Zamán. (2015). *Blue Carbon Reservoir of the Blue Planet*. Springer, London. 306 p.
- Mita, A. (2020). *Mangrove Forests in India: Exploring Ecosystem Services*. Springer, India. 372 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20595-9>
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (2009). *Blue Carbon: A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal. 80 p.
- Nyangoko, B. P., Berg, H., Mangora, M. M., Shalli, M. S., & Gullström, M. (2022). Local perceptions of changes in mangrove ecosystem services and their implications for livelihoods and management in the Rufiji Delta, Tanzania. *Ocean & Coastal Management*, 219, 106065. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106065>
- Paniagua-Cano, E. I., Granados-Sánchez, D., & Granados-Victorino, R. L. (2018). Estructura, bienes y servicios del manglar de Mandinga, Veracruz. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(2), 171-181. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.034>
- Perera, K. A. R. S., & Amarasinghe, M. D. (2019). Carbon sequestration capacity of mangrove soils in micro tidal estuaries and lagoons: A case study from Sri Lanka. *Geoderma* 347: 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.041>
- Pin, T. G., Supriatna, J., Takarina, N. D., & Tambunan, R. P. (2021). Mangrove diversity and suitability assessments for ecotourism in Cimalaya Wetan Coast, Karawang District, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(2), 803-810. <https://smujo.id/biodiv/article/view/7438>
- Rasquinha, D. N. & Mishra, D. R. (2021). Impact of wood harvesting on mangrove forest structure, composition and biomass dynamics in India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106974. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106974>
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Ramírez-García, P., & Gutiérrez-Granados, G. (2011). Efectos de la extracción no controlada de madera sobre la comunidad y estructura de tamaños de los manglares de Alvarado, Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89, 107-113. <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n89/n89a6.pdf>
- 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-Mc Donald, L., & Galindo-Leal, C. (2013). Manglares de México/Extensión, distribución y



- monitoreo. CONABIO. México. 128 pp.
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda-Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz-López, M. I., Olguín, M., Villela-Gaytán, S. A., & Flores, R. (2018). Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. CONABIO. México. 274 p.
- Rovai, A. S., Twilley, R. R., Worthington, T., & Riul, P. (2022). Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 787533. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.787533>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6a edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). 30 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Plan de manejo tipo regional para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de mangles en Marismas Nacionales, Nayarit. 29 p.
- Singh, M., Schwendenmann, L., Wang, G., Adame, M. F., & Mandlate, L. J. C. (2022). Changes in Mangrove Carbon Stocks and Exposure to Sea Level Rise (SLR) under Future Climate Scenarios. *Sustainability*, 14(7), 3873. <https://doi.org/10.3390/su14073873>
- Sjögersten, S., de la Barrera-Bautista, B., Brown, C., Boyd, D., Lopez-Rosas, H., Hernández, E., Monroy, R., Rincón, M., Vane, C., Moss-Hayes, V., Gallardo-Cruz, J. A., Infante-Mata, D., Hoyos-Santillan, J., Solórzano, J. V., Peralta-Carretera, C., & Moreno-Casasola, P. (2021). Coastal wetland ecosystems deliver large carbon stocks in tropical Mexico. *Geoderma*, 403, 115173. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115173>
- Taillardat, P., Friess, D. A., & Lupascu, M. (2018). Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology letters*, 14 (10), 20180251. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0251>
- Thompson, B. S., Clubbe, C. P., Primavera, J. H., Curnick, D., & Koldewey, H. J. (2014). Locally assessing the economic viability of blue carbon: a case study from Panay Island, the Philippines. *Ecosystem Services*, 8, 128–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.03.004>
- Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., & Manning, P. (2009). The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation. A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UNEPWCMC, Cambridge, UK, 65 p.
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vélazquez-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. CONABIO. México. 130 p.
- Valdez-Hernández, J. I. (2004). Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y bosques*, 10 (2), 93-104. <https://doi.org/10.21829/myb.2004.1031269>
- 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. G., Paz, O., Aguilar-Sierra, V., Hruby, F., & Muñoa-Coutiño, J. H. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX. 166 p.
- VERRA. (2020). REDD + Methodology Framework Version 1.6. 54 p. Disponible en: https://verra.org/wp-content/uploads/2020/09/VM0007-REDDMF_v1.6.pdf
- Wang, W., Fu, H., Lee, S. Y., Fan, H., & Wang, M. (2020). Can Strict Protection Stop the Decline of Mangrove Ecosystems in China? From Rapid Destruction to Rampant Degradation. *Forests*, 11(1), 55. <https://doi.org/10.3390/f11010055>
- Windham-Myers, L., Crooks, S., & Troxler, T. G. (2019). A Blue Carbon Primer: The State of Coastal Wetland Carbon Science, Practice, and Policy. CRC Press, Boca Raton, U. S. A. 533 p.
- Zanvo, M. S., Salako, K. V., Gnanglè, C., Mensah, S., Assogbadjo, A. E., & Kakaï, R. G. (2020). Impacts of harvesting intensity on tree taxonomic diversity, structural diversity, population structure, and

- stability in a West African mangrove forest. *Wetlands Ecology and Management*, 29, 433-450. <https://doi.org/10.1007/s11273-021-09793-w>
- Zeng, Y., Friess, D. A., Sarira, T. V., Siman, K., & Koh, L. P. (2021). Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology*, 31, 1737-1743. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.070>

La CONABIO en 2018 publicó una metodología donde se homologan las metodologías utilizadas en el estudio de los manglares y así fortalece la capacidad de generar inventarios uniformes (Rodríguez-Zúñiga et al., 2018)

Pie de foto. Carpintero crestirrojo (*Drycopus lineatus*) en manglares del ejido El Tarachi, Veracruz, 2021 (Foto: Eliseo Hernández Hernández).

